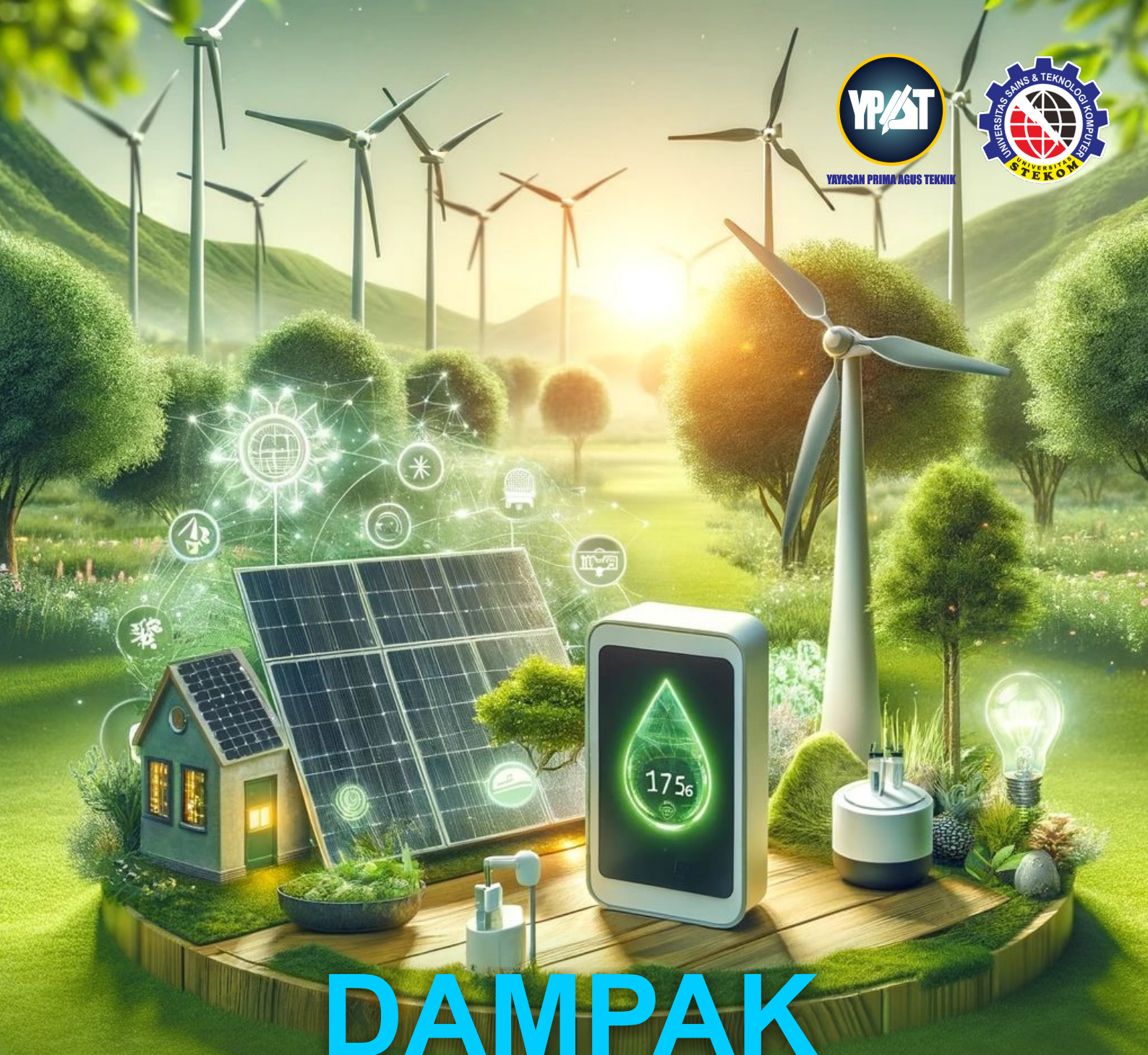


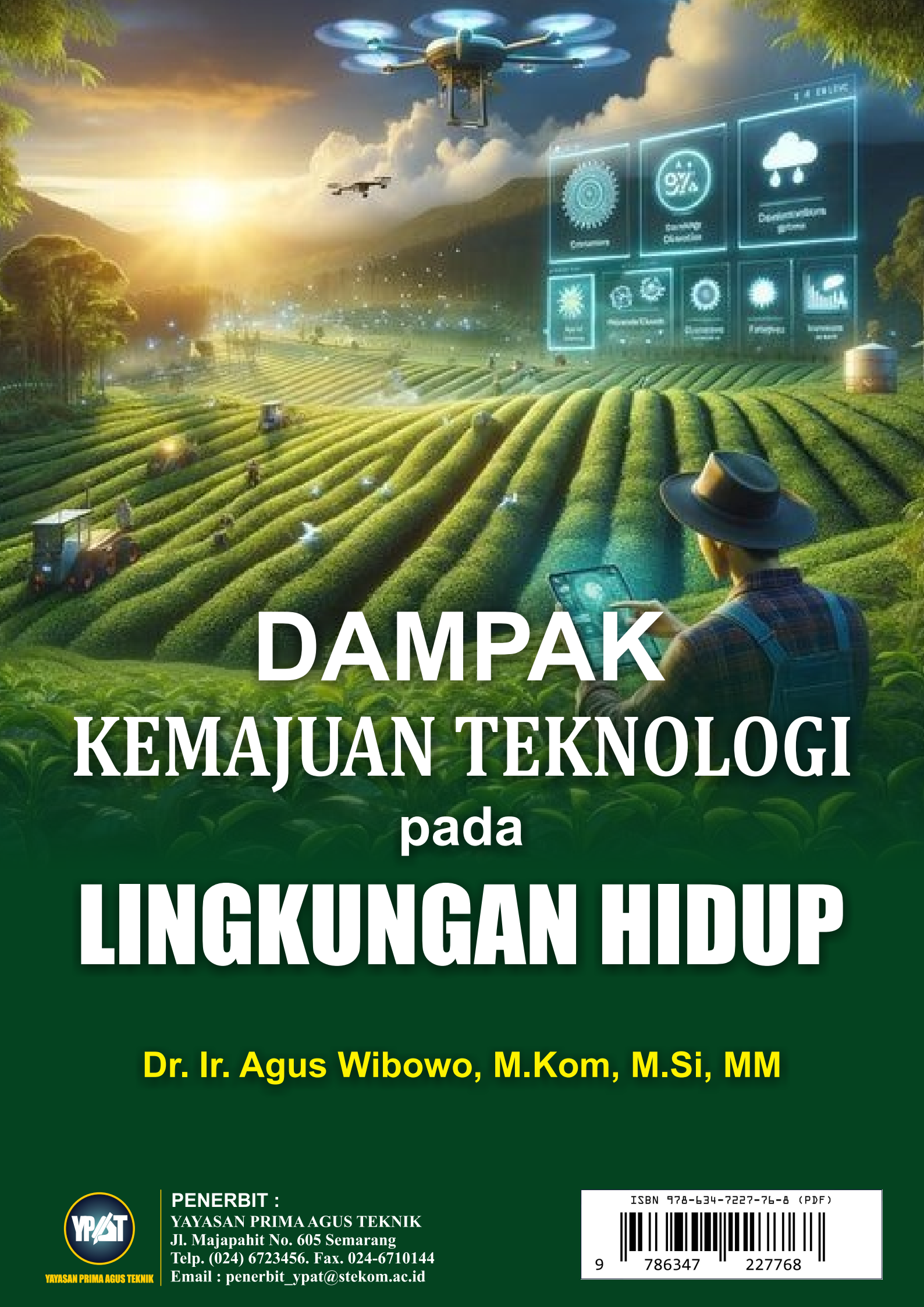


YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK



DAMPAK KEMAJUAN TEKNOLOGI pada LINGKUNGAN HIDUP

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM



DAMPAK KEMAJUAN TEKNOLOGI pada LINGKUNGAN HIDUP

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

PENERBIT :
YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK
Jl. Majapahit No. 605 Semarang
Telp. (024) 6723456. Fax. 024-6710144
Email : penerbit_ypat@stekom.ac.id

ISBN 978-634-7227-76-8 (PDF)



9 786347 227768

Dampak Kemajuan Teknologi pada Lingkungan Hidup

Penulis :

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM

ISBN : 978-634-7227-76-8 (PDF)

Editor :

Dr. Joseph Teguh Santoso, S.Kom., M.Kom.

Penyunting :

Dr. Mars Caroline Wibowo. S.T., M.Mm.Tech

Desain Sampul dan Tata Letak :

Irdha Yuniarto, S.Ds., M.Kom

Penebit :

Yayasan Prima Agus Teknik Bekerja sama dengan
Universitas Sains & Teknologi Komputer (Universitas STEKOM)

Anggota IKAPI No: 279 / ALB / JTE / 2023

Redaksi :

Jl. Majapahit no 605 Semarang

Telp. 08122925000

Fax. 024-6710144

Email : penerbit_ypat@stekom.ac.id

Distributor Tunggal :**Universitas STEKOM**

Jl. Majapahit no 605 Semarang

Telp. 08122925000

Fax. 024-6710144

Email : info@stekom.ac.id

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara
apapun tanpa ijin dari penulis

KATA PENGANTAR

Di era transformasi digital yang pesat, kecerdasan buatan (AI) tidak lagi sekadar alat pendukung, melainkan pendorong utama perubahan dalam lingkungan hidup manusia, khususnya di sektor pelayanan kesehatan. Buku ***Dampak Kemajuan Teknologi pada Lingkungan Hidup*** ini hadir untuk menggambarkan bagaimana AI merevolusi ekosistem panti jompo, hunian berbantu cerdas (*Ambient Assisted Living/AAL*), dan layanan kesehatan 5.0, dengan integrasi teknologi seperti IoMT, fog computing, robotika bantu, serta analisis data besar.

Di ambang Healthcare 5.0, kecerdasan buatan (AI) tidak hanya mengubah paradigma pelayanan kesehatan, tetapi juga mendefinisikan ulang lingkungan hidup manusia—khususnya bagi lansia dan masyarakat rentan. Buku *Dampak AI dalam Lingkungan* ini mengungkap revolusi tersebut melalui 17 bab terstruktur, yang mengintegrasikan AI, IoT, blockchain, dan teknologi mutakhir untuk menciptakan ekosistem panti jompo cerdas, hunian berbantu (AAL), serta layanan kesehatan personal yang inklusif.

Transformasi Infrastruktur & AAL

- Bab 1 memetakan transisi panti jompo dari Healthcare 4.0 ke 5.0, dengan studi kasus revitalisasi Bengaluru dan analisis etika mendalam.
- Bab 3 menguraikan arsitektur fog-IoT untuk hunian berbantu cerdas, sinergi dengan fog computing, dan manfaatnya bagi AAL.
- Bab 11 membahas kesehatan personal panti jompo era 5.0 melalui AI/ML, sensor telehealth, dan optimalisasi operasional.

IoMT, Telehealth & Wearable Tech

- Bab 2 mendetailkan telehealth berbasis cloud dengan IoMT, biosensor wearable, robotika terintegrasi, dan analisis riwayat pasien.
- Bab 9 menyoroti manajemen diet diabetes melalui AI, integrasi IoT-wearable, telemedicine, dan intervensi perilaku cerdas.

AI Diagnostics & Predictive Analytics

- Bab 4 mengaplikasikan ML (Random Forest) pada analisis gaya berjalan untuk klasifikasi Parkinson via akcelorometer-giroskop.
- Bab 5 menganalisis peran AI dalam manajemen penyakit, obat, rehabilitasi, beserta tantangan dan prospeknya.
- Bab 12-13 mengeksplorasi NLP untuk keputusan klinis dan analisis sentimen guna kesejahteraan emosional lansia.

Robotika, 5G & Infrastruktur Masa Depan

- Bab 6 melacak evolusi AI dalam robot bantu, teknologi inti, studi kasus, dan cakupan masa depan.
- Bab 7 mengungkap potensi 5G untuk layanan canggih, tanggap darurat, bedah robotik, dan strategi implementasi.
- Bab 10 mengintegrasikan LLM, LVM, dan big data sebagai pilar Healthcare 5.0.

Keamanan, Etika & Operasional

- Bab 8 membahas blockchain, enkripsi homomorfik, dan token insentif untuk privasi data AAL.
- Bab 14-15 mengatasi komunikasi multikultural via teknologi bahasa dan penjadwalan staf berbasis GAN-Elephant Clan.
- Bab 16-17 mengeksplorasi multisensori untuk anak disabilitas serta etika komprehensif assisted living di era AI.

Buku ini bukan sekadar kompilasi teknologi, melainkan blueprint holistik yang menjembatani teori, implementasi, dan refleksi etis—dilengkapi studi kasus global dan proyeksi masa depan. Semoga karya ini menjadi kompas bagi mahasiswa, dosen, peneliti, praktisi kesehatan, arsitek lingkungan, dan pembuat kebijakan, membimbing kita menuju dunia di mana teknologi tidak hanya melayani, tetapi juga menghormati martabat manusia.

Selamat dan Semangat Membaca...!!!

Semarang, Desember 2025
Penulis

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
BAB 1 TRANSFORMASI PANTI JOMPO MENUJU LAYANAN KESEHATAN 5.0	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Transisi Layanan Kesehatan 4.0 Ke 5.0	2
1.3 Aspek Masa Depan Panti Jompo Dalam Layanan Kesehatan 5.0	7
1.4 Tantangan Dan Pertimbangan Etika	10
1.5 Revitalisasi Perawatan Lansia Di Panti Wreda Bengaluru.....	18
1.6 Konsep Panti Jompo Di Era Kesehatan 5.0	20
1.7 Kesimpulan	21
BAB 2 TELEHEALTH CERDAS BERBASIS CLOUD MENGGUNAKAN IoMT	22
2.1 Pendahuluan.....	22
2.2 Cara Kerja Sistem IoMT	26
2.3 Karakteristik Biosensor Yang Dapat Dikenakan	29
2.4 Membuat Dan Menganalisis Riwayat Pasien.....	32
2.5 Aplikasi IoMT	33
2.6 Robotika Terintegrasi	38
2.7 Tantangan Layanan Kesehatan IoMT	41
2.8 Kesimpulan	42
BAB 3 ARSITEKTUR KABUT-IOT UNTUK HUNIAN BERBANTUAN CERDAS.....	43
3.1 Pendahuluan.....	43
3.2 Penggunaan IoT Dalam Layanan Kesehatan Untuk AAL.....	48
3.3 Fog Computing, IoT, Dan AAL Dalam Layanan Kesehatan	48
3.4 Manfaat IoT Dan Fog Computing Pada Layanan Kesehatan AAL	51
3.5 Kesimpulan	60
BAB 4 ANALISIS GAYA BERJALAN BERBASIS ML UNTUK KLASIFIKASI PARKINSON	61
4.1 Pendahuluan.....	61
4.2 Akselerometer Dan Girooskop Untuk Mendeteksi Tremor	64
4.3 Arsitektur Permodelan Random Forest	68
4.4 Hasil Permodelan Klasifikasi Penyakit Parkinson	72
4.5 Kesimpulan	76
BAB 5 MANAJEMEN PENGOBATAN DAN REHABILITASI BERBASIS AI	78
5.1 Pendahuluan.....	78
5.2 Peran AI Dalam Manajemen Penyakit	84
5.3 Peran AI Dalam Manajemen Obat	86
5.4 Peran AI Dalam Perawatan Rehabilitasi	88
5.5 Tantangan Implementasi AI Di Layanan Kesehatan.....	90

5.6	Keterbatasan AI Dalam Layanan Kesehatan 5.0	92
5.7	Prospek Dalam Penyakit, Obat, Dan Rehabilitasi Dalam AI	93
5.8	Kesimpulan	94
BAB 6	AI UNTUK ROBOT BANTU	96
6.1	Pendahuluan.....	96
6.2	Evolusi Historis AI Dalam Robot Bantu	98
6.3	Teknologi AI Utama Dalam Robot Bantu	101
6.4	Aplikasi Kecerdasan Buatan Di Sektor Robot Bantu	105
6.5	Keunggulan AI Dalam Robotika Bantu	107
6.6	Isu Dan Kendala AI Dalam Robotika Bantu	109
6.7	Keterbatasan Teknologi AI Saat Ini	111
6.8	Studi Kasus: AI Dalam Robotika Bantu	112
6.9	Cakupan AI Di Masa Depan Dalam Robotika Bantu	115
6.10	Kesimpulan	119
BAB 7	TEKNOLOGI 5G DALAM PENINGKATAN KUALITAS HIDUP	120
7.1	Teknologi 5G	120
7.2	Sistem Layanan Kesehatan Canggih Berbasis 5G	125
7.3	Sistem Tanggap Darurat Dan Bedah Robotik.....	129
7.4	Tantangan Dan Strategi 5G Di Bidang Kesehatan	132
7.5	Kesimpulan Dan Proyek Masa Depan.....	134
BAB 8	TEKNOLOGI AAL DENGAN BLOCKCHAIN DAN INSENTIF TOKEN	135
8.1	Pendahuluan.....	135
8.2	Sistem Blockchain Dalam Pertukaran Data	138
8.3	Fundamental Teknologi Blockchain	141
8.4	Standar Enkripsi Homomorfik	143
8.5	Enkripsi Homomorfik Dalam Smart Assisted Living	143
8.6	Teknik Pelestarian Privasi Dalam Data Medis.....	145
8.7	Kinerja Blockchain Dalam Kesehatan	152
8.8	Kesimpulan Dan Peningkatan Di Masa Mendatang	153
BAB 9	MANAJEMEN DIET UNTUK PASIEN DIABETES MENGGUNAKAN AI	155
9.1	Pendahuluan.....	155
9.2	Peran AI Dalam Manajemen Data Untuk Pasien Diabetes	159
9.3	AI Untuk Diet Personal: Solusi Cerdas	162
9.4	Integrasi IoT Dan Perangkat Yang Dapat Dikenakan Untuk AAL.....	163
9.5	Telemedicine Dan Pemantauan Jarak Jauh	166
9.6	Intervensi Perilaku Dan Gaya Hidup Melalui AI.....	167
9.7	Pertimbangan Etis Dan Privasi Data	168
9.8	Implementasi Dalam Teknologi AAL.....	171
9.9	Arah Masa Depan Dan Peluang Penelitian	174
9.10	Kesimpulan	175
BAB 10	MODEL BAHASA, VISUAL, DAN BIG DATA DALAM KESEHATAN 5.0.....	176

10.1	Pengantar Model Bahasa Besar (LLM)	176
10.2	Pengantar Model Visual Besar (LVM)	184
10.3	Penggunaan Big Data Dalam Layanan Kesehatan	187
10.4	Kesimpulan	191
BAB 11	KESEHATAN PERSONAL PANTI JOMPO ERA HEALTHCARE 5.0.	193
11.1	Pendahuluan.....	193
11.2	Layanan Kesehatan Berbasis Teknologi 5.0	197
11.3	AI Dan ML Dalam Panti Jompo Dan Layanan Kesehatan 5.0.....	202
11.4	Sensor Dan Telehealth 5.0: Peningkatan Hunian Berbantuan.	202
11.5	Aplikasi Dalam Manajemen Operasional Rumah Sakit	206
11.6	Tantangan Healthcare 5.0 Dalam Panti Jompo.....	207
11.7	Penelitian Masa Depan Healthcare 5.0 Dalam Panti Jompo	208
11.8	Kesimpulan	209
BAB 12	PEMANFAATAN NLP UNTUK KEPUTUSAN KLINIS MODERN	211
12.1	Pendahuluan.....	211
12.2	Komponen NLP	215
12.3	Aplikasi NLP Utama Di Sektor Kesehatan	223
12.4	Kesimpulan	228
BAB 13	PERAN ANALISIS SENTIMEN DALAM KESEJAHTERAAN PANTI JOMPO	229
13.1	Signifikansi Analisis Sentimen Dalam Panti Jompo 5.0	229
13.2	Metode Pengumpulan Dan Analisis Data.....	231
13.3	Model AI Dan ML Untuk Analisis Sentimen Dan Kesejahteraan	235
13.4	Tantangan Dalam Implementasi.....	236
13.5	Tren Masa Depan Dan Arah Penelitian.....	240
13.6	Kesimpulan	242
BAB 14	DUKUNGAN BAHASA DALAM KOMUNIKASI KLINIS MULTIKULTURAL	243
14.1	Pendahuluan.....	243
14.2	Peran Linguistik Dalam Sistem.....	245
14.3	Hambatan Bahasa Dalam Pelayanan Kesehatan	247
14.4	Solusi Teknologi	249
14.5	Praktik Terbaik Untuk Komunikasi Yang Efektif	252
14.6	Pelatihan Kepekaan Budaya	253
14.7	Studi Kasus Dan Kisah Sukses	255
14.8	Tantangan Dan Keterbatasan	256
14.9	Arah Dan Rekomendasi Mendatang.....	259
14.10	Kesimpulan	262
BAB 15	PENJADWALAN STAFF PENGobatan BERBASIS GAN–ELEPHANT CLAN	264
15.1	Pendahuluan.....	264
15.2	Penjadwalan Dan Penempatan Staff	264
15.3	Teknik Optimasi Cerdas	265
15.4	Mengelola Arus Pasien Dan Efisiensi Kepegawaian	273

15.5	Integrasi GAN Dan ECO.....	279
15.6	Kesimpulan	279
BAB 16	TEKNOLOGI MULTISENSORI UNTUK PEMBELAJARAN ANAK DISABILITAS	280
16.1	Pendahuluan.....	280
16.2	Yang Melatarbelakangi Teknologi Ini	285
16.3	Metode Desain Dan Analisis.....	286
16.4	Detail Ruang Multisensori	286
16.5	Diskusi Dan Kesimpulan.....	289
16.6	Keterbatasan Dan Arahan Untuk Penelitian Mendatang	290
BAB 17	ETIKA ASSISTED LIVING PADA PELAYANAN KESEHATAN	292
17.1	Pendahuluan.....	292
17.2	Transformasi Layanan Kesehatan 4.0 Ke 5.0	293
17.3	Menata Ulang Teknologi Panti Jompo (PA).....	294
17.4	Hukum Etika Dan Etika Medis Serta Perspektif Linear	295
17.5	Penuaan 4.0 Dan Perspektif Etis Teknologi AI	297
17.6	Isu Sosial, Etika, Dan Hukum Dalam Teknologi AI.....	298
17.7	Dampak Etis Kehidupan Yang Dibantu AI	299
17.8	Tantangan Etika Dalam Ambient Assisted Living Cerdas	302
17.9	Aal Berbantuan AI Untuk Pelayanan Kesehatan.....	303
17.10	Etika Dan Layanan Kesehatan 5.0.....	306
17.11	Kesimpulan	309
DAFTAR PUSTAKA		310

BAB 1

TRANSFORMASI PANTI JOMPO MENUJU LAYANAN KESEHATAN 5.0

1.1 PENDAHULUAN

Faktor-faktor teknologi telah berperan penting dalam mengubah pemberian layanan kesehatan selama dua hingga tiga dekade terakhir. Evolusi ini merupakan transisi dari layanan kesehatan konvensional ke penggunaan teknologi dalam layanan kesehatan yang disebut Layanan Kesehatan 4.0. Transisi ini meningkat menjadi 0, sebuah paradigma yang mengorkestrasi Internet of Things (IoT), analitik data besar, dan otomatisasi ke dalam ranah layanan kesehatan. Periode ini dikhususkan untuk meningkatkan produktivitas, meningkatkan akurasi diagnostik, dan menerapkan jaringan perangkat terintegrasi. Dampaknya sangat besar dalam skenario di mana penyedia layanan kesehatan menerima tingkat informasi pasien yang belum pernah terjadi sebelumnya dan dapat membantu mendorong pengambilan keputusan serta meningkatkan kondisi pasien.

Namun, mengingat fakta bahwa populasi dunia semakin menua dan penyakit kronis terus meningkat, Layanan Kesehatan 4.0 memiliki beberapa kelemahan utama yang kini mulai terlihat. Di sisi positifnya, layanan kesehatan 4.0 meningkatkan otomatisasi prosedur kerja dan efisiensi penggunaan sumber daya yang tersedia untuk perawatan pasien, tetapi kurang memiliki fitur utama dalam mengidentifikasi masalah dan tantangan individual pasien, terutama mereka yang berada di panti wreda. Lansia dan mereka yang membutuhkan perhatian khusus berada dalam posisi yang cukup rentan, sehingga membutuhkan teknologi yang mengintegrasikan sentuhan manusia. Kesadaran akan hal ini telah mendorong kemajuan yang kini dikenal sebagai Layanan Kesehatan 5.0.

Healthcare 5.0 menyediakan fondasi bagi era baru dalam pengembangan sistem layanan kesehatan yang memanfaatkan kemajuan yang telah ditetapkan dalam Healthcare 4.0. Untuk menghubungi organisasi layanan pelanggan, orang-orang menghubungi nomor telepon untuk berbicara dengan agen, yaitu 0, sambil lebih berfokus pada perhatian individual, pemahaman akan kebutuhan klien, dan isu-isu gender. Sekarang mari kita pertimbangkan esensi dari Healthcare 5.0. Inilah bagaimana konsep 0 diimplementasikan untuk membangun sistem layanan kesehatan komprehensif yang mengandalkan teknologi mutakhir dan, pada saat yang sama, peka terhadap kebutuhan dan keinginan pasien. Pergeseran ini terutama terlihat dalam kehidupan berbantuan terkait penggunaan kecerdasan buatan (AI), pemrosesan bahasa alami (NLP), dan perangkat pintar dalam pembentukan perawatan.

Di fasilitas kehidupan berbantuan, menjadi jelas bahwa karakteristik demografis penghuni sedang berubah. Karena orang-orang hidup lebih lama dengan berbagai masalah kesehatan kronis termasuk demensia, ada kebutuhan yang muncul untuk mengatasi masalah perawatan berdasarkan kebutuhan penghuni yang terus berkembang. Healthcare 5.0 membayangkan sebuah dunia di mana status kehidupan masyarakat terus-menerus diperiksa oleh perangkat kecerdasan buatan dan masalah-masalah dapat diantisipasi sebelum memburuk. Misalnya, teknologi berbasis AI dapat membantu mengidentifikasi potensi

tantangan kesehatan menggunakan data dari perangkat pintar yang dapat dikenakan sehingga tindakan yang diperlukan dapat diambil sebelum penurunan kesehatan seseorang menyebabkan rawat inap dan hilangnya kualitas hidup.

Dengan fokus menjembatani kesenjangan komunikasi antara pasien, pengasuh, dan praktisi kesehatan, NLP menjadi sangat penting. Karena alasan inilah, di banyak fasilitas hunian berbantuan, penghuni mungkin memiliki tingkat gangguan kognitif yang berbeda-beda yang memungkinkan mereka mengomunikasikan kebutuhan mereka secara efektif. Oleh karena itu, terdapat kemungkinan penggunaan perangkat NLP untuk mencapai interaksi yang lebih baik dengan penghuni dengan mempertimbangkan bahasa yang mereka gunakan, suasana hati mereka, dan menghasilkan perbaikan yang dapat diberikan kepada pengasuh. Selain itu, NLP meningkatkan kualitas perawatan keperawatan dan membuat penghuni merasa dipahami oleh pengasuh, sehingga meningkatkan kesehatan mereka secara keseluruhan.

Perangkat pintar seperti sensor yang dapat dikenakan, sistem rumah pintar, dan asisten virtual berbasis AI merupakan komponen penting dari Healthcare 5.0 dalam hunian berbantuan. Perangkat-perangkat ini meningkatkan aliran data mengenai kesehatan dan kesejahteraan penghuni, termasuk pemantauan status kesehatan mereka, pelaporan kasus jatuh, dan manajemen jadwal pengobatan penghuni dari jarak jauh.

Aktivitas kepolisian dalam melacak dan memantau kebutuhan penghuni secara ketat mengurangi beban pengasuh dan memungkinkan mereka meluangkan lebih banyak waktu untuk memenuhi kebutuhan individual penghuni. Lebih lanjut, informasi yang dikumpulkan oleh perangkat-perangkat ini dapat membantu mengindividualisasikan rencana penghuni untuk mendapatkan dukungan yang diperlukan sesegera mungkin.

Namun, perubahan menuju Healthcare 5.0 juga penting untuk menunjukkan bahwa angka nol pun tidak hanya sebagai keuntungan. Seiring dengan penggunaan teknologi yang sangat maju di lingkungan hunian berbantuan, muncul isu-isu yang berkaitan dengan keamanan dan privasi data serta kemampuan teknologi untuk melengkapi hubungan sosial. Dengan demikian, selain menghargai kemajuan yang telah dicapai dalam penggunaan teknologi dalam penyediaan layanan kesehatan, masing-masing otoritas juga harus menjamin bahwa wajah penyediaan layanan kesehatan tidak hilang dalam teknologi.

Ke depannya, bab ini mengeksplorasi prospek masa depan hunian berbantuan dalam konteks Layanan Kesehatan 5.0, mengidentifikasi kemungkinan yang ditawarkan oleh teknologi ini, hambatan apa yang akan dihadapi, dan implikasinya bagi lansia yang tinggal di komunitas, pengasuh mereka, dan tenaga kesehatan profesional. Dengan demikian, kita belajar bagaimana membaca pergeseran tersebut dan memastikan bahwa Alpha tidak hanya memenuhi harapan masa depan, tetapi juga memberikan perawatan pribadi yang tepat dan sangat penting bagi mereka yang membutuhkannya.

1.2 TRANSISI LAYANAN KESEHATAN 4.0 KE 5.0

Sistem kesehatan yang beralih dari Layanan Kesehatan 4.0 ke Layanan Kesehatan 5.0 menandakan sistem penyediaan layanan kesehatan era baru, karena sistem ini menangkap beberapa perubahan yang telah terjadi dalam kemajuan teknologi, harapan pasien, dan

lingkungan secara umum. Sementara Healthcare 4.0 membuat pemberian layanan kesehatan menjadi radikal dengan integrasi teknologi, analisis membuat Healthcare 5.0 mengikuti basis tersebut untuk membangun paradigma yang lebih baik, yaitu yang lebih berpusat pada pasien dan menggabungkan penggunaan teknologi dengan sentuhan manusia.



Gambar 1.1 Transisi dari Layanan Kesehatan 4.0 ke Layanan Kesehatan 5.0.

Gambar 1.1 menunjukkan diagram alir yang menggambarkan langkah-langkah kunci yang terlibat dalam transisi dari Layanan Kesehatan 4.0 ke Layanan Kesehatan 5.0, yang menyoroti integrasi teknologi canggih dan pendekatan yang berpusat pada pasien. Diagram ini menekankan evolusi menuju solusi layanan kesehatan yang lebih personal dan berbasis data yang memprioritaskan pengalaman holistik pasien.

Diagram ini menunjukkan perubahan dari Layanan Kesehatan 4.0 ke Layanan Kesehatan 5.0, dan contoh teknologi yang disebutkan bergerak ke arah peningkatan perawatan pasien. Berikut adalah penjelasan langkah demi langkah dari alur tersebut:

1. *Layanan Kesehatan 4.0*: Fase ini menandai pengenalan elemen-elemen inovatif seperti IoT dan big data ke dalam sistem layanan kesehatan. Fase ini berfokus pada transformasi digital, integrasi, dan pembentukan sistem robotik di sektor layanan kesehatan.
2. *Integrasi IoT dan Big Data*: Dalam konteks IoT, berbagai data terkait kesehatan dikumpulkan dan ditransfer oleh berbagai perangkat yang terhubung, dan big data kemudian menganalisis data tersebut untuk mengidentifikasi hasilnya. Integrasi ini

- memungkinkan pemantauan sektor kesehatan dengan mengamati analisis tren secara real-time.
3. *Otomatisasi dan Akurasi*: Penggunaan teknologi dalam pengumpulan dan analisis data meningkatkan akurasi, mengurangi varian, dan menghasilkan diagnosis serta perawatan yang tepat. Sejumlah proses menjadi optimal, baik dari segi eksekusi maupun pengambilan keputusan, ketika diimplementasikan dengan menggunakan sistem otomatis.
 4. *Pengumpulan Data Pasien*: Sistem dan perangkat yang didukung mengumpulkan data pasien, rekam medis, serta aspek perilaku dan fisiologis. Hal-hal ini membentuk fondasi inti dari sistem manajemen kesehatan individual atau prognostik.
 5. *Tantangan—Penuaan & Penyakit*: Mengingat tren penuaan berikut, penyakit kronis, perawatan lansia, dan masalah umum terkait penuaan merupakan isu yang harus dihadapi oleh sistem layanan kesehatan di seluruh dunia. Oleh karena itu, solusi efektif apa pun harus inovatif dan dapat disinkronkan.
 6. *Kebutuhan Personalisasi*: Untuk memenuhi berbagai kebutuhan layanan kesehatan, individualisme perlu diadopsi. Perawatan yang dipersonalisasi, pendekatan yang berpusat pada klien, dan pencegahan penyakit yang dipersonalisasi meningkatkan kualitas serta hasil layanan kesehatan.
 7. *Layanan Kesehatan 5.0*: Fase ini mencakup Layanan Kesehatan 4.0 dan mengembangkannya melalui AI, NLP, dan perangkat pintar yang baru. Sebagian besar inovasi ini bertujuan untuk membangun paradigma cerdas dan mandiri dalam domain layanan kesehatan.
 8. *AI, NLP, dan Perangkat Pintar*:
 - Layanan Kesehatan 4.0 dengan kecerdasan buaatannya yang akan segera hadir berkontribusi pada prediksi, pengambilan keputusan, serta prosedur diagnosis dan penyembuhan yang akurat.
 - NLP percakapan membantu mengelola interaksi antara dokter dan pasien, serta memproses informasi medis yang tidak terstruktur.
 - Perangkat pintar mendukung pemantauan kesehatan secara real-time dan perawatan asistensi, terutama bagi lansia atau penderita penyakit kronis.
 9. *Perawatan Pasien yang Lebih Baik*: Tujuan rumah sakit yang progresif dan berpengalaman adalah menyediakan perawatan yang berorientasi pada pasien, efektif, dan berkualitas tinggi. Teori Healthcare 5.0 berfokus pada pasien, kebutuhan mereka, dan pendekatan prediktif terhadap suatu penyakit. Diagram ini menggambarkan kemajuan teknologi perawatan kesehatan dan integrasi teknologi untuk menangani isu-isu terkait populasi lanjut usia, pemrosesan data, dan pendekatan individual terhadap pengobatan.

Layanan Kesehatan 4.0: Fondasinya

Layanan Kesehatan 4.0 merupakan tonggak sejarah dalam peningkatan modernisasi sistem layanan kesehatan dengan teknologi digital baru seperti IoT, layanan berbasis cloud, analitik data besar, dan otomatisasi. Inovasi-inovasi tersebut membantu penyedia layanan

kesehatan mengumpulkan, memproses, dan memanfaatkan informasi dalam jumlah besar dengan cara yang akan meningkatkan pengambilan keputusan dan efektivitas secara keseluruhan dalam hal pemberian layanan.

Sesuai namanya, yang menunjukkan bahwa platform ini berasal dari sektor kesehatan, pengembangan Layanan Kesehatan 4.0 dapat dikatakan sebagai salah satu kekuatan utamanya. Kekuatan pertama adalah kemampuan untuk mengotomatiskan berbagai tugas dan proses, menghilangkan monoton yang bermanfaat tidak hanya dalam hal meningkatkan efektivitas alur kerja tetapi juga dalam hal menjadikan layanan kesehatan berpusat pada manusia. IoT berperan lebih penting, terutama dalam menghubungkan perangkat medis, sensor, dan sistem untuk memantau status kesehatan pasien secara real-time. Misalnya, *Fitbit* dan perangkat wearable lainnya untuk memantau tanda-tanda vital lainnya seperti detak jantung, tekanan darah, dan kadar glukosa bahkan di luar lingkungan klinis menjadi hal yang lumrah.

Healthcare 4.0 diperkuat oleh komputasi awan dan analitik data besar dengan menyediakan kemampuan untuk menyimpan, memproses, dan menganalisis data kesehatan yang masif. Hal ini memungkinkan pengembangan model dan algoritma, memfasilitasi identifikasi pola, memprediksi luaran pasien, dan membantu alokasi sumber daya. Misalnya, analitik prediktif membantu mengidentifikasi kebutuhan pasien, mengelola kondisi penyakit kronis, dan memfasilitasi penerimaan rumah sakit dini, di antara aspek-aspek lainnya.

Selain itu, Healthcare 4.0 memperkenalkan konsep digitalisasi melalui integrasi teknologi baru ke dalam sektor kesehatan. Healthcare 4.0 juga memainkan peran penting dalam mentransformasi dunia kedokteran dengan menerapkan strategi perawatan dan manajemen berdasarkan praktik berbasis riset, yang memanfaatkan sintesis terkini dari literatur riset yang ada. Healthcare 4.0 meningkatkan diagnosis, perawatan, dan prognosis penyakit pasien serta membantu menghasilkan sistem usulan metode baru untuk memberikan layanan kesehatan. Meskipun demikian, sebagaimana telah disebutkan sebelumnya, terdapat peningkatan signifikan yang telah dicapai di bidang Healthcare 4.0. Tak satu pun dari studi ini yang berfokus terutama pada logistik dan infrastruktur sistem pemberian layanan kesehatan, juga tidak membahas depersonalisasi yang sering dikaitkan dengannya.

Menavigasi Pergeseran: Transisi ke Layanan Kesehatan 5.0

Layanan Kesehatan 5.0 merupakan evolusi dari teknologi yang ada dalam Layanan Kesehatan 4.0, yang memperkenalkan beberapa perubahan baru yang menggeser fokus lebih dekat ke model perawatan yang berpusat pada pasien. Perubahan ini didorong oleh kesadaran bahwa meskipun layanan kesehatan dapat didukung oleh teknologi, terdapat kebutuhan untuk merangkul tidak hanya teknologi dan inovasi yang baik tetapi juga kebutuhan, keinginan, dan perasaan pasien. Intinya, Layanan Kesehatan 5.0 bertujuan untuk memungkinkan pemanfaatan teknologi namun tetap mempertahankan kualitas dan perawatan yang penuh kasih sayang kepada pasien.

Layanan Kesehatan 5.0 dapat dibagi menjadi beberapa komponen, di antaranya sistem pendukung keputusan berbasis AI yang membantu dokter umum atau klinisi dalam praktik sehari-hari mereka. Sistem ini juga menginterpretasikan sejumlah besar data besar yang

berasal dari berbagai sumber, termasuk rekam medis elektronik, pencitraan medis, dan genomik, untuk merekomendasikan pendekatan diagnosis dan pengobatan, bahkan prognosis. Melalui penggunaan AI, penyedia layanan kesehatan mendapatkan kesempatan untuk melakukan intervensi dengan cara yang lebih personal dan tepat sasaran bagi individu yang mereka rawat.

Komponen penting lain dari Healthcare 5.0 adalah NLP, yang meningkatkan interaksi antara pasien, perawat, dan penyedia layanan kesehatan. Tidak seperti teknologi AI tradisional, NLP dapat menganalisis masukan bahasa manusia, sehingga menghasilkan interaksi yang lebih mudah dan alami dengan sistem layanan kesehatan. Misalnya, chatbot yang didukung NLP dapat menawarkan dukungan bagi pasien dan membantu mereka menangani kondisi mereka dengan lebih baik dengan menjawab pertanyaan, memberikan notifikasi tepat waktu, atau bahkan mengidentifikasi tanda-tanda emosi dalam suara pasien. Teknologi ini melangkah lebih jauh dalam proses keterlibatan pasien sekaligus menyederhanakan cara untuk mengatasi hambatan komunikasi pada pasien dengan kemampuan bahasa yang berbeda.

Perangkat pintar yang diperkenalkan dalam Healthcare 4.0 telah menyebabkan penurunan adopsi antarmuka Health Level Seven (HL7); namun, antarmuka ini terus memainkan peran penting dalam Healthcare 5.0. Penekanan telah bergeser ke arah personalisasi perawatan dan fokus pada perawatan yang berpusat pada pasien dan berkelanjutan. Teknologi ini, misalnya, sensor yang dapat dikenakan, sistem rumah pintar, dan aplikasi kesehatan seluler, yang memberikan informasi waktu nyata tentang kondisi pasien, sehingga memfasilitasi perawatan tepat waktu. Misalnya, dalam sistem rumah pintar, dimungkinkan untuk mengamati aktivitas pasien lanjut usia menggunakan monitor dan kemudian memperhatikan setiap perubahan dalam aktivitas sehari-hari mereka untuk membantu dalam penetapan fakta bahwa pasien mungkin memiliki masalah kesehatan. Hal ini juga memberikan kontrol dini yang memadai terhadap kondisi untuk mengurangi kemungkinan komplikasi, sehingga meningkatkan kualitas hidup.

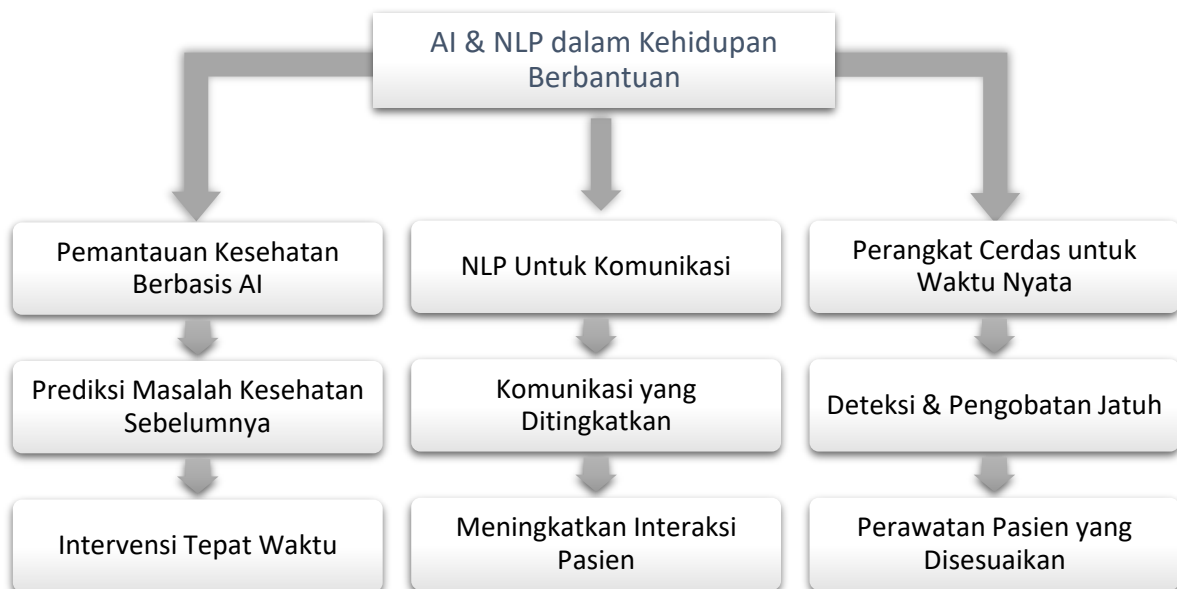
AI, NLP, dan Perangkat Pintar dalam Layanan Kesehatan 5.0

Perangkat pintar, penerapan kecerdasan buatan fundamental, dan pemrosesan bahasa alami (NLP) mendorong sektor Layanan Kesehatan 5.0 untuk maju dalam menawarkan layanan kesehatan yang lebih lembut dan individual. Kecerdasan mesin memungkinkan seseorang membuat prakiraan mengenai berbagai aspek dalam data pasien, yang sangat membantu tidak hanya dalam mendiagnosis penyakit sejak dini, tetapi juga dalam memprediksi hasil. NLP merupakan alat yang sangat berguna untuk penyakit kronis karena mampu mendeteksi dan mencegah perburukan penyakit seperti diabetes atau penyakit jantung. NLP meningkatkan hubungan antara pasien dan sistem layanan kesehatan dengan mentransformasi bahasa dan menyederhanakan istilah medis untuk semua orang. Teknologi ini dapat sangat membantu bagi penghuni yang memiliki disabilitas fisik seperti gangguan kemampuan berbicara seperti yang mungkin terjadi di panti wreda. Alat NLP dapat membantu memahami apa yang dikatakan penghuni, emosi yang mereka miliki, dan apa yang sebenarnya dapat dilakukan untuk mendukung mereka. Penggunaan perangkat pintar dalam jangka panjang telah menjadi

aspek penting dari strategi Layanan Kesehatan 5.0 karena perangkat ini menawarkan saran secara langsung (real-time) dan berkontribusi pada praktik preventif, alih-alih reaktif. Di antara fitur-fitur lainnya, perangkat ini dapat memantau tanda-tanda vital dan tingkat aktivitas individu, serta dapat diintegrasikan ke dalam rencana perawatan kompleks yang berkembang sesuai kondisi pasien. Misalnya, pelacak yang dapat dikenakan untuk memeriksa detak jantung dan tingkat aktivitas dapat memperingatkan pengguna tentang gejala awal penyakit jantung dan menempatkan mereka di bawah perawatan dokter, serta menyelamatkan nyawa.

1.3 ASPEK MASA DEPAN PANTI JOMPO DALAM LAYANAN KESEHATAN 5.0

Diagram alur berikut pada Gambar 1.2 menunjukkan arah pengembangan panti jompo dalam konsep Layanan Kesehatan 5.0. Hal ini berkaitan dengan solusi yang dapat memperkaya konteks atau ruang di mana orang membutuhkan perawatan dengan koneksi, lebih banyak inisiatif, dan lebih individual.



Gambar 1.2 Masa Depan Kehidupan Berbantuan Di Era Kesehatan 5.0.

Diagram ini menggambarkan panti jompo di masa depan. Diagram ini menggambarkan gagasan panti jompo di masa depan dan bagaimana teknologi meningkatkan keselamatan dan kualitas hidup orang-orang di lingkungan tersebut. Berikut adalah rincian setiap komponen:

Panti Jompo di Masa Depan: Konsep ini bertujuan untuk menggabungkan teknologi abad ke-21 guna meningkatkan kualitas hidup lansia atau orang yang membutuhkan perawatan terminal.

AI untuk Perawatan yang Dipersonalisasi: AI diterapkan untuk merancang rencana perawatan individual berdasarkan kebutuhan, preferensi, dan karakteristik pasien lainnya yang akan mendorong perawatan yang efektif, terstandarisasi, dan berkualitas tinggi yang bertujuan untuk meningkatkan fungsi dan kesejahteraan pasien secara keseluruhan.

- **Analisis Data Real-Time:** Informasi status kesehatan pasien diproses secara real-time melalui sistem AI, yang berarti penyedia layanan kesehatan dapat memantau status terkini pasien.
- **Perawatan Kesehatan Proaktif:** Teknik pemantauan AI terintegrasi memungkinkan penyedia layanan kesehatan untuk mendeteksi dan menangani potensi penyakit sebelum berkembang menjadi komplikasi serius, sehingga meningkatkan kesejahteraan pasien.

NLP untuk Komunikasi: NLP memungkinkan individu, terutama penghuni dan pengasuh, untuk mengendalikan sistem menggunakan bahasa alami yang mengurangi hambatan yang disebabkan oleh disabilitas verbal.

- **Bantuan Kognitif Multibahasa:** Teknologi NLP beroperasi dalam berbagai bahasa, yang berarti pengasuh dapat memahami penghuni apa pun bahasa yang mereka gunakan. Selain itu, teknologi ini digunakan untuk mempertahankan fungsi kognitif pada pasien dengan penyakit seperti demensia.
- **Peningkatan Keterlibatan:** Sistem berbasis NLP memfasilitasi percakapan yang bermakna, meningkatkan kesejahteraan mental dan sosial penghuni melalui perangkat interaksi mandiri.

Pemantauan Perangkat Pintar: Perangkat individual memantau kesejahteraan klien dan keberadaan mereka, memberi tahu staf tentang masalah seperti jatuh atau kegagalan mengonsumsi obat resep. Perangkat ini memberikan informasi waktu nyata kepada perawat, serta ke berbagai fasilitas kesehatan untuk tindakan dini.

- **Peringatan Status Kesehatan:** Perangkat yang terhubung dapat langsung memberi tahu perawat atau layanan darurat jika terjadi penurunan kesehatan.
- **Peningkatan Keselamatan Penghuni:** Perangkat pintar terus memantau penghuni, menangani keadaan darurat seperti jatuh atau masalah medis dengan segera.

Diagram ini menyoroti bagaimana AI, NLP, dan khususnya perangkat pintar harus diterapkan dalam hunian berbantuan di masa mendatang untuk menawarkan bantuan medis, komunikasi, dan keselamatan bagi penghuni. Teknologi ini bertujuan untuk:

- Meningkatkan kualitas hidup.
- Menumbuhkan kemandirian yang lebih besar.
- Menjamin keselamatan dan kesejahteraan penghuni yang menjalani perawatan hunian berbantuan.

Pendekatan inovatif ini bertujuan untuk mendefinisikan ulang hunian berbantuan, menjadikannya lebih responsif, personal, dan efektif.

Pergeseran Demografis dalam Hunian Berbantuan

Seiring dengan terus bertambahnya usia populasi global, permintaan akan fasilitas hunian berbantuan diperkirakan akan meningkat secara signifikan. Profil demografis mereka yang membutuhkan hunian berbantuan berkembang pesat, ditandai dengan semakin banyaknya individu yang hidup lebih lama dan mengelola beberapa kondisi kronis secara bersamaan. Pergeseran ini menghadirkan tantangan dan peluang unik bagi Layanan Kesehatan

5.0, yang harus beradaptasi untuk memenuhi kebutuhan populasi yang menua yang beragam dan kompleks.

Layanan Kesehatan 5.0 masih memimpikan masa di mana perawatan yang berpusat pada pasien akan menjadi hal yang utama. Menggunakan sistem tunggal sebagai solusi menyeluruh juga tidak memungkinkan karena para lansia membutuhkan perawatan yang sesuai dengan kondisi dan kebutuhan medis mereka yang dinamis. Personalisasi ini mencakup aspek-aspek seperti perubahan dalam perawatan individual, pengobatan, dan gaya hidup yang berkaitan dengan setiap pasien. Hal ini berkaitan dengan perawatan preventif, alih-alih remedial, di mana pasien dirawat sebelum kondisi tertentu menjadi parah. Pergeseran demografis ini berarti perlunya pergeseran paradigma dalam kehidupan berbantuan di mana semua aspek manusia diakui sebagai hal penting dalam merawat pasien.

AI dalam Perawatan Kehidupan Berbantuan yang Dipersonalisasi

AI memainkan peran penting sebagai komponen kunci Healthcare 5.0. Selain itu, tidak adanya skor standar dianggap bertanggung jawab atas perubahan pola perawatan di fasilitas kehidupan berbantuan melalui penyediaan perawatan yang sangat individual. Teknologi Perawatan Berkelanjutan (CCT) menggabungkan pemantauan data dan analisis data pasien untuk penyediaan intervensi yang tepat dan tepat waktu yang sesuai dengan kebutuhan penghuni. Misalnya, AI dapat melacak beberapa parameter pasien dan kemungkinan risiko kesehatan, serta mengukur tindakan pencegahan sejak dini.

AI dapat dimanfaatkan di fasilitas hunian berbantuan sehingga penghuni memiliki rencana perawatan unik yang direvisi menggunakan data waktu nyata. Rencana perawatan ini membantu memastikan penghuni mendapatkan perawatan yang tepat yang dibutuhkannya, misalnya, mengubah dosis obat, mengubah jadwal aktivitas fisik, atau membantu memenuhi kebutuhan emosional. Namun, AI juga krusial dalam manajemen perawatan karena membantu meningkatkan sumber daya material dan manusia sehingga perhatian pengasuh terarah pada hal yang paling membutuhkan.

Meningkatkan Komunikasi dengan NLP

Menangani masalah komunikasi sangat penting dalam membantu kehidupan karena terdapat tanda-tanda perubahan kognitif dan fisik pada penghuni lansia. Terspesialisasi dalam konteks ini, NLP siap untuk mengubah pola komunikasi ini menjadi lebih terintegrasi dan terkustomisasi. Teknologi AI yang digunakan dalam NLP seperti chatbot dan asisten virtual akan membantu meningkatkan interaksi sosial antara penghuni, pengasuh, dan penyedia layanan kesehatan.

Perangkat yang diperkaya oleh program NLP dapat membantu orang-orang dengan jadwal harian, anjuran pengobatan, mitra interaksi, dan juga memperhatikan perubahan emosi atau perilaku yang memerlukan intervensi. Lebih lanjut, NLP juga dapat membantu mempersempit kesenjangan komunikasi antara penghuni dan pengasuh sehingga kebutuhan dan preferensi penghuni dapat terpenuhi sesuai kebutuhan. Selain itu, teknologi ini meningkatkan kualitas layanan karena penghuni dapat bergerak tanpa bantuan, dan karenanya bermanfaat bagi penghuni dengan meningkatkan kesejahteraan mereka.

Perangkat Terhubung untuk Pengawasan dan Bantuan Lanjutan

Konsep rumah pintar membantu mendefinisikan masa depan hunian berbantuan dalam konteks Layanan Kesehatan 5.0 dengan pengawasan berkelanjutan terhadap warga dan memberikan dukungan berkelanjutan. Perangkat pintar, perangkat yang dapat dikenakan, sensor yang dipasang pada pakaian, dan sistem otomasi rumah menghasilkan data langsung tentang kesejahteraan penghuni secara keseluruhan untuk memungkinkan diagnosis dini komplikasi yang berkembang.

Misalnya, perangkat yang dapat dikenakan dapat mengukur denyut nadi, mengidentifikasi jatuh, atau mengawasi pengasuh yang mengamati tanda-tanda tidak teratur dan memberikan bantuan ke mana pun dibutuhkan dalam sekejap. Perangkat ini juga dapat merekam aktivitas dan tidur setiap hari, yang memberikan petunjuk bermanfaat mengenai kondisi kesehatan penghuni. Perangkat pintar juga menghadirkan peluang tertentu untuk memantau kondisi kesehatan, dan tidak hanya meningkatkan keselamatan tetapi juga membuat penghuni lebih terlibat dalam pengelolaan kesehatan mereka.

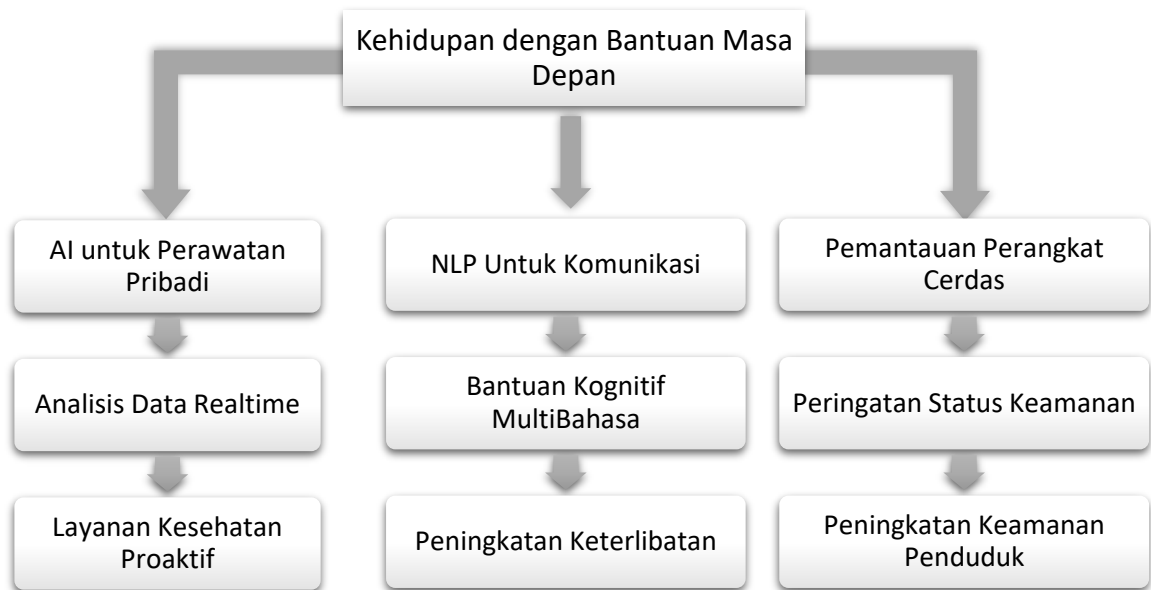
Perubahan Peran dalam Panti Jompo

Penerapan teknologi canggih dalam kontinum Layanan Kesehatan 5.0 siap mengubah paradigma tanggung jawab pasien, pengasuh, dan penyedia layanan kesehatan di lingkungan panti jompo. Konsumen akan mengambil tanggung jawab yang lebih besar atas proses penyembuhan mereka dan sudah terampil menggunakan perangkat pintar berbasis AI. Perawatan yang berpusat pada pasien dan pergeseran ke perawatan mandiri ini tampaknya mendorong kemandirian yang lebih besar.

Meskipun COVID-19 telah menimbulkan beberapa tantangan bagi pengasuh, mereka akan mendapatkan manfaat dari perangkat yang disempurnakan AI untuk melakukan tugas-tugas berulang dan mendapatkan laporan yang lebih baik tentang status kesehatan penghuni. Hal ini memungkinkan mereka untuk mendedikasikan lebih banyak waktu untuk penghuni, memungkinkan observasi yang diperlukan, dan membina hubungan pribadi yang lebih kuat. Dokter dan perawat akan menjadi penasihat, menggunakan data yang dihasilkan AI sebagai alat untuk pengambilan keputusan dan menyesuaikan pendekatan individual untuk setiap penghuni. Pendekatan terpusat seperti itu, yang melibatkan pemanfaatan teknologi yang efisien, akan memungkinkan penyediaan layanan yang akurat dan tepat yang dibutuhkan oleh lansia seiring mereka semakin membutuhkan bantuan.

1.4 TANTANGAN DAN PERTIMBANGAN ETIKA

Penting bagi inisiatif ini untuk menyoroti tantangan dan isu etika seiring dengan kemajuan teknologi di bidang kesehatan yang semakin maju. Isu-isu mendesak muncul seiring dengan berkembangnya model pemberian layanan kesehatan baru, seperti meningkatnya peran kecerdasan buatan dan telemedis; oleh karena itu, penting untuk mengembangkan cara-cara mengelola tantangan yang muncul.



Gambar 1.3 Tantangan dan Peluang dalam Layanan Kesehatan 5.0.

Oleh karena itu, dengan menggunakan Gambar 1.3, peneliti akan menyajikan ancaman dan manfaat utama dari peralihan ke Layanan Kesehatan 5.0. Gambar ini menguraikan proposisi inovasi dan tema-tema utama untuk adaptasi, menekankan pentingnya mempelajari teknologi mana yang mampu memberikan manfaat yang diinginkan dan faktor-faktor mana yang mungkin menghambat adopsinya.

Diagram ini merepresentasikan peralihan ke Layanan Kesehatan 5.0—analisis dan beberapa implikasi terkait sistem nilai tambah yang kompleks secara biologis dan permasalahan dalam mengintegrasikan teknologi baru yang canggih ke dalam sistem layanan kesehatan. Berikut penjelasan detail masing-masing cabang:

Tantangan dalam Privasi Data: Layanan Kesehatan 5.0 memungkinkan beberapa tantangan yang berasal dari pengelolaan data pasien.

- **Memastikan Perlindungan Data:** Sistem komprehensif berbasis kecerdasan buatan dan jaringan yang saling berinteraksi perlu memiliki mekanisme perlindungan yang kuat untuk mencegah kebocoran data pasien. Langkah-langkah tersebut meliputi enkripsi, sistem keamanan canggih, dan langkah-langkah perlindungan data yang baik.
- **Pertimbangan Etis:** Pertimbangan ini bersifat hukum, yang berkaitan dengan perolehan persetujuan dan memastikan data dijelaskan dan dilindungi dengan benar. Pertimbangan ini juga mencakup keadilan, yang berarti setiap orang yang terlibat dengan sistem AI menerima perlakuan yang adil dari sistem.
- **Inovasi Teknologi Tinggi dalam Perawatan yang Berpusat pada Pasien:** Healthcare 5.0 adalah tentang konsep perawatan yang berpusat pada pasien, yang dipersonalisasi dari satu pasien ke pasien lainnya.
- **Layanan yang Berpusat pada Pasien:** Teknologi canggih memungkinkan pengembangan rencana perawatan yang dipersonalisasi, yang memenuhi beragam

kebutuhan dan preferensi pasien, menghasilkan hasil yang lebih baik dan tingkat kepuasan yang lebih tinggi.

Kesulitan dalam Implementasi dan Pemanfaatan Teknologi: Terdapat implikasi dari pertumbuhan teknologi dalam layanan kesehatan yang melampaui masalah implementasi.

- **Mengatasi Resistensi:** Organisasi atau pusat layanan kesehatan juga dapat menghindari peralihan ini karena resistensi terhadap perubahan, biaya tinggi yang terkait dengan implementasi bisnis, dan ketidakpastian dalam teknologi baru, sehingga memperlambat implementasinya.
- **Pelatihan dan Pendidikan:** Seringkali, implementasi mencakup materi pelatihan umum dan waktu pelatihan khusus bagi para profesional layanan kesehatan agar mereka dapat mempelajari alat dan sistem baru.

Peluang dalam AI dan NLP: AI dan NLP paling difasilitasi dalam pengembangan sistem layanan kesehatan.

- **Peningkatan Kualitas Hidup:** Penerapan AI dan NLP dalam diagnosis dan perawatan pasien membantu meningkatkan akurasi, membuat perawatan lebih mudah, memahami kebutuhan pasien, dan meningkatkan kualitas hidup berkali-kali lipat.
- **Pemantauan Kesehatan yang Lebih Baik:** Teknologi ini mendukung pembacaan atau pencatatan kondisi kesehatan secara instan, analisis data yang cepat, dan penyebaran informasi kondisi kesehatan terkini untuk membantu perawat memberikan perawatan preventif.

Kesimpulan: Generasi Healthcare 5.0 memiliki kelebihan dan kekurangan seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Di satu sisi, hal ini berarti kita perlu memecahkan masalah perlindungan data dan keterbatasan teknologi, dan di sisi lain, hal ini membuka peluang untuk menciptakan bentuk-bentuk baru sistem layanan kesehatan berbasis kecerdasan buatan dan pendekatan individual terhadap setiap pasien.

Perubahan ini pasti akan berhasil dengan syarat pendekatan etis diberikan prioritas yang tepat, pendidikan dan pelatihan bagi seluruh staf layanan kesehatan, serta penggunaan kecerdasan bisnis seperti kecerdasan buatan dan pemrosesan bahasa alami dalam berkomunikasi dengan pasien dan menghasilkan solusi baru. Kerangka kerja ini menunjukkan bagaimana atau dalam kondisi apa sistem layanan kesehatan dapat beradaptasi dengan lingkungan yang terus berubah.

Kerahasiaan dan Keamanan Informasi

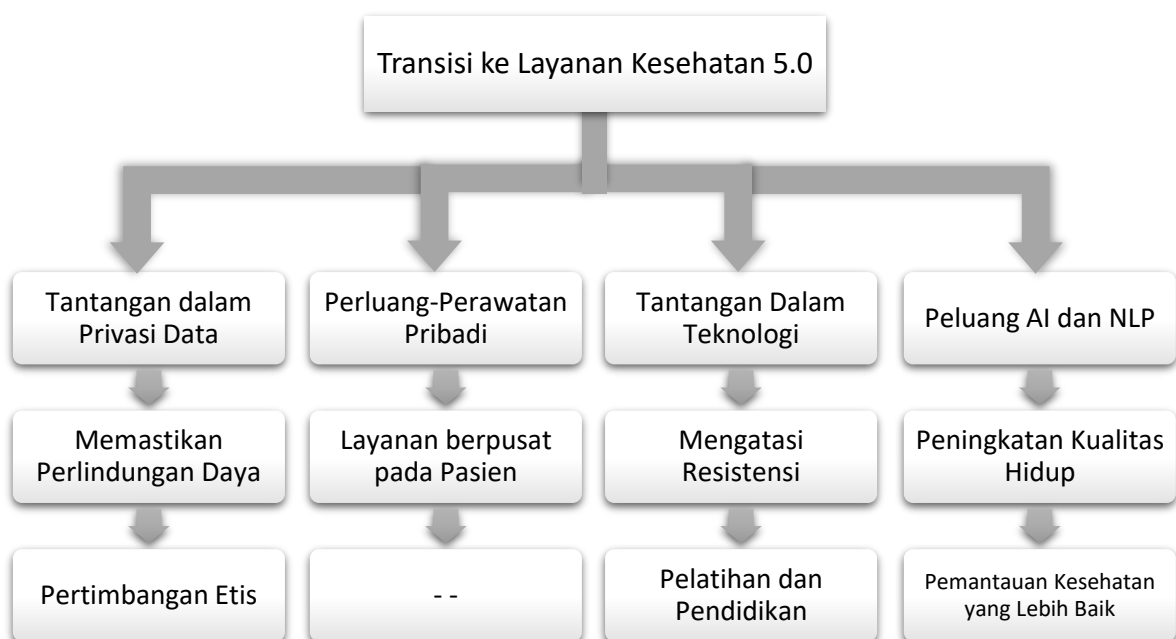
Terdapat beberapa keunggulan komparatif terkait dengan penerapan AI dan NLP serta penggunaan perangkat pintar di rumah; namun, peningkatan teknologi ini menimbulkan pertanyaan krusial terkait perlindungan dan keamanan data. Teknologi ini bergantung pada manuver pengumpulan, analisis, dan penyimpanan informasi kesehatan pribadi, dan itulah mengapa ada kebutuhan untuk melindungi data ini. Pelanggaran keamanan data dapat mengakibatkan dampak buruk dan berbagai implikasi negatif bagi pasien, seperti penipuan identitas, akses ilegal ke informasi dan rekam medis mereka, erosi kepercayaan publik terhadap sektor layanan kesehatan, dan lainnya. Namun, pengungkapan data residen memerlukan penerapan perlindungan keamanan tingkat tinggi. Ini mencakup metode seperti

enkripsi, koneksi jaringan yang aman, dan hak akses yang ketat. Baik tenaga kesehatan maupun teknisi teknologi memiliki tanggung jawab untuk memastikan bahwa setiap aspek teknologi memiliki fitur privasi per desain, yang menyiratkan bahwa fitur perlindungan tingkat tertinggi telah diterapkan pada tahap awal pengembangan.

Selain solusi teknis yang telah disebutkan di atas, diperlukan kontrol manusia atas data pribadi yang diberikan. Ini berarti mereka harus tahu bagaimana data tentang mereka dikumpulkan, digunakan, dan dibagikan, dan mereka harus bebas untuk memilih keluar dari perjanjian pembagian tersebut jika mereka menginginkannya. Karena persetujuan berdasarkan informasi dapat dipandang sebagai kepercayaan, konsep ini harus menjadi inti dari setiap kebijakan data dalam Layanan Kesehatan 5.0. Para residen juga harus diberikan akses ke informasi mereka, agar mereka dapat membuat keputusan yang bermanfaat terkait kesehatan dan perawatan medis mereka.

Prosedur untuk Mengurangi Bias dalam AI dan NLP

Gambar 1.4 menunjukkan diagram alur yang berfokus pada bagaimana teknologi AI dan NLP diterapkan di fasilitas hunian berbantuan. Banyak pakar lapangan menyadari bahwa AI dan NLP memiliki potensi besar untuk memajukan perawatan di fasilitas hunian berbantuan, tetapi keduanya pasti disertai dengan beberapa kesulitan yang tak terduga. Salah satu masalah utama adalah bias dapat muncul dalam sistem pintar semacam itu. Pembelajaran mesin memanfaatkan kecerdasan buatan, dan setiap set data yang dimasukkan ke dalam algoritma dapat mengandung prakonsepsi atau stigma tertentu, seperti rasisme, seksisme, atau klasisme. Bias ini kemungkinan besar akan tercermin dalam hasil akhir. Hal ini menunjukkan bagaimana AI dan NLP akan merevolusi hunian berbantuan, terutama bagi populasi lansia. Berikut penjelasan detail masing-masing komponen:



Gambar 1.4 AI dan NLP dalam kehidupan berbantuan.

Ide Pokok: AI & NLP dalam Kehidupan Berbantuan

Konsep ini dibangun berdasarkan topik berikutnya dan membahas implementasi AI canggih serta sistem pemrosesan bahasa alami ke dalam konteks kehidupan berbantuan. Intinya adalah mengoptimalkan perawatan dan meningkatkan pembagian informasi dengan tujuan memfasilitasi intervensi tepat waktu yang berfokus pada pasien lanjut usia. Tema pokok ini dibagi menjadi tiga area utama:

Pemantauan Kesehatan Berbasis AI: Aspek ini berkaitan dengan penggunaan AI dalam deteksi dini risiko terhadap kesehatan pasien sehingga pemantauan berkelanjutan dapat dilakukan menggunakan tanda-tanda vital yang telah dievaluasi.

Memprediksi Masalah Kesehatan Sejak Dini: Perangkat wearable pribadi, sensor, dan rekam medis elektronik dianalisis secara real-time oleh algoritma kecerdasan buatan yang canggih.

Misalnya:

- **Input Data:** Di sini, indeks pengukuran mencakup laju detak jantung, tekanan darah, kadar oksigen, dan kadar gula darah.
- **Hasil:** AI mengidentifikasi tanda-tanda nyata penyakit akut berat yang berasal dari kardiovaskular atau perkembangan komplikasi diabetes atau stroke. Hal ini mudah diprediksi dan penyedia layanan kesehatan dapat mempersiapkan keadaan darurat sebelum terjadi.

Memprediksi Masalah Kesehatan Sejak Dini: Pembelajaran mesin memanfaatkan data waktu nyata dari perangkat yang dapat dikenakan, sensor, dan detail rekam medis lainnya.

Misalnya:

- **Input Data:** Metrik seperti detak jantung, tekanan darah, kadar saturasi oksigen, dan kadar glukosa darah.
- **Hasil:** AI mengidentifikasi tanda-tanda peringatan dini kondisi berat seperti serangan jantung, komplikasi diabetes, atau stroke. Memprediksi masalah ini memungkinkan penyedia layanan kesehatan untuk menangani potensi keadaan darurat sebelum terjadi.

Intervensi Tepat Waktu: Ketika anomali terdeteksi, sistem AI akan memberi tahu perawat, pasien, atau tenaga kesehatan profesional.

Misalnya:

- Sistem bertenaga AI mengidentifikasi detak jantung tidak teratur dan memberi tahu dokter, memungkinkan intervensi tepat waktu.
- Perubahan mendadak kadar oksigen memicu peringatan, meminta bantuan segera dan mencegah eskalasi.
- **Dampak:** Ini menyelamatkan nyawa pasien melalui notifikasi tepat waktu untuk mencegah perlunya menerima pasien gawat darurat dan meningkatkan keselamatan.

NLP untuk Komunikasi: NLP memainkan peran penting dalam meningkatkan pengalaman komunikasi antara lansia, pengasuh, dan dokter, terutama ketika pasien tidak dapat berbicara dengan lancar.

1. **Komunikasi yang Disempurnakan:** NLP membantu mencapai percakapan yang lancar karena kemampuan alat dalam menafsirkan bahasa manusia.

Contoh:

- **Asisten Suara:** Ini termasuk perangkat infotainment, seperti Alexa atau Siri, yang membantu pasien berkomunikasi dengan sistem layanan kesehatan menggunakan bahasa verbal.
 - **Dukungan Multibahasa:** Alat NLP memfasilitasi percakapan antar lansia dalam bahasa yang mereka sukai.
 - **Fitur Aksesibilitas:** Salah satu fitur aksesibilitas memungkinkan pasien dengan gangguan bicara untuk mengetik menggunakan perintah suara, gerakan mulut, atau metode nyaman lainnya.
2. **Interaksi Pasien yang Lebih Baik:** Teknologi ini pada akhirnya mendukung pengalaman pasien global dengan berfokus pada interaksi yang efektif dan empatik dengan individu.

Contoh:

- **Chatbot:** Asisten digital ini menjawab pertanyaan pasien, mengingatkan mereka tentang jadwal pengobatan, dan memberikan dukungan emosional.
- **Analisis Emosional:** Sistem NLP canggih menganalisis nada atau pilihan kata pasien untuk mendeteksi stres, kecemasan, atau depresi, sehingga memungkinkan intervensi psikologis yang tepat waktu.

Dampak:

- Perawatan menjadi lebih berfokus pada pasien.
- Lansia merasa didengarkan dan dipahami, meningkatkan kepuasan dan kepatuhan terhadap rencana perawatan.

Perangkat Pintar Real-Time: Perangkat pintar AI dan IoT memberikan dukungan yang presisi dan pemantauan real-time, memastikan lingkungan yang lebih aman bagi lansia.

Deteksi Jatuh dan Manajemen Pengobatan: Dua tantangan utama dalam perawatan lansia adalah jatuh dan kepatuhan pengobatan. Perangkat pintar mengatasi masalah ini secara efektif:

Deteksi Jatuh:

- Perangkat yang dapat dikenakan seperti jam tangan pintar atau sensor gerak mendeteksi gerakan atau benturan yang tidak normal.
- Algoritma AI membedakan jatuh yang tidak disengaja dari aktivitas biasa, sehingga mengurangi alarm palsu.
- Peringatan darurat dikirim secara instan kepada pengasuh atau penyedia layanan kesehatan untuk tindakan cepat.

Kepatuhan Berobat:

- Dispenser pil otomatis mengingatkan pasien untuk minum obat tepat waktu.
- Pengingat pintar (melalui perangkat atau aplikasi) memastikan pasien mengikuti jadwal yang ditentukan.

Perawatan Pasien yang Disesuaikan: Perangkat pintar membuat rencana perawatan yang disesuaikan berdasarkan kebutuhan individu:

- **Pengumpulan Data:** Perangkat melacak metrik seperti kualitas tidur, aktivitas fisik, dan indikator kesehatan lainnya.
- **Kustomisasi:** AI menganalisis data ini untuk menawarkan rekomendasi yang dipersonalisasi, seperti:
 - Menyesuaikan suhu ruangan untuk tidur yang lebih nyenyak.
 - Menyarankan latihan khusus untuk meningkatkan mobilitas.
 - Tempat tidur pintar yang dapat disesuaikan sudutnya untuk mencegah luka baring pada pasien yang terbaring di tempat tidur.
 - Sistem pencahayaan pintar yang beradaptasi dengan waktu, mendukung tidur yang lebih nyenyak.
- **Dampak:**
 - Pemantauan berkelanjutan mengurangi risiko kesehatan dan keselamatan.
 - Rencana perawatan yang disesuaikan meningkatkan kesejahteraan dan kualitas hidup pasien.

Integrasi Tiga Pilar

Tiga pilar—pemantauan berbasis AI, NLP untuk komunikasi, dan perangkat pintar—bekerja sama untuk menciptakan ekosistem hunian berbantuan yang komprehensif:

- **Manajemen Kesehatan Proaktif:** AI memprediksi masalah kesehatan, NLP memastikan komunikasi yang akurat, dan perangkat pintar memfasilitasi intervensi waktu nyata.
- **Perawatan yang Berpusat pada Pasien:** Intervensi individual menangani gejala dan kemungkinan gangguan tertentu.
- **Efisiensi dan Keamanan:** Sistem otomatis mengurangi beban pengasuh, memungkinkan mereka untuk fokus pada kebutuhan emosional dan sosial pasien.

Teknologi seperti AI dan NLP merevolusi industri hunian berbantuan. Solusi konsumen perawatan lansia menjawab kebutuhan konsumen lansia secara tepat dengan cara berikut: tampilan kesehatan prediktif, koneksi yang lebih baik, dan penggunaan perangkat rumah pintar. Selain sangat menguntungkan bagi aktor utama—pasien—solusi ini juga memberikan kelegaan bagi pengasuh dan sistem layanan kesehatan. Kerangka kerja ini memberikan gambaran sekilas tentang apa yang muncul di sekitar kita sebagai Layanan Kesehatan 5.0—perpaduan sinergis antara teknologi dan kasih sayang. Ketika algoritma tersebut diterapkan dalam konteks hunian berbantuan, diskriminasi muncul dalam arti bahwa beberapa kelas penghuni tertentu ditawarkan layanan yang lebih rendah karena algoritma memberikan estimasi atau pernyataan yang salah. Misalnya, sistem AI dapat secara keliru menilai risiko kesehatan orang-orang dari minoritas tertentu hanya karena jumlah mereka tidak mencukupi dalam data pelatihan.

Untuk mengurangi risiko ini, algoritma AI dan NLP berikut harus digunakan; algoritma tersebut harus transparan, dan prosesnya harus adil dan inklusif. Hal ini memerlukan pemanfaatan berbagai sumber data yang mewakili populasi yang berada di fasilitas hunian berbantuan dan melakukan audit penilaian untuk menghilangkan bias secara berkala. Selain itu, penerapan metode AI yang dapat dijelaskan (XAI) yang bertujuan untuk menjelaskan

keputusan AI kepada pengguna manusianya juga dapat berkontribusi pada penggunaan teknologi AI yang etis dan adil.

Memastikan Inklusivitas dalam Hunian Berbantuan

Seiring dengan masuknya teknologi Healthcare 5.0 ke dalam lingkungan hunian berbantuan, penting untuk memastikan bahwa penghuni fasilitas ini tidak terkekang oleh kemajuan ini. Sebagaimana akan dijelaskan, penghuni di panti wreda memiliki beragam usia, status fisik dan kognitif, serta asal-usul. Teknologi yang akan diterapkan harus mampu mengakomodasi keberagaman ini sehingga tidak ada penghuni yang terpinggirkan. Misalnya, perangkat pintar dan ubin dengan AI harus memungkinkan penghuni penyandang disabilitas maupun mereka yang memiliki gangguan kognitif untuk memenuhi kebutuhan khusus mereka. Sistem yang diaktifkan dengan suara harus dapat bekerja dengan berbagai aksen dan cara bicara, dan antarmuka harus jelas dan sederhana bagi mereka yang tidak mahir menggunakan perangkat komputasi.

Hal ini, jika menyangkut aspek sosial dan budaya perawatan, juga mencakup hal yang menyeluruh. Solusi teknologi harus dipertimbangkan dengan mempertimbangkan perbedaan budaya dan oleh karena itu harus mengakomodasi semua budaya dan keyakinan mereka tentang teknologi. Ini mungkin berarti bahwa penggunaan rencana perawatan berbasis AI perlu disesuaikan dengan praktik budaya penghuni tertentu, atau perangkat NLP yang digunakan harus mampu menjelaskan dalam bahasa yang dipahami oleh penghuni tersebut. Sehubungan dengan keberagaman penghuni, fokus yang dianut pada pentingnya inklusi akan membantu fasilitas hunian berbantuan membuat lebih banyak perubahan positif terkait Healthcare 5.0.

Teknologi dengan Unsur Manusia

Meskipun kemajuan informatika kesehatan melalui pemanfaatan teknologi di era Healthcare 5.0 memiliki banyak keuntungan, faktor manusia dalam hubungan antara pasien dan perawat tetaplah penting untuk diperhatikan, karena faktor ini krusial bagi kesejahteraan seseorang. Hal ini bukan hanya tentang perawatan medis bagi individu yang sakit kronis, tetapi juga tentang membangun koneksi dan menemukan tempat seseorang di masyarakat.

Salah satu permasalahannya adalah penekanan yang berlebihan pada rasionalitas, sehingga penghuni diperlakukan bukan sebagai individu yang unik, melainkan sebagai data. Menanggapi hal ini, fasilitas terkait seperti panti wreda harus berfokus pada interaksi manusia yang memuaskan. Mereka harus mendorong perawat untuk memanfaatkan teknologi sebagai cara untuk memperkuat kualitas hubungan yang telah terjalin dengan penghuni dan bukan merusaknya.

Misalnya, meskipun AI dapat digunakan untuk tugas-tugas sederhana seperti mengingatkan penghuni untuk minum obat, perawat harus berfokus pada bercerita, berempati, dan menjalin persahabatan dengan penghuni. Pengelolaan kebutuhan teknologi dan emosional yang efisien merupakan faktor utama keberhasilan Healthcare 5.0 di panti wreda. Pendekatan ini tidak hanya menjamin penyediaan perawatan fisik yang diperlukan bagi penghuni, tetapi juga intervensi psikologis dan sosial yang esensial dan vital bagi kesejahteraan penghuni.

1.5 REVITALISASI PERAWATAN LANSIA DI PANTI WREDA BENGALURU

Dengan meningkatnya jumlah lansia, penyediaan perawatan dan pengobatan telah menjadi aspek penting dalam sektor kesehatan. Fasilitas panti wreda memiliki peralatan khusus untuk memenuhi kebutuhan lansia, terutama mereka yang memiliki penyakit kronis, kesulitan mobilitas, atau demensia.

Studi kasus ini mengkaji bagaimana sebuah fasilitas di Bengaluru, Karnataka, mentransformasi layanannya dengan menggabungkan AI, NLP, dan perangkat pintar. Inovasi-inovasi ini secara signifikan meningkatkan perawatan dan manajemen pasien di fasilitas tersebut, menawarkan wawasan tentang bagaimana teknologi dapat mengatasi tantangan dalam perawatan lansia.

“Graceful Living Homes” adalah fasilitas hunian berbantuan dengan 100 penghuni, sebagian besar berusia di atas 65 tahun, meskipun beberapa di antaranya adalah individu muda penyandang disabilitas. Para penghuni memiliki beragam kebutuhan:

- **Tantangan Kesehatan:** Asma, kanker, penyakit jantung, diabetes, tekanan darah tinggi, artritis, dan penyakit Alzheimer.
- **Masalah Mobilitas:** Banyak penghuni membutuhkan bantuan untuk aktivitas dasar sehari-hari (ADL).
- **Hambatan Komunikasi:** Keragaman bahasa dan gangguan kognitif memengaruhi komunikasi.

Untuk mengatasi tantangan ini, manajemen mengadopsi model Healthcare 5.0, yang berfokus pada pemantauan kesehatan berbasis AI, perangkat interaksi berbasis NLP, dan perangkat pintar untuk keamanan, intervensi, dan perawatan personal.

AI dan NLP di Lingkungan Panti Jompo

Pemantauan Kesehatan Berbasis AI: Graceful Living Homes berkolaborasi dengan sebuah perusahaan teknologi kesehatan untuk memperkenalkan perangkat yang dapat dikenakan (wearable) untuk pemantauan kesehatan berkelanjutan. Perangkat ini terintegrasi dengan AI untuk menganalisis data waktu nyata (real-time) dan memprediksi potensi masalah kesehatan.

Teknologi yang Digunakan:

- **Perangkat yang Dapat Dikenakan:** Jam tangan pintar dan gelang kebugaran untuk memantau tanda-tanda vital seperti detak jantung, tekanan darah, saturasi oksigen, dan kadar glukosa.
- **Perangkat Lunak AI:** Perangkat untuk analisis data waktu nyata (real-time) dan deteksi anomali prediktif.

Hasil:

- **Intervensi Proaktif:** Misalnya, seorang wanita berusia 80 tahun dengan diabetes mengalami lonjakan kadar glukosa selama pemantauan. Sistem ini memperingatkan tim kesehatan, memungkinkan pemberian insulin tepat waktu dan penyesuaian pola makan untuk mencegah koma diabetik.
- **Manajemen Penyakit Kronis:** Deteksi dini tekanan darah tinggi membantu mencegah potensi serangan jantung dan stroke.

NLP untuk Komunikasi: Perangkat berbasis NLP diimplementasikan untuk mengatasi hambatan komunikasi dan meningkatkan interaksi antara penghuni dan pengasuh.

Aplikasi:

- **Chatbot Multibahasa:** Chatbot dengan kemampuan multibahasa memungkinkan penghuni berkomunikasi dalam bahasa Kannada, Tamil, Hindi, dan Inggris.
Contoh: Chatbot bernama *Mitra* membantu penghuni menjadwalkan janji temu medis, mengingatkan jadwal minum obat, dan menjawab pertanyaan terkait kesehatan.
- **Asisten Ucapan-ke-Teks dan Suara:** Penghuni dengan gangguan bicara atau demensia menggunakan perangkat ini untuk berkomunikasi secara efektif.

Hasil:

- Peningkatan keterlibatan penghuni dan pengurangan rasa terisolasi.
- Peningkatan pemahaman akan kebutuhan penghuni, memungkinkan pengasuh untuk membuat rencana perawatan yang dipersonalisasi.
- Peningkatan komunikasi antar tim perawatan, memastikan koordinasi yang lebih baik.

Perangkat Pintar untuk Pemantauan Waktu Nyata: Perangkat pintar diterapkan di seluruh fasilitas untuk meningkatkan keselamatan dan pemberian perawatan.

Aplikasi:

- **Sensor Deteksi Jatuh:** Sensor gerak di ruangan dan area umum mendeteksi jatuh.
Contoh: Seorang pria berusia 85 tahun terjatuh di kamar mandinya pada malam hari. Sistem ini memperingatkan perawat, yang segera merespons, mencegah cedera serius.
- **Dispenser Obat Otomatis:** Sistem ini memastikan penghuni meminum obat yang tepat pada waktu yang tepat, dengan peringatan jika dosis terlewat.
- **Tempat Tidur Pintar:** Tempat tidur dengan bantal yang sensitif terhadap tekanan melacak pola tidur dan menyesuaikan posisi untuk mencegah luka baring.

Hasil:

- Peningkatan keselamatan penghuni melalui intervensi yang tepat waktu.
- Penurunan rawat inap ulang di rumah sakit karena kepatuhan pengobatan yang lebih baik.
- Peningkatan kualitas hidup penghuni dan pengurangan beban pengasuhan.

Tantangan dan Solusi

- **Resistensi terhadap Adopsi Teknologi:**

Masalah: Beberapa penghuni dan perawat ragu untuk menggunakan teknologi baru karena belum terbiasa.

Solusi: Melaksanakan lokakarya dan sesi pelatihan untuk membangun kepercayaan diri dan keakraban dengan teknologi.

- **Kekhawatiran Privasi Data:**

Masalah: Warga khawatir tentang bagaimana data kesehatan mereka dikelola.

Solusi: Bermitra dengan perusahaan keamanan siber untuk memastikan enkripsi data dan kepatuhan terhadap peraturan perlindungan data.

- **Biaya Implementasi Tinggi:**

Masalah: Investasi awal dalam AI, NLP, dan perangkat pintar sangat signifikan.

Solusi: Mendapatkan pendanaan melalui program inovasi layanan kesehatan dan kolaborasi dengan vendor teknologi.

- **Pembaruan Berkelanjutan:**

Solusi: Pembaruan rutin pada algoritma AI dan perangkat lunak perangkat memastikan akurasi dan keandalan.

Integrasi AI, NLP, dan perangkat pintar di Graceful Living Homes menunjukkan bagaimana Healthcare 5.0 dapat merevolusi kehidupan berbantuan. Dengan mengatasi tantangan kesehatan, keselamatan, dan komunikasi, teknologi ini meningkatkan kualitas hidup warga dan mengurangi beban kerja pengasuh.

Studi kasus ini menjadi model bagi fasilitas lain yang bertujuan untuk mendefinisikan ulang perawatan lansia melalui inovasi dan teknologi, membuka jalan bagi masa depan di mana teknologi canggih terintegrasi secara mulus dengan perawatan yang penuh kasih.

1.6 KONSEP PANTI JOMPO DI ERA KESEHATAN 5.0

Dalam era Layanan Kesehatan 5.0, panti jompo harus mengintegrasikan teknologi sebagai alat untuk meningkatkan perhatian individu serta kesejahteraan penghuninya. Hal ini akan terbukti praktis karena setiap klien mungkin memerlukan pendekatan yang berbeda, dan pendekatan baru ini akan membantu para pengasuh untuk menyusun rencana perawatan yang tepat bagi setiap pasien.

Visi untuk Panti Jompo dalam Layanan Kesehatan 5.0

Meningkatnya permintaan akan perawatan dan dukungan jangka panjang bagi lansia telah mendorong munculnya panti jompo sebagai sebuah model di mana teknologi terintegrasi ke dalam perawatan penghuni dengan cara yang merangkul dan memberdayakan orang-orang dari beragam latar belakang dalam komunitas. AI, NLP, dan perangkat pintar akan membantu penghuni mendapatkan kembali tingkat kemandirian mereka yang hilang dalam kehidupan sehari-hari sekaligus memfasilitasi humanisasi perawatan, menjadikannya seindividual mungkin berdasarkan kebutuhan dan kondisi seseorang. Oleh karena itu, visi ini mencakup peningkatan kesehatan dan teknologi untuk meningkatkan kesejahteraan penghuni secara keseluruhan, termasuk kemampuan mereka untuk mandiri, menjaga martabat, dan berpartisipasi aktif dalam berbagai kegiatan.

Transisi: Sebuah Proses Persiapan

Mewujudkan visi ini membutuhkan arahan strategis yang berkelanjutan dan kemitraan antara para profesional kesehatan, teknolog, dan legislator. Pelatihan dan pendidikan bagi para pengasuh serta penyedia layanan kesehatan harus didorong agar mereka siap menggunakan teknologi baru bersama pasien. Perlu juga ditetapkan kebijakan yang mengatur perlindungan kepentingan penghuni serta mendorong pertumbuhan. Peningkatan signifikan pada aset organisasi utama yang menghasilkan pendapatan, misalnya, sistem data yang aman dan teknologi yang efektif, diperlukan untuk melengkapi peralihan saat ini menuju Healthcare 5.0 di panti wreda.

Perspektif Masa Depan tentang Panti Wreda

Healthcare 5.0 adalah konsep yang memiliki implikasi jangka panjang terhadap sistem layanan kesehatan. Dengan mempelajari dampak intervensi non-farmakologis bagi penghuni panti wreda, temuan keseluruhan 0 cukup signifikan. Studi ini menyimpulkan bahwa dengan kemajuan teknologi dalam cara pengelolaan fasilitas panti wreda, kesehatan penghuni akan meningkat, sehingga kualitas hidup mereka juga akan meningkat. Namun, intinya adalah untuk tidak melupakan konsekuensi etis dan sosial yang dapat diperkirakan dari kemajuan tersebut, sekaligus menjamin bahwa semua penghuni akan mendapatkan dampak positif dari penerapan Healthcare 5.0. Lingkungan hunian berbantuan dapat ditingkatkan jika lebih banyak perhatian diberikan pada isu-isu seperti perlindungan data, prasangka, dan inklusi sebanyak mungkin orang ke dalam komunitas.

1.7 KESIMPULAN

Transisi dari Layanan Kesehatan 4.0 ke Layanan Kesehatan 5.0 menghadirkan peluang berharga untuk mentransformasi hunian berbantuan dan meningkatkan kualitas hidup penghuni. Evolusi ini didukung oleh teknologi terdepan seperti AI, NLP, dan perangkat pintar, yang menyediakan perawatan personal, meningkatkan proses komunikasi, dan selalu mendampingi pasien. Namun, keberhasilan Layanan Kesehatan 5.0 dalam hunian berbantuan tidak dapat dicapai tanpa mengatasi hambatan-hambatan tertentu terkait privasi, bias, kesetaraan, dan kasih sayang. Jika teknologi ini diadopsi dengan mengutamakan kepentingan terbaik penghuni, kita dapat menciptakan lingkungan dan budaya hunian berbantuan yang lebih progresif dan peka yang layak didapatkan oleh penghuni senior.

BAB 2

TELEHEALTH CERDAS BERBASIS CLOUD MENGGUNAKAN IoMT

2.1 PENDAHULUAN

Praktik dan rencana perawatan kesehatan tradisional dirancang untuk berfokus pada penyakit tertentu, alih-alih mengidentifikasi dan mengenali karakteristik unik setiap pasien, yang mengakibatkan hasil rencana perawatan yang kurang optimal. Praktik klinis tradisional seringkali memprioritaskan penekanan penyakit daripada pencegahan melalui pengobatan gejala, yang menyebabkan keterlambatan dalam deteksi dan pelaporan kepada ahli medis untuk mencari pengobatan sebelum gejala yang signifikan muncul. Akibatnya, perawatan kesehatan dini terlewatkan karena keterlambatan diagnosis penyakit. Sebaliknya, kebutuhan sistem layanan kesehatan jarak jauh real-time menarik perhatian global untuk menyediakan layanan diagnosis dan prognosis penyakit secara langsung kepada manusia. Kepadatan penduduk meningkat pesat, dan semakin banyak orang yang pindah ke daerah perkotaan. Mayoritas penduduk kelas pekerja memiliki sedikit waktu untuk merawat orang-orang terdekat dan tersayang di tengah kesibukan sehari-hari. Harapan masyarakat juga meningkat akan layanan kesehatan yang efektif, tepat waktu, bebas repot, dan secara keseluruhan berkualitas lebih baik. Oleh karena itu, sektor kesehatan terus menghadapi tantangan sosial dan ekonomi yang penting untuk solusi kesehatan yang lebih maju di seluruh dunia.

Kevin Ashton pertama kali menggunakan istilah "Internet of Things (IoT). Pada akhir 1990-an, teknologi identifikasi frekuensi radio (RFID) memungkinkan perangkat komunikasi nirkabel kecil untuk dihubungkan ke berbagai subjek, yang dapat menangkap dan membuat informasi yang dapat dibaca dari jarak berapa pun. Perangkat mikro ini dapat dibungkus dalam selongsong plastik sebagai stiker kecil. Perangkat penginderaan yang dibungkus ini dapat melacak pergerakan objek untuk memantau, mengendalikan, dan meningkatkan sistem manajemen rantai pasokan. Token RFID semacam itu dapat digunakan dalam bisnis, industri, pengawasan, kesehatan, perawatan pasien jarak jauh, pemantauan penyakit, dan perawatan medis personal. Perangkat IoT berisi berbagai perangkat komunikasi, teknologi, dan program aplikasi perangkat lunak yang independen namun terintegrasi. Inti dari teknologi ini adalah jaringan perangkat terintegrasi yang terhubung ke jaringan lain atau jaringan dari jaringan, yang disebut internet, yang mengirim dan menerima berbagai data melalui saluran komunikasi kabel dan nirkabel. Sensor dan perangkat penangkap sinyal biologis bekerja secara end-to-end, yang pada dasarnya merupakan IoT secara umum, dan Internet of Medical Things (IoMT) untuk diagnosis medis yang dapat dikenakan. IoMT yang dapat dikenakan ini berisi beberapa komponen elektronik terintegrasi yang dilengkapi dengan sistem operasi dan perangkat lunak aplikasi untuk mengoperasikan, mengumpulkan, menyimpan, mengirimkan, dan berbagi data pasien di antara server pemberi rekomendasi layanan kesehatan dan agen pemantauan layanan kesehatan pasien pribadi.

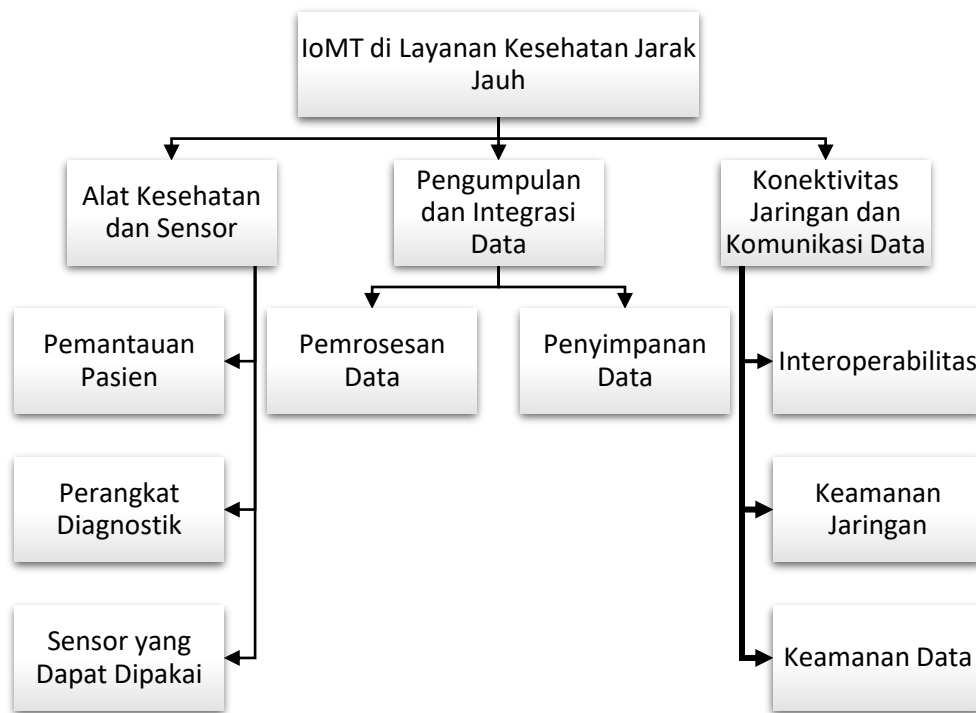
Ambient Assisted Living (AAL)

Perangkat pintar nirkabel berbasis kecerdasan buatan (AI) yang digerakkan oleh data mendukung kehidupan manusia sehari-hari. Aplikasi perangkat pintar di sektor kesehatan sangat memengaruhi perangkat pendukung AI yang mendukung manusia yang hidup mandiri, terutama lansia dan penyandang disabilitas fisik. Hal ini sangat bermanfaat dan efektif bagi penyandang disabilitas fisik dan lansia untuk memberikan perhatian pribadi secara langsung (real-time) dengan membaca dan menganalisis karakteristik fisiologis mereka sambil tinggal di rumah dalam lingkungan keluarga. Jenis lingkungan ini diciptakan dengan mengintegrasikan beberapa teknologi independen dan perangkat sensor perangkat keras yang mampu membaca, menyimpan, memproses, dan mengirimkan data pasien ke server pembelajaran mendalam (deep learning/DL) berbasis AI untuk analisis kritis dan respons cepat secara langsung (real-time). Sistem ini mencakup algoritma komputer AI, perangkat analitik big data, kontrol transmisi data, keamanan, dan alat pemantauan untuk analisis pengenalan dan pemantauan tanda-tanda vital pasien, seperti denyut nadi, tekanan darah, detak jantung, fungsi pernapasan, fungsi otak, dan gerakan.

Arsitektur sistem komunikasi modular dirancang menggunakan protokol komunikasi IPv6 yang beroperasi pada jaringan area pribadi kecil (PAN) nirkabel hemat energi. Data pasien dikomunikasikan kepada penyedia layanan kesehatan menggunakan layanan transmisi loop tertutup dalam spektrum RFID dan gerbang komunikasi data medan dekat (NFDC). Sistem respons layanan kesehatan waktu nyata (real-time) memanfaatkan layanan sistem pakar medis berbasis awan untuk mendeteksi keadaan darurat medis, dan dengan demikian membantu penyedia layanan kesehatan mengirimkan peringatan untuk perawatan pasien. Sistem berbasis IoMT memanfaatkan agen robot bantu untuk melacak kualitas udara dan suhu ruangan di dalam dan di luar lingkungan kamar pasien, dan mengirimkan peringatan kepada perawat untuk mengambil tindakan yang tepat. Wadah pintar, sensor tertanam, dan perangkat penginderaan detektor permukaan yang dapat dikenakan telah digunakan untuk mendeteksi asupan cairan pada lansia.

Saat ini, dunia hampir sepenuhnya terhubung, dan semua individu dapat terhubung secara virtual satu sama lain. Ketersediaan perangkat komunikasi nirkabel dan seluler yang terjangkau dan belum pernah terjadi sebelumnya di mana-mana memungkinkan semua jenis data untuk dikirim dan diterima. Ketersediaan sensor dan aktuator independen miniaturisasi yang terjangkau memfasilitasi infrastruktur perangkat keras baru yang memungkinkan layanan kesehatan berkualitas tinggi dan efisiensi biaya rendah bagi penyedia layanan yang sudah mapan. Fondasi infrastruktur ini secara efisien memajukan teknologi baru untuk layanan kesehatan yang lebih baik melalui tugas-tugas prediktif, preventif, personal, dan partisipatif. Pendekatan ini memungkinkan penyedia layanan untuk memahami riwayat biologis setiap pasien, alih-alih mengelompokkan pasien. Pendekatan ini secara signifikan menurunkan anggaran kesehatan global dengan mengurangi rawat inap yang tidak perlu, konsumsi obat yang berlebihan, dan menyediakan layanan kesehatan di lingkungan rumah pasien. Layanan e-health berbasis web semakin diminati untuk menyediakan layanan medis yang personal,

terutama bagi masyarakat urban. Tugas utama infrastruktur IoMT dalam layanan kesehatan pasien digambarkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Aplikasi Utama Iomt Dalam Pemantauan Layanan Kesehatan Jarak Jauh.

Model industri baru, yang disebut Healthcare 5.0, sangat merekomendasikan dan menekankan interaksi antara manusia dan mesin. Kemajuan teknologi dalam komponen perangkat keras dan perangkat lunak IoT telah memunculkan model arsitektur industri sebelumnya, yang memberikan fondasi yang kuat untuk Industri 5.0. Hal ini memerlukan dan memanfaatkan potensi kreatif unik para teknokrat bersama dengan perangkat kompak yang kuat dan akurat yang berkembang pesat. Dengan meningkatnya teknik AI, algoritma berbasis data pembelajaran mesin (ML), dan kemajuan teknologi lainnya dalam penyimpanan data, prosesor komputer berdaya tinggi, dan penggunaan perangkat otomatis di bidang medis, diagnosis dan prognosis penyakit saat ini disebut sebagai model arsitektur layanan kesehatan berbasis AI. Algoritma komputer berbasis AI dapat dicirikan oleh pemrosesan kumpulan data biomedis yang besar untuk mengekstrak informasi inferensial yang akurat untuk membuat prediksi yang tepat yang mungkin cocok dengan observasi kognitif manusia, khususnya pembelajaran, pemikiran, dan tindakan cepat. Prosedur yang didukung AI yang dapat mengurangi kesalahan manusia dengan tepat membantu dokter layanan kesehatan dan profesional terkait lainnya yang terlibat dalam memberikan perawatan pasien yang konstan. Metode berbasis AI memiliki potensi besar untuk evaluasi analisis citra medis multimoda untuk diagnosis dan prognosis penyakit. Alat dan teknik berbasis AI terus meningkatkan efektivitas dan keandalannya, serta memiliki potensi besar untuk menyediakan layanan kesehatan yang cepat, akurat, tepat waktu, dan terjangkau secara ekonomi di lokasi terpencil mana pun dengan bantuan infrastruktur dan perangkat IoMT yang memadai. AI dapat

meringankan beban administrasi, keuangan, dan sumber daya bagi penyedia layanan kesehatan. AI dapat meningkatkan manajemen klaim dan sistem pendukung keputusan klinis dengan meningkatkan efisiensi fungsi administratif dan merampingkan distribusi sumber daya pada tahap awal pengambilan keputusan.

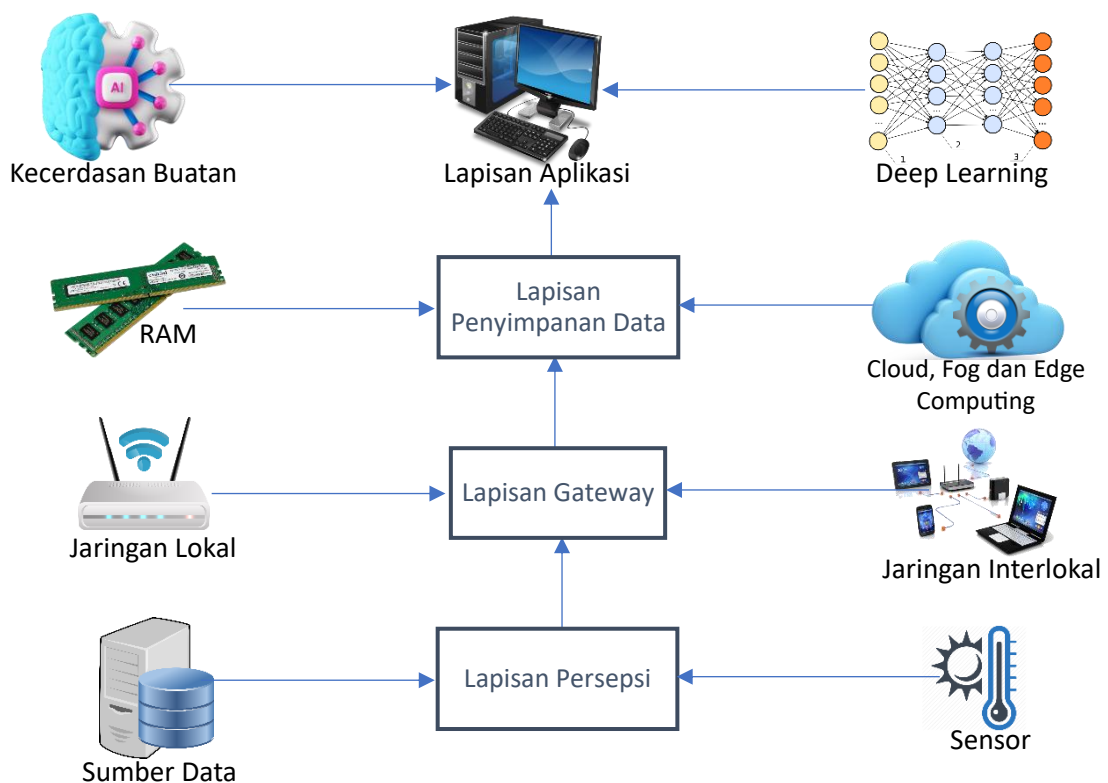
Peran COVID-19

Pandemi COVID-19 telah mendorong perkembangan dan adopsi sistem layanan kesehatan yang dapat menjaga jarak sosial antara pasien karantina dan tenaga kesehatan. Hal ini mengurangi jumlah orang yang mengunjungi dan melakukan kontak fisik dengan pasien terinfeksi virus yang dirawat di rumah sakit dan pasien yang diisolasi jarak jauh. Perangkat dan sistem yang mendukung IoMT memungkinkan tenaga kesehatan profesional untuk memantau kondisi pasien secara terus-menerus tanpa harus merawat mereka secara fisik di rumah sakit. Hal ini mengurangi tekanan mental pada staf layanan kesehatan yang kewalahan dan menghilangkan kepadatan di rumah sakit dengan memprioritaskan layanan berbasis IoMT untuk pasien nonkritis dan memberikan saran serta perawatan dari jarak jauh. Hal ini juga meningkatkan manajemen penyakit kronis dan pemantauan pemulihan COVID-19 dengan beralih ke platform telehealth. Keputusan layanan kesehatan dibuat berdasarkan pengumpulan data pasien melalui perangkat digital kecil yang dapat dikenakan dan dioperasikan sendiri, termasuk jam tangan pintar, monitor elektrokardiogram (EKG), pemindaian elektroensefalogram (EEG), dan pengukuran suhu tubuh dan pernapasan.

Dengan meluasnya penyebaran COVID-19 di dunia, Badan Pengawas Obat dan Makanan Amerika Serikat (FDA) memberikan persetujuan dan otorisasi instan jalur cepat untuk mengembangkan dan menggunakan berbagai perangkat dan obat-obatan layanan kesehatan untuk menangani komplikasi pandemi COVID-19. Ini termasuk alat untuk mengukur laju pernapasan, biosensor, dan plester sekali pakai oleh Philips. Perangkat ini terbukti sangat efektif dalam mendeteksi COVID-19. Sebuah perangkat bernama "DETECT," biosensor pintar yang dapat dikenakan oleh Scripps, digunakan untuk mengumpulkan data pasien untuk pengujian dan pelacakan arsitektur perangkat. Alat fraksi ejeksi (EF) digunakan untuk penilaian komplikasi jantung rendah menggunakan elektrokardiogram. Demikian pula, mesin ultrasonografi portabel dan genggam Lumify digunakan untuk memindai pasien dengan algoritma AI-CT untuk deteksi COVID-19, yang dirancang (Aidoc) dan dikembangkan selama periode COVID-19. Dengan cara yang sama, dua faktor pendorong utama memicu pertumbuhan yang belum pernah terjadi sebelumnya dalam desain perangkat biosensing yang dapat dikenakan baru untuk aplikasi perawatan kesehatan jarak jauh: (a) gaya hidup orang yang terlalu stres dan tidak banyak bergerak yang menyebabkan masalah kesehatan seperti gangguan hati, ginjal, dan paru-paru karena jadwal kerja yang terlalu padat, dan (b) kemajuan teknologi yang cepat dan perkembangan dalam perangkat perawatan kesehatan pintar untuk pemantauan pasien yang bertujuan untuk menyediakan layanan perawatan kesehatan yang cepat dan tertahankan bagi orang lanjut usia yang sakit di lokasi rumah mereka. Berbagai teknik IoMT, paten, dan solusi perawatan kesehatan dapat menguntungkan penyedia layanan medis jarak jauh.

2.2 CARA KERJA SISTEM IoMT

Peningkatan kemampuan dan kecepatan saluran telekomunikasi serta infrastruktur jaringan berbagi data yang ada memiliki potensi besar untuk mengirimkan data multimoda dalam berbagai format. Data ini dapat diintegrasikan dan digunakan oleh sistem layanan kesehatan medis untuk menyediakan layanan kesehatan jarak jauh, serupa dengan layanan pengguna akhir berbasis web lainnya. Mayoritas sistem pemantauan pasien jarak jauh berbasis IoMT bekerja pada berbagai lapisan, seperti lapisan persepsi, lapisan gerbang, lapisan penyimpanan data, dan lapisan aplikasi. Berbagai jenis perangkat sensor kecil yang dapat dikenakan (wearable), aktuator, teknologi perangkat lunak tertanam, dan sistem terintegrasi dan terhubung melalui saluran nirkabel serta koneksi kabel listrik dan elektronik. Struktur sistem IoMT yang umum ditunjukkan pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Lapisan IoMT Untuk Pemantauan Layanan Kesehatan Jarak Jauh

Lapisan Persepsi

Lapisan persepsi bekerja pada level terendah IoMT, yang terdiri dari sumber data dan komponen penginderaan yang terdiri dari perangkat sensor pintar, perangkat pemantauan perilaku tubuh fisik, aplikasi perangkat lunak yang tertanam dalam sensor inframerah, sensor medis, kamera RFID, dan sistem pemosisian global (GPS). Komponen-komponen ini merasakan dan mempersepsi perubahan karakteristik fisik di lingkungan lokal dan mendeteksi sinyal, lokasi, demografi, magnitudo, dan lainnya. Sinyal yang terdeteksi ditransmisikan menggunakan

media transmisi data berkinerja tinggi. Data ini dapat disimpan dan disimpan untuk penggunaan di masa mendatang.

Lapisan Gateway

Perangkat sensor diperlukan untuk terhubung ke jaringan komunikasi dan menyimpan informasi untuk digunakan nanti. Data pasien yang dikumpulkan oleh perangkat sensor harus dikirim menggunakan berbagai rentang frekuensi, seperti gelombang radio jarak pendek, seperti RFID, jaringan nirkabel, Bluetooth, Zigbee, Wi-Fi berdaya rendah, dan komunikasi seluler lainnya, atau media transmisi data jarak jauh, seperti komputasi awan dan infrastruktur blockchain. Jaringan ini mencakup koneksi jaringan PAN terkecil, jaringan area lokal (LAN), Ethernet, dan Wi-Fi. Jaringan area luas (WAN) dengan Sistem Global untuk Komunikasi Seluler (GSM) tidak memerlukan konektivitas fisik, tetapi menggunakan server back-end dan lebih banyak jaringan sensor nirkabel yang membantu transmisi berdaya rendah dan kecepatan data rendah. Transmisi kecepatan data tinggi dengan jaringan seluler 4G dan 5G frekuensi tinggi lebih mumpuni dan andal dalam menghubungkan dan mentransmisikan data berkecepatan tinggi secara bersamaan dengan menghubungkan beberapa perangkat. Berbagai gateway digunakan untuk komunikasi data masif dalam aplikasi IoMT untuk layanan kesehatan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Jenis Gateway Jaringan Nirkabel, Aplikasi, Dan Karakteristiknya.

Jenis gerbang	Aplikasi	Karakteristik
RFID	Digunakan dalam komunikasi data jarak pendek (10–200 m) menggunakan gelombang radio.	Dibuat pada antena mikrochip yang mengirim dan menerima sinyal sebagai kode produk elektronik. RFID tidak memerlukan sumber energi eksternal. Transmisi data tidak aman dan mungkin tidak kompatibel dengan semua jenis perangkat komunikasi seluler pintar.
Zigbee	Kecepatan transmisi dan transfer datanya mirip dengan Bluetooth (2,4 GHz), tetapi jangkauan transfer datanya jauh lebih tinggi daripada perangkat Bluetooth yang dipasangkan. Memungkinkan analisis dan agregasi data. Bahkan berfungsi ketika beberapa node jaringan sedang tidak berfungsi.	Perangkat nirkabel hemat daya berbasis topologi jaringan mesh untuk interkoneksi komunikasi data tanpa gangguan. Hemat energi, tahan lama, kecepatan transmisi tinggi, dan kapasitas transfer data yang lebih tinggi melalui jaringan.
Bluetooth	Digunakan dalam komunikasi nirkabel jarak pendek hingga 100 m antara semua perangkat yang berkomunikasi dalam jaringan dengan gelombang radio frekuensi transfer yang lebih tinggi (sekitar 2,4 GHz).	Transmisi berbasis autentikasi yang aman, serta teknologi hemat energi dan biaya. Tidak cocok untuk komunikasi data nirkabel jarak jauh.

Komunikasi medan dekat (NFC)	Digunakan dalam komunikasi jarak sangat pendek yang beroperasi dalam mode aktif dan pasif dengan transmisi sinyal elektromagnetik antara dua antena loop yang ditempatkan di antara dua perkiraan titik akhir.	Mengirim dan menerima data tanpa perlu memasang. Dalam mode aktif, sinyal RF yang dihasilkan secara bersamaan ditransmisikan dari perangkat pertama dan perangkat kedua menjadi penerima, begitu pula sebaliknya.
Fidelitas nirkabel (Wi-Fi)	Standar jaringan IEEE 802.11, protokol transfer jaringan Wi-Fi yang beroperasi pada kecepatan transmisi lebih tinggi dengan keamanan dan kontrol.	Kapasitas pembangunan jaringan yang efisien dan komunikasi perangkat pintar nirkabel seluler yang lebih baik. Keterbatasannya adalah penggunaan daya yang tinggi dan transmisi yang tidak konsisten.
Satelit	Berguna di wilayah geografis terpencil, dan memungkinkan penguatan sinyal serta transfer data berkecepatan tinggi.	Kompatibel dengan berbagai perangkat untuk transfer data berkecepatan tinggi dan aman. Keterbatasannya adalah konsumsi energi yang tinggi.

Lapisan Penyimpanan Data

Sinyal biologis masif pasien ditransmisikan ke fasilitas pelayanan kesehatan dasar, tempat data yang dikumpulkan disimpan dan diproses untuk mengekstrak informasi yang relevan. Data pribadi dan kesehatan pasien dapat disimpan secara lokal menggunakan server fog dan edge atau terpusat di server cloud. Penyimpanan terpusat berbasis cloud lebih sesuai dan fleksibel untuk berbagi, mengamankan, dan meningkatkan skalabilitas. Penyimpanan terpusat ini juga mendukung kemudahan implementasi teknik akuisisi data untuk analisis data yang efisien dan andal. Untuk tujuan tersebut, rekam medis elektronik dapat diakses dari sumber daring, portal web, perangkat IoMT, dan aplikasi telepon pintar yang ditransmisikan melalui aplikasi cloud untuk mendukung pengambilan keputusan dalam perencanaan terapi. Untuk tujuan ini, lapisan aplikasi pendukung diterapkan untuk memproses analitik. Lapisan aplikasi menyediakan manajemen pengguna, kontrol keamanan, kontrol perangkat, dan manajemen. Manajemen memori dan analitik data membantu cache repositori data besar melalui akses acak untuk mempercepat hasil aplikasi dengan mengurangi waktu respons untuk data yang diminta demi pengambilan keputusan yang cepat. Server web dan gateway antarmuka jaringan seperti Apache-2 dan Flask yang mendukung Python menyediakan skalabilitas aplikasi dan fleksibilitas desain. Basis data NoSQL, seperti sistem berkas MongoDB dan JSON, memberikan fleksibilitas dalam berbagai jenis data yang disimpan. Keamanan data diimplementasikan dalam lingkungan tersebut menggunakan protokol komunikasi yang aman dan antarmuka pemrograman aplikasi (APP) lapisan soket aman. Terdapat beberapa isu yang perlu ditangani secara efektif terkait pengumpulan data yang berlebihan, peningkatan kebutuhan ruang penyimpanan yang besar, keamanan data yang efektif, dan keandalan sistem. Untuk kebijakan berbagi data yang transparan di antara perangkat yang terhubung, baik kabel maupun nirkabel, latensi data layanan kesehatan harus diminimalkan, karena jarak fisik antara

pusat data pengirim dan penerima dapat meningkat seiring dengan adopsi sistem layanan kesehatan berbasis cloud terpusat di masa mendatang.

Untuk menangani situasi tersebut, pendekatan terdesentralisasi seperti komputasi tepi (edge computing) dan teknik terdistribusi berbasis cloud sedang diimplementasikan dan diteliti untuk menangani data layanan kesehatan yang diperoleh dari jarak jauh. Metode-metode ini memungkinkan pemrosesan data medis menggunakan perangkat sensor IoMT di tingkat tepi (edge). Perangkat tepi meningkatkan skalabilitas jaringan perangkat IoMT dan mengurangi beban lalu lintas jaringan di server pusat. Lebih lanjut, metode desentralisasi "blockchain" dapat digunakan untuk membuat kumpulan informasi pasien individual, yang disebut "blok" dari tautan spesifik, dan membentuk jaringan yang diatur oleh pasien. Kedua pendekatan "edge/cloud" dan "blockchain" ini perlahan-lahan semakin populer di bidang layanan kesehatan. Keduanya kini juga menjadi area penelitian yang aktif dan pendekatan yang muncul untuk mengatasi permasalahan yang muncul dalam layanan kesehatan medis tradisional yang ada.

Lapisan Aplikasi

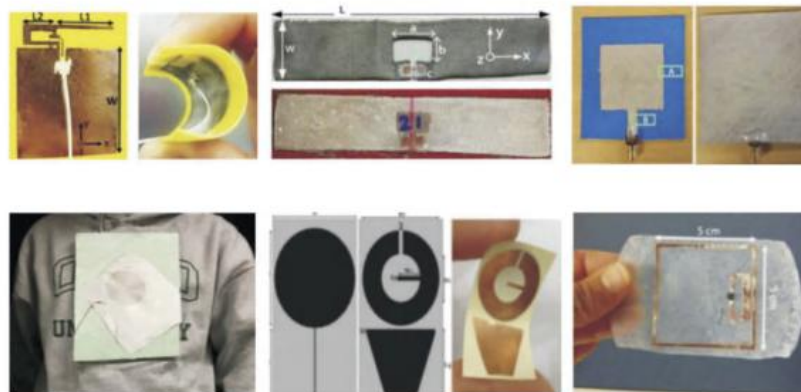
Fungsi penting lapisan aplikasi dalam IoMT adalah interpretasi informasi yang diekstraksi dari data pasien menggunakan teknik analitik dengan memberikan layanan kesehatan spesifik. Tergantung pada desain dan pendekatannya, lapisan ini dapat berupa teknik pembelajaran mendalam berbasis AI yang memahami rekam medis digital pasien untuk memantau kondisi pasien, perkembangan penyakit, dan efek dari rangkaian perawatan yang diberikan. Model layanan kesehatan yang terlatih dapat memprediksi layanan segera serta perhatian preventif dan protektif yang dibutuhkan oleh pasien. Perubahan pola data yang diperoleh dapat dipantau setiap hari, setiap jam, atau setiap minggu untuk analisis, pengambilan keputusan, atau penyusunan rencana perawatan. Selain analisis citra medis, berbagai pemeriksaan medis dan aplikasi ilmiah seperti penemuan obat, desain obat, penilaian risiko mutasi gen, hasil medis, manajemen proses, prediksi kelangsungan hidup pada penyakit fatal, kesehatan otak, perawatan kesehatan mental, gagal jantung kongestif, penyakit tulang, deteksi anomali jantung seperti aritmia, penyakit Alzheimer, dan deteksi serta klasifikasi tumor otak jinak dan ganas sangat penting untuk menangani data perawatan kesehatan menggunakan jaringan perangkat IoMT.

2.3 KARAKTERISTIK BIOSENSOR YANG DAPAT DIKENAKAN

Secara tradisional, biosensor kaku telah digunakan untuk memantau sinyal fisiologis dalam praktik klinis. Sensor ini hanya cocok untuk permukaan kulit planar, dan tidak dapat beradaptasi dengan permukaan lengkung organ tubuh manusia karena strukturnya yang kaku dan fleksibilitasnya yang rendah. Hal ini mengakibatkan kesalahan pengukuran yang besar dalam penginderaan biosignal dan menimbulkan ketidaknyamanan bagi pasien. Akibatnya, perangkat kompak fleksibel yang dapat dikenakan mendorong inovasi pesat dan pengembangan perangkat biosensing baru yang dapat dikenakan dan adaptif. Perangkat baru ini dapat ditekuk, dilipat, dan diadaptasi secara sewenang-wenang untuk pengukuran biosignal dari permukaan fisiologis yang kompleks. Sensor adalah transduser yang mengubah biosignal

menjadi bentuk yang dapat ditransformasikan secara elektromagnetik untuk diproses lebih lanjut dalam unit pemrosesan digital guna merepresentasikan informasi fisiologis, kimia, dan biologis manusia.

Aspek terpenting dari perangkat biosensor adalah kemampuan beradaptasinya, cadangan energi, dan konektivitas nirkabel. Untuk menciptakan lingkungan kondusif bebas hambatan sekaligus menghilangkan semua pembatasan mobilitas, biosensor harus diproduksi dengan standar ukuran, kapabilitas, dan daya tahan jangka panjang yang dapat diterima. Biosensor dan antena sensor merupakan tulang punggung dan komponen efisien yang andal dari sistem komunikasi tertambat. Untuk aplikasi IoMT, menanamkan sensor dan antena ke dalam pakaian yang dapat dikenakan menciptakan antarmuka cerdas antara pengguna dan perangkat dalam dunia yang saling terhubung dan mendukung web. Desain fisik biosensor harus tipis, ringan, berbiaya rendah, kedap air, dan tahan terhadap siklus pencucian untuk keperluan manufaktur dan komersialisasi. Gambar 2.3 (a)–(f) menunjukkan berbagai jenis biosensor yang dapat dikenakan untuk mengumpulkan data pasien dan mengirimkannya ke fasilitas medis jarak jauh atau lokal untuk analisis diagnostik klinis. Judul Gambar 2.3 menyebutkan deskripsi berbagai jenis sensor dalam teks berikut.



Gambar 2.3 (A) Antena Pemancar F Terbalik Fleksibel Berbasis Kain Cetak. (B) Tag Rf Pasif Uhf Berbasis Tekstil Berlapis Perak. (C) Sensor Cat Kuas Pada Substrat 3d. (D) Sensor Spiral Benang Berlapis Perak Untuk Pengukuran Pada Tubuh Pasien. (E) Antena 2d Fleksibel Dengan Sensor Melengkung. (F) Prototipe Sensor Epidermis Berbasis Plester Hidrogel Pintar.

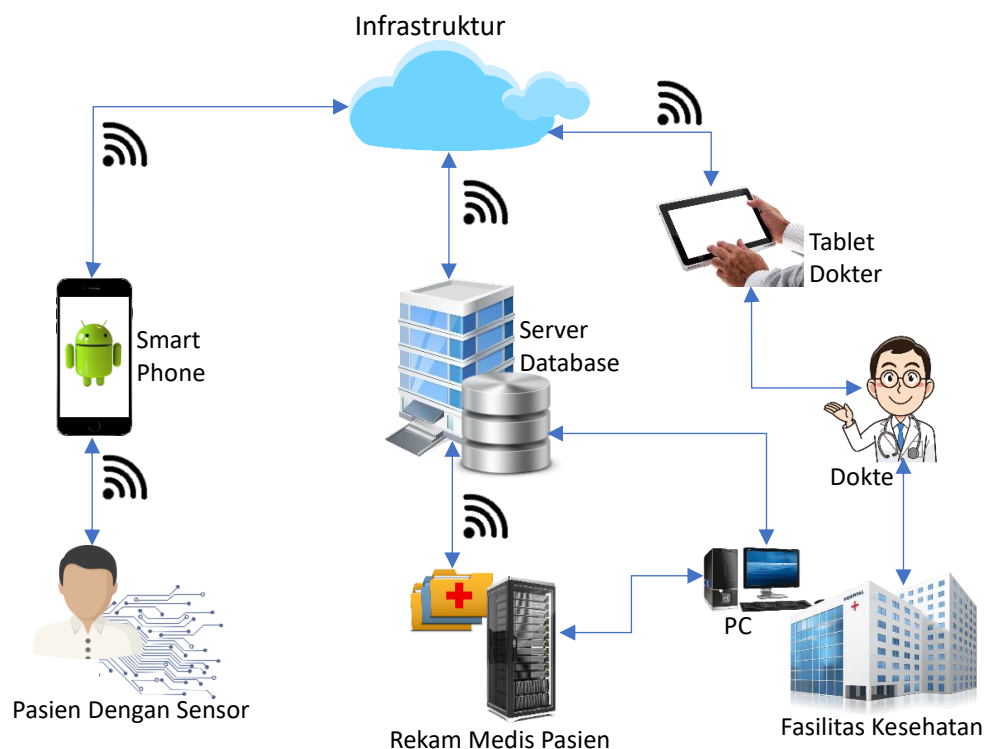
Sensor yang dapat dikenakan yang tersedia diproduksi dengan permukaan datar dan bentuk planar. Sensor sirkuit terpadu (IC) mikrostrip ini dikembangkan untuk meradiasikan secara tegak lurus pada permukaan planar organ tubuh manusia. Efisiensi bandwidth transmisi data perangkat ini berbanding lurus dengan ketebalan material yang umumnya disukai hingga 6–7 mm. Hasil kinerja perangkat yang ada menunjukkan bahwa kain tekstil lebih cocok untuk menyerap kelembapan tubuh, yang secara signifikan memengaruhi kinerja dengan mengurangi frekuensi bandwidth transmisi data sensor patch. Sensor patch yang diproduksi dengan teknologi cetak inkjet rentan terhadap kerusakan, fluktuasi transmisi frekuensi, dan kehilangan sinyal akibat kompresi dan efek derau pada permukaan konduktif sensor.

Perancangan dan fabrikasi sensor epidermis menantang karena rentan terhadap kerusakan oleh jaringan tubuh manusia. Bentuk dan ketebalan material yang digunakan untuk membangun sensor juga memengaruhi perolehan, kehilangan sinyal, dan ukuran perangkat sensor. Resistivitas material juga krusial ketika sensor dihubungkan ke antena yang ditransmisikan dan chip identifikasi RF di dalam tag perangkat. Namun, pengembangan besar sedang dilakukan untuk meningkatkan kinerja sensor yang dapat dikenakan. Di sisi lain, penelitian lebih lanjut sedang dilakukan untuk karakterisasi dan peningkatan kinerja perangkat ini yang mungkin menawarkan lebih banyak peningkatan dalam desain dan optimalisasi perilaku operasional untuk penerimaan luas teknologi ini dalam waktu dekat.

Ketersediaan biosensor berbasis energi rendah yang dapat dikenakan yang merasakan tekanan, regangan, elektrokimia, optoelektronik, dan pengukuran suhu tubuh memberikan pendekatan baru untuk pemantauan perawatan kesehatan jarak jauh dan waktu nyata. Perangkat penginderaan kompak ini didasarkan pada bahan komposit dua dimensi dan terus mengukur dan mengirimkan biosignal dengan fleksibilitas, stabilitas, sensitivitas tinggi, dan akurasi untuk analisis medis dan klinis. Perangkat penginderaan biosignal fundamental diproduksi menggunakan sensor kecil yang terbuat dari nanomaterial. Kemajuan dalam nanosains dan nanoteknologi telah memungkinkan sintesis dan penggunaan banyak jenis bahan untuk memproduksi sensor yang dapat dikenakan. Perangkat penginderaan yang dapat dikenakan secara signifikan membantu para profesional perawatan kesehatan mengamati kondisi fisiologis pasien melalui saluran komunikasi digital untuk melacak, memantau, dan mengobati. Biosensor yang dapat dikenakan menjadi semakin penting dalam perawatan kesehatan jarak jauh untuk mendiagnosis, meningkatkan perawatan pasien, dan memantau status kesehatan. Kelas baru sensor bioelektronik, disebut bioelektronik, lebih fleksibel dan dapat beradaptasi dengan berbagai jenis struktur organ tubuh bahkan di bawah deformasi berulang yang besar. Bioelektronika menyediakan antarmuka kulit dinamis untuk memantau sinyal fisiologis, biokimia, dan bioelektrik secara real-time dan berkelanjutan dengan cara yang lembut dan efektif. Perangkat penginderaan yang dapat dikenakan (wearable sensing) mendeteksi gelombang elektromagnetik yang dihasilkan tubuh untuk mendiagnosis penyakit dan terus memantau respons tubuh yang dikumpulkan menggunakan perangkat dengan konduktivitas yang sangat baik. Biosensor mengamati parameter tubuh manusia dengan mendeteksi permukaan kulit, detak jantung, suhu tubuh, pola pernapasan, dan gerakan organ untuk mempertahankan pemantauan real-time yang berkelanjutan.

Hingga saat ini, sebagian besar perangkat penginderaan yang dapat dikenakan, seperti jam tangan pintar yang dapat dikenakan (wearable smartwatch), gelang tangan (wristband), kacamata, ikat kepala, dan sabuk jantung (heart belt), telah diproduksi untuk penggunaan komersial. Masa depan industri perawatan kesehatan diperkirakan akan banyak berubah untuk mengadaptasi perangkat berbasis sensor nirkabel baru yang sebagian besar terhubung dengan internet untuk penggunaan IoMT di seluruh dunia guna menawarkan layanan medis perawatan kesehatan berbasis web. Fasilitas-fasilitas ini dapat menyediakan dan berbagi berbagai jenis sumber daya untuk memantau rekam medis pasien. Format elektronik rekam medis pasien dapat dibagikan di antara para ahli medis untuk menganalisis riwayat medis

pasien, memantau perkembangan, mengamati efek obat, dan merancang rencana perawatan. Diagnostik point-of-care (POC) dapat digunakan untuk mendapatkan perhatian medis segera, baik untuk pengujian diagnostik di tempat tidur maupun untuk meningkatkan hasil. Bagi lansia dan penyandang disabilitas fisik, pasien dengan penyakit kronis, dan kondisi darurat, prosedur diagnostik ini dapat digunakan untuk memberikan perhatian medis segera. Dalam kasus tersebut, field-programmable gate array (FPGA), perekaman, transmisi, dan pemrosesan biosignal, serta model pembelajaran mendalam (deep learning/DL) berbasis AI dapat diterapkan dalam teknologi ultrasonografi. Metode otomatis ini dapat mengurangi ukuran perangkat pencitraan tradisional yang memakan waktu dan mahal seperti ultrasonografi menjadi pemindai ultrasonografi portabel dalam situasi darurat. Biaya perawatan medis juga dapat diminimalkan dengan memaksimalkan penggunaan telemedisin dan mengurangi kekurangan sonografer ahli. Gambar 2.4 menunjukkan diagram skema prediksi penyakit berbasis IoMT yang memanfaatkan teknologi biosensor dan sistem perekaman data elektronik untuk mendapatkan atribut kesehatan utama pasien, menyimpan, dan menganalisisnya di server web berbasis cloud, serta mendistribusikan data ini di antara para ahli medis untuk penelitian medis, intervensi, dan peningkatan layanan kesehatan.



Gambar 2.4 Arsitektur Dasar Pemantauan Kesehatan Jarak Jauh IoMT.

2.4 MEMBUAT DAN MENGANALISIS RIWAYAT PASIEN

Karakteristik fisiologis pasien menyediakan catatan riwayat medis yang lengkap dalam basis data sistem dan sangat penting untuk diagnosis penyakit dan kemungkinan penyebabnya, karena mereka mungkin menjalani beberapa konsultasi dan perawatan medis. Catatan kesehatan pasien dan berbagai laporan tes dapat diakses secara instan dan aman oleh

pengguna yang berwenang. Catatan ini memfasilitasi informasi pasien yang komprehensif dan segera pada saat pemberian layanan kesehatan. Seiring berjalannya waktu, kesehatan manusia secara bertahap menurun, dan penuaan selanjutnya memengaruhi kesehatan manusia. Dengan gaya hidup dan kondisi kehidupan yang berubah dengan cepat di berbagai tatanan masyarakat, berbagai jenis masalah kesehatan memengaruhi masyarakat seperti penyakit kronis, nyeri lutut, masalah kardiovaskular, masalah paru-paru dan ginjal, serta spondilosis serviks. Penyakit-penyakit ini telah menjadi penyakit umum yang semakin membutuhkan diagnosis dini, perawatan, dan pemantauan. Selain itu, infeksi, flu, dan penyakit seperti COVID-19 juga memberikan tekanan pada sistem layanan kesehatan tradisional yang ada. Angka harapan hidup juga meningkat di negara-negara maju dan berkembang. Populasi lansia berkembang pesat, dan mayoritas penduduknya hidup dalam isolasi. Akibat kurangnya fasilitas kesehatan dan sumber daya keuangan yang memadai di banyak negara, proliferasi penyakit kronis juga memberikan tekanan pada sistem layanan kesehatan. Sistem diagnostik dan pemantauan yang dapat dikenakan (wearable) secara bertahap menjadi multifungsi, interdisipliner, dan cukup maju. Layanan yang mendukung IoMT memperoleh data lingkungan yang ditransmisikan oleh sensor yang terpasang di rumah dan organ tubuh pasien melalui saluran komunikasi data.

Di rumah, sensor yang terpasang secara terus-menerus mengalirkan data real-time dari sensor IoMT dan dapat mendeteksi kejadian darurat seperti demam tinggi, tekanan darah rendah, denyut nadi abnormal, jatuh, dan stroke, sehingga pasien dapat diselamatkan atau dirawat dalam situasi darurat. Lansia dan pasien berisiko tinggi yang menderita disabilitas fisik dapat diizinkan untuk tinggal di rumah mereka, dan IoMT dapat membantu merawat mereka. Untuk mengurangi biaya layanan kesehatan dan risiko kesehatan, data sensor dapat digabungkan untuk memberi tahu penyandang tunanetra tentang lingkungan sekitar, di dalam dan di luar ruangan, untuk menemukan objek penting di sekitar mereka. Data yang diindra dapat digunakan untuk melacak tanda-tanda vital pasien. Misalnya, setiap batas ambang batas untuk pasien dapat mengingatkan dan memberi tahu tenaga kesehatan untuk mengambil tindakan yang tepat. Selain itu, dalam ambulans yang dilengkapi IoMT, karakteristik kesehatan vital pasien dapat dikirim ke rumah sakit pangkalan sebelum kedatangan pasien atau ambulans yang membawa pasien, untuk membuat pengaturan yang tepat guna mengurangi waktu serah terima. Hal ini dapat secara signifikan meningkatkan kualitas layanan yang dibutuhkan untuk menangani pasien kritis.

2.5 APLIKASI IoMT

Kemajuan teknologi dalam transmisi, penyimpanan, dan pemrosesan data serta maraknya pembelajaran mesin berbasis AI dan teknik analisis data pembelajaran mendalam telah memungkinkan IoMT berbasis IoT yang telah memperkenalkan layanan kesehatan ke sistem yang cerdas, efisien, dan personal. Sistem ini dikaitkan dengan perangkat pintar baru yang mampu membaca tanda-tanda vital pasien dan secara otomatis mengirimkan informasi kesehatan pasien kepada perawat untuk memantau kesehatan pasien. Banyak sekali perangkat yang diproduksi khusus untuk jenis penyakit, lingkungan kerja, dan situasi tertentu, seperti

pandemi COVID-19. Perangkat ini mandiri untuk beroperasi, mendeteksi, dan merasakan biosignal untuk mengirim dan menerima respons tubuh manusia dan respons sistem layanan kesehatan. Perangkat pintar, seperti ponsel pintar dan aplikasi, terintegrasi dengan sistem kesehatan untuk memantau layanan kesehatan pasien secara real-time di lokasi terpencil. Perangkat IoMT dapat menentukan pembacaan fisiologis seperti detak jantung pasien, batuk, suhu tubuh, pola pernapasan, dan tingkat saturasi oksigen (SpO2) menggunakan algoritma khusus. Biosensor yang dapat dikenakan dipasang pada tubuh pasien untuk mendeteksi, mengidentifikasi, dan memberi tahu sistem pemantauan dengan membuat dan menghasilkan peringatan. Beberapa aplikasi perangkat sistem layanan kesehatan pintar digambarkan pada Gambar 2.5 dalam teks berikut.

Deteksi dan Penelusuran Penyakit

Untuk mengendalikan dan mencegah penyebaran penyakit, deteksi dan penelusuran merupakan tugas terpenting. Berbagai biosensor pintar berbasis IoMT digunakan untuk menguji dan melacak individu yang terinfeksi penyakit guna mengidentifikasi mereka dan lokasi mereka. Perangkat analisis data titik perawatan mandiri berbasis IoMT membantu staf medis dalam menangani penyakit menular seperti malaria, virus influenza A (H1N1), human papillomavirus (HPV), demam berdarah, virus Ebola, dan lainnya. Virus Zika dan penyakit koronavirus (COVID-19) dapat ditangani secara lebih efisien menggunakan sistem pemantauan pasien jarak jauh.

Sensor Biosignal

Perangkat elektronik yang ringkas dan fleksibel, dapat dikenakan, dengan sensor bawaan, digunakan untuk mendeteksi karakteristik biologis tubuh manusia guna menyaring data pasien secara real-time. Kerangka kerja IoMT pada perangkat pintar ini dapat menentukan fungsi organ tubuh manusia. Sensor biologis tertanam dalam lapisan polimer permukaan datar atau material sintesis yang dapat dikenakan untuk mengukur energi yang dihasilkan oleh organ tubuh manusia. Perangkat ini dapat mengirimkan notifikasi untuk mengingatkan pasien dan tenaga kesehatan agar segera mengambil tindakan. Biosensor dalam jaringan IoMT juga mengumpulkan dan mengirimkan data pasien ke kerangka kerja berbasis web terdistribusi untuk teknik analisis data ML/DL guna memperkirakan hasil diagnostik yang andal dan akurat. Untuk analisis dan koreksi postur pasien, jaringan IoMT dapat dirancang dengan menggabungkan beberapa perangkat sensor pintar seperti kalung pintar, komputer notebook, ponsel pintar, dan pemindai organ portabel. Komputer notebook dengan kamera video memungkinkan identifikasi kondisi pasien secara real-time dan titik referensi sendi struktur tulang, yang membantu praktisi medis mengkalibrasi kalung pintar yang berisi unit pemrosesan gerakan (MPU-6050) untuk memantau dan mengontrol postur yang benar. Kursi pintar digunakan untuk memeriksa kebiasaan duduk dan memperbaiki postur duduk dengan mengirimkan peringatan pada perangkat telepon seluler pintar pengguna. Perangkat pintar mengirimkan notifikasi ke telepon pintar pengguna melalui aplikasi seluler khusus, yang meminta mereka untuk menyesuaikan postur mereka. Kalung tersebut menggabungkan sensor, termasuk sensor piezoelektrik, yang dapat merasakan dan menangkap asupan cairan dan makanan dengan memantau pasien. Jenis perangkat ini dirancang menggunakan papan

Arduino kompak yang menampung mikrokontroler yang kompatibel, transceiver Bluetooth, dan baterai lithium-polimer sebagai sumber daya. Semua perangkat ini bekerja secara sinkron dengan aplikasi seluler untuk menganalisis gerakan tenggorokan dan memandu pengguna sebagaimana mestinya. Demikian pula, Zhang dan rekan-rekan, mengembangkan kalung multisensor berdaya rendah yang disebut "NeckSense", yang dirancang untuk memantau kebiasaan makan pasien, seperti kualitas, kuantitas, dan frekuensi asupan makanan sepanjang hari, membantu konselor makanan memberikan intervensi yang disesuaikan dan waktu nyata. Selama pandemi COVID-19, penekanan pada cuci tangan yang teratur dan menyeluruh untuk mencegah penyebaran mikroorganisme telah mendorong penggunaan sensor pada dispenser cuci tangan dan perangkat mandiri untuk melacak akurasi dan frekuensi praktik cuci tangan.



Gambar 2.5 Aplikasi IoMT Dalam Pemantauan Kesehatan Jarak Jauh Cerdas.

Perangkat Biosensing

Penggunaan perangkat kesehatan berkemampuan IoMT meningkat drastis selama dan setelah lonjakan dan puncak pandemi COVID-19. Pengembangan dan pembuatan perangkat tersebut menekankan alat pemantauan jarak jauh, seperti inhaler pintar, monitor tingkat saturasi oksigen, monitor glukosa, perangkat yang dapat dikenakan (misalnya, jam tangan pintar, pelacak tidur, dan detektor kesepian), dan implan. Inhaler pintar berkemampuan

Bluetooth, seperti yang ditunjukkan oleh Merchant dan rekan-rekan, menggunakan analitik prediktif untuk meningkatkan manajemen gejala asma dan mengurangi penggunaan inhaler. Fu dan Liu mengembangkan oksimeter jaringan noninvasif untuk mengukur kadar oksigen darah dan parameter denyut nadi, dan sistem alarm yang terintegrasi dengan oksimeter denyut nadi memperingatkan pasien ketika kadar oksigen turun secara kritis. Pasar perangkat kesehatan pintar yang dapat dikenakan (SWH), termasuk akselerometer, monitor glukosa, dan monitor tekanan darah, diproyeksikan tumbuh dari Rp.270 triliun pada tahun 2019 menjadi Rp.640 triliun pada tahun 2024. Alat seperti aplikasi seluler bertenaga AI meningkatkan alur kerja perawatan kesehatan, sementara perangkat yang didukung IoMT memungkinkan rencana asuransi yang dipersonalisasi dengan memprediksi kebutuhan perawatan dan klaim.

Selama COVID-19, perangkat yang dapat dikenakan mendukung pelacakan kesehatan, pelacakan kontak, dan perawatan kesehatan mental dengan sistem seperti WHOOP yang mengidentifikasi infeksi COVID-19 beberapa hari sebelum gejala muncul. Inovasi juga mencakup biosensor sekali pakai untuk deteksi dini penurunan kondisi pasien dan sistem berbasis IoMT seperti UbD untuk pemantauan diabetes yang berpusat di rumah. Ada alat manajemen glukosa pintar seperti Pankreas Buatan (AP) dan platform data terintegrasi seperti Diasend untuk merampingkan kontrol glikemik. Teknologi pintar telah diperluas ke deteksi kesepian, pelacakan tidur, dan deteksi jatuh, dengan perangkat seperti iFall dan sistem kamera-akselerometer untuk membantu intervensi tepat waktu. Implan pintar, termasuk implan gigi dan jantung, mengumpulkan data waktu nyata untuk perawatan pencegahan, sedangkan sikat gigi pintar yang dilengkapi dengan sensor dan algoritma AI memungkinkan pemantauan kesehatan mulut waktu nyata dan deteksi penyakit dini. Kemajuan ini menyoroti peran penting IoMT dan perangkat pintar dalam meningkatkan efektivitas perawatan kesehatan, mengatasi tantangan seperti pandemi, dan untuk menyediakan bantuan medis yang dipersonalisasi di rumah pasien.

Pusat Kesehatan Cerdas

Rumah sakit cerdas memanfaatkan lingkungan interkoneksi berbasis IoMT untuk menyederhanakan proses otomatis dan mendorong komunikasi yang lancar, sehingga staf layanan kesehatan dapat segera menangani masalah kesehatan bagi mereka yang berada di lokasi jauh dengan memperluas layanan medis kepada mereka. Fokus utama sistem semacam ini terutama pada empat area utama: respons cepat dari organ pasien, identifikasi dan analisis sinyal pasien, layanan dan antarmuka pengguna, proses perawatan pasien dan transposisi, logistik, layanan dukungan medis, serta desain organisasi dan kapasitas. Rumah sakit cerdas menawarkan layanan jarak jauh yang efektif, seperti telemedis, perawatan pasien secara real-time, pemantauan kesehatan, dan pemrosesan data besar, serta mengurangi kebutuhan kunjungan fisik ke rumah sakit. Robot dapat membantu tugas-tugas seperti mengantarkan obat-obatan, mengangkut laporan, memberikan bantuan navigasi, mendeteksi anomali, dan mengumpulkan data pasien, sehingga meminimalkan kontak dekat.

Lebih lanjut, agen AI juga dapat digunakan untuk meningkatkan keandalan analitik otomatis dan manajemen sumber daya guna memberikan layanan kesehatan berkualitas dengan biaya yang lebih rendah. Selain itu, teknologi imersif seperti realitas virtual untuk

rehabilitasi, hiburan pasien, pencetakan 3D untuk implan bedah, dan RFID untuk berbagi sumber daya serta pelacakan pasien dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan manajemen penyakit dan layanan kesehatan yang efisien.

Ruang Operasi Cerdas

Ruang operasi bedah yang dilengkapi dengan perangkat sensor pintar memungkinkan dokter bedah untuk berpartisipasi dalam operasi bedah dari jarak jauh melalui layanan internet. Jenis Smart Cyber Operating Theatre (SCOT) yang dikembangkan oleh Okamoto dan rekan-rekan ini memanfaatkan teknologi Open Resource Interface for the Network (ORiN) untuk menghubungkan perangkat medis secara mulus. Sistem SCOT lainnya menggabungkan antarmuka jaringan generasi terbaru seperti OPeLiNK, yang memungkinkan modalitas pencitraan intraoperatif seperti pencitraan resonansi magnetik (MRI). Teknologi canggih ini memfasilitasi terciptanya lingkungan operasi yang kondusif yang melibatkan sistem robotik canggih yang mampu mereplikasi gerakan tangan dokter bedah dengan presisi yang ditingkatkan berkat umpan balik haptik, peningkatan sensasi, diagnosis waktu nyata, pengenalan jaringan, pengurangan tremor, dan pencitraan 3D definisi tinggi.

Telesurgery jarak jauh merupakan inovasi baru yang memungkinkan prosedur bedah dilakukan dalam jarak jauh menggunakan lengan robot yang mereplikasi gerakan operasi dokter bedah pada organ fisik pasien. Lingkungan operasi hibrida yang dimodifikasi ini memungkinkan dokter bedah untuk menggabungkan berbagai jenis prosedur operasi minimal invasif yang dipandu gambar dalam satu pengaturan. Teknologi RFID, seperti yang ditunjukkan oleh Ushimaru dan rekan-rekan, meningkatkan visualisasi dan memastikan penggunaan perangkat bedah yang aman dan efisien. Selain itu, sistem realitas tertambah (AR) memproyeksikan data volumetrik ke organ pasien selama operasi, memungkinkan visualisasi patologi internal yang non-invasif. Dokter bedah juga dapat memanfaatkan pencitraan 3D definisi tinggi dan waktu nyata untuk pengangkatan tumor yang efisien dan meningkatkan presisi prosedural.

Obat Pintar

Obat pintar yang tertanam dalam sensor IoMT memberikan wawasan personal tentang efikasi pengobatan dengan memantau biomarker, kadar antibiotik, kepatuhan, dan dosis. Sensor yang dapat ditelan, terbuat dari material dalam jumlah sangat kecil seperti tembaga, magnesium, dan silikon, berkomunikasi dengan plester yang dapat dikenakan melalui aplikasi seluler atau portal web. Sistem ini mampu menganalisis praktik pengobatan pasien sesuai dengan jadwal yang ditentukan, penyerapan obat, dan aktivitas fisik. Selain itu, denyut nadi, pola detak jantung, postur duduk, deteksi jatuh, dan sinyal aktivitas fisik dikumpulkan untuk disimpan di cloud untuk analisis klinis dan dibagikan kepada pengasuh atau anggota keluarga. Obat pintar juga dapat mendorong pengguna untuk memberikan dosis secara berkala dan memastikan kepatuhan pengobatan. Plowman dan rekan-rekan mengembangkan utilitas dan mendemonstrasikan pengobatan pintar untuk manajemen stres, kecemasan, dan hipertensi tak terkontrol yang membantu dalam mendiagnosis penyakit asimtomatik. Demikian pula, Naik dan rekan-rekan mengembangkan sensor yang dapat ditelan untuk memantau hipertensi persisten, yang menyoroti potensinya untuk merevolusi perawatan kesehatan personal.

2.6 ROBOTIKA TERINTEGRASI

Sistem robotika berbantuan IoMT membentuk lingkungan cerdas dan saling terhubung yang mengintegrasikan sistem manusia, robotika, dan IoMT. Sistem ini sering kali menggunakan robotika berbasis cloud untuk mengakses, memproses, dan memanfaatkan data dalam jumlah besar untuk menjalankan tugas melalui kemampuan penginderaan, komputasi, dan penyimpanan yang canggih. Tujuan utamanya adalah mencapai otomatisasi layaknya manusia dan meminimalkan kebutuhan intervensi manusia. Algoritma pembelajaran mesin melatih robot-robot ini untuk bertindak berdasarkan data kesehatan pasien yang diterima dari jaringan layanan kesehatan atau melalui komputasi cerdas dalam konteks medis.

Praktisi medis, ahli bedah, dan tenaga kesehatan profesional, termasuk dokter gigi, kini memiliki akses ke berbagai perangkat lunak manajemen otomatis yang terhubung ke aplikasi seluler dan jam tangan pintar, yang meningkatkan produktivitas dan menyederhanakan alur kerja. Aplikasi seluler bertenaga AI memungkinkan pasien mengirimkan pesan suara dan masukan umpan balik yang memungkinkan tenaga kesehatan profesional dan praktisi klinis mengambil informasi penting pasien yang relevan menggunakan perintah suara. Di sektor asuransi, integrasi IoMT dan AI memungkinkan prediksi kebutuhan perawatan yang tepat, membantu menciptakan rencana asuransi kesehatan yang dipersonalisasi, dan berpotensi menurunkan premi dengan memprediksi klaim kesehatan di masa mendatang.

Meningkatnya permintaan akan sensor biosignal pintar yang dapat dikenakan, seperti jam tangan pintar dan gelang tangan, muncul selama pandemi COVID-19. Sensor ini mendukung pelacakan dan penelusuran kontak, mendorong dan menjaga jarak sosial dalam jumlah besar, serta memberikan dukungan kesehatan mental dengan memantau kondisi pasien secara real-time dan analisis data. Misalnya, sistem WHOOP mengidentifikasi penyebaran COVID-19 di daerah padat penduduk dengan tingkat positif 20%. Selain itu, patch sensor sekali pakai dan gelang sensor yang dapat dikenakan menyediakan deteksi dini penurunan kondisi pasien COVID-19 dengan memantau gejala kesehatan pasien seperti laju pernapasan, detak jantung, denyut nadi, tingkat aktivitas, serta postur tidur dan duduk. Pemantauan dan pengendalian kadar gula dan glukosa dalam sampel darah pasien merupakan aplikasi IoMT penting lainnya yang menggunakan teknologi biosensing dan pemrosesan sinyal canggih. Algoritma jaringan saraf rekuren (RNN) berbasis AI cepat dan akurat, memungkinkan sistem IoMT untuk memantau dan mengendalikan diabetes berbasis urin pada pasien jarak jauh. Perangkat seperti asisten diabetes. Aplikasi lain seperti Diasend mengintegrasikan data dari berbagai glukometer dan pompa insulin.

Untuk manajemen diabetes tipe 1, pena insulin pintar, termasuk InPen dan NovoPen, menawarkan kontrol yang presisi. Pengembangan sistem AP yang menggunakan sensor pemantauan glukosa kontinu (CGM) waktu nyata merupakan langkah besar menuju modulasi infus insulin minimal invasif. Sensitivitas pasca COVID-19 menyebabkan peningkatan kesadaran masyarakat terhadap masalah kesepian dan kesejahteraan sosial yang dihadapi oleh lansia. Aplikasi komunikasi telepon pintar dipelajari untuk mengumpulkan data pasien guna memprediksi kesepian dan kesejahteraan sosial, sementara perangkat yang dapat dikenakan,

seperti Fitbit dan telepon pintar, menyediakan penginderaan pasif untuk deteksi dan intervensi kesepian. Studi juga menemukan bahwa jam tangan pintar dan Fitbit lebih cocok untuk melacak pola tidur, denyut nadi, dan tingkat aktivitas, sedangkan untuk deteksi jatuh pada lansia yang sendirian, perangkat seperti iFall mengirimkan peringatan kepada kontak darurat jika diduga jatuh.

Perangkat implan pintar seperti implan koklea, jantung, dan gigi telah dikembangkan untuk mengumpulkan data pasien. Misalnya, implan gigi pintar dapat memantau bruxism, asupan makanan, tingkat aktivitas, dan pH air liur. Data dapat ditransmisikan melalui perangkat seluler atau server, memungkinkan perawatan pasien yang cepat dan tepat. Sikat gigi pintar dengan sensor pengukur tekanan dan kamera tertanam digunakan untuk mengumpulkan data pasien tentang aktivitas menyikat gigi dan membagikannya dengan dokter gigi secara real-time. Perangkat ini dapat mendeteksi tanda-tanda awal masalah gigi, seperti gigi berlubang, dan mengirimkan peringatan kepada pasien dan dokter gigi. Beberapa sikat gigi pintar juga memantau kimia napas, menyediakan pra-diagnosis kondisi seperti diabetes. Model canggih seperti Prophix dilengkapi dengan kamera HD dan pilihan konektivitas untuk manajemen perawatan mulut yang lebih baik.

Simpulannya, teknologi IoMT telah mengubah praktik pelayanan kesehatan secara signifikan dengan memfasilitasi pemantauan jarak jauh, perawatan yang dipersonalisasi, dan pencegahan penyakit yang lebih baik. Namun, pengembangan berkelanjutan diperlukan untuk mengatasi tantangan seperti biaya, interoperabilitas, privasi, dan adopsi protokol standar. Perangkat kecil terintegrasi yang terdiri dari tablet seluler, komputer notebook, perangkat penginderaan biomedis, dan pemancar data melalui jaringan area lokal kecil yang terhubung dengan internet dan jaringan seluler telah terbukti efektif dalam memberikan layanan kesehatan yang lebih baik. Teknologi ini memungkinkan pelacakan dan pengelolaan informasi kesehatan pasien secara real-time, yang berkontribusi pada pelayanan kesehatan yang lebih efisien.

IoMT untuk Fasilitas Perawatan Lansia di Sekitarnya

Salah satu contoh jaringan IoMT yang terkenal adalah sistem gerbang jaringan "AMBRO", yang menggunakan beberapa sensor untuk mendeteksi pasien jatuh dan memantau detak jantung. Model ini bekerja pada modul GPS terintegrasi untuk mengidentifikasi dan menemukan pasien. Sistem ini meningkatkan keselamatan pasien dan menyediakan data penting bagi penyedia layanan kesehatan untuk melakukan intervensi bila diperlukan. Pada masa pandemi COVID-19, modul pemantauan berbasis aplikasi ponsel pintar dikembangkan untuk memungkinkan perekaman data oleh pasien sendiri atau petugas mereka di lokasi, sehingga mengurangi kebutuhan untuk mengunjungi rumah sakit secara langsung. Sistem ini tidak hanya meringankan beban fasilitas layanan kesehatan tetapi juga membantu memantau kondisi kesehatan selama pandemi. Aplikasi seluler juga memainkan peran penting dalam mengotomatiskan pelacakan kontak untuk penyakit menular seperti COVID-19. Aplikasi-aplikasi ini, seperti "Corona-Warn-App" (Jerman), "SwissCovid" (Swiss), dan "Arogya Setu", telah menjadi strategi utama untuk mengurangi penyebaran virus dengan melacak risiko paparan. Aplikasi pintar ini menggunakan teknologi Bluetooth dan GPS untuk memberi tahu

pengguna jika mereka berada di dekat seseorang yang dites positif dan terjangkit COVID-19, membantu mereka menjauh dari orang lain dan membatasi penyebaran virus lebih lanjut serta memungkinkan isolasi dan pengujian yang tepat waktu.

Perangkat sensor pintar yang dapat dikenakan memungkinkan AAL bagi orang yang hidup sendiri atau terisolasi. Teknologi ini semakin adaptif terhadap pendekatan hidup berbasis AI yang memungkinkan lansia untuk hidup mandiri sekaligus memastikan kenyamanan, kemudahan hidup, dan keamanan mereka di lingkungan rumah. Tujuan utama AAL adalah menyediakan pemantauan berbagai aktivitas dan tanda-tanda vital secara real-time sehingga ketika terjadi keadaan darurat medis, bantuan tepat waktu dapat diberikan, baik melalui layanan manusia maupun sistem otomatis. Komponen utama sistem AAL meliputi:

1. **Integrasi Sistem Lanjutan:** AAL memanfaatkan kombinasi AI, analisis data besar, dan pembelajaran mesin untuk mengenali aktivitas, mendeteksi perubahan lingkungan, dan memantau tanda-tanda vital, seperti tekanan darah, detak jantung, dan laju pernapasan. Hal ini memungkinkan pandangan komprehensif tentang kesehatan dan lingkungan individu.
2. **Arsitektur Modular:** Keamanan dan komunikasi dalam sistem AAL ditingkatkan menggunakan jaringan area pribadi nirkabel berdaya rendah berbasis IPv6 (6LoWPAN). Jaringan ini sangat efisien untuk komunikasi perangkat dan ideal untuk aplikasi pemantauan jarak jauh.
3. **Komunikasi Loop Tertutup:** Teknologi seperti RFID dan NFC telah diintegrasikan untuk membangun layanan komunikasi loop tertutup yang aman antara pasien dan penyedia layanan kesehatan. Sistem ini memastikan bahwa penyedia layanan kesehatan dapat menerima peringatan dan informasi terbaru mengenai kondisi pasien secara waktu nyata (real-time).
4. **Deteksi Darurat:** Sistem telah dikembangkan untuk memantau kondisi fisik pasien dengan mendeteksi keadaan darurat medis pada lansia. Detektor darurat ini dapat segera memberi tahu perawat jika terjadi situasi mendesak, memastikan intervensi cepat saat diperlukan.
5. **IoMT untuk Layanan Kesehatan Cerdas:** IoMT diintegrasikan untuk menyediakan lingkungan AAL guna mendukung robot asisten yang dapat memantau dan melaporkan berbagai kondisi lingkungan, seperti kualitas udara. Jika kualitas udara turun di bawah ambang batas yang ditetapkan, robot ini dapat mengirimkan peringatan kepada perawat, membantu menjaga lingkungan hidup yang aman bagi lansia.
6. **Sensor yang Dapat Dikenakan dan Cerdas:** Untuk memantau asupan cairan atau indikator kesehatan lainnya, perangkat yang dapat dikenakan, wadah pintar, dan sensor tertanam digunakan. Alat-alat ini membantu melacak aktivitas harian dan memastikan lansia tetap terhidrasi dan sehat tanpa perlu intervensi manusia yang konstan.

Melalui teknologi ini, AAL menyediakan kerangka kerja yang kuat bagi lansia untuk hidup lebih mandiri sekaligus memberikan ketenangan pikiran bagi pengasuh dengan memungkinkan respons cepat jika terjadi keadaan darurat atau masalah kesehatan.

Pendekatan holistik terhadap pemantauan kesehatan ini memastikan keamanan, kenyamanan, dan intervensi tepat waktu, bila diperlukan.

2.7 TANTANGAN LAYANAN KESEHATAN IOMT

Terdapat beberapa tantangan, isu, dan implikasi bagi adopsi sistem layanan kesehatan berbasis IoMT yang efektif dan andal, termasuk privasi pasien, keamanan data, manajemen data, skalabilitas, isu kebijakan, peraturan pemerintah, interoperabilitas, dan efektivitas biaya. Tantangan dan isu tersebut dijelaskan secara singkat dalam teks berikut.

Privasi dan Keamanan Data Pasien

Tantangan utama dalam penerapan IoMT adalah memastikan keamanan siber yang tangguh untuk sistem pemantauan layanan kesehatan. Perlindungan data kesehatan pasien yang sensitif dalam jumlah besar yang ditransfer antar sistem tetap menjadi perhatian penting. Akhbarifar dan rekan-rekan mengembangkan metode enkripsi blok ringan yang dirancang khusus untuk pemantauan kesehatan jarak jauh, memastikan keamanan data dalam lingkungan IoMT berbasis cloud. Lin dan rekan-rekan dan Chaudhari dan Umamaheswari mengusulkan sistem akses tunggal (SC-UCSSO) berbasis kartu pintar elektronik yang dikendalikan pengguna untuk telemedis, yang meningkatkan privasi, keamanan, dan kinerja. CoviChain, sebuah sistem berbasis blockchain, mengatasi masalah keamanan dan privasi data serta memungkinkan penyimpanan data yang aman sekaligus melindungi informasi individu.

Manajemen Data

Teknik manajemen data efisien berbasis AI digunakan dalam sistem IoMT untuk pengambilan, analisis, integrasi, dan pengendalian aliran data sekaligus memastikan kegunaannya. Teknik anonimisasi, integrasi, dan sinkronisasi data digunakan untuk mengekstrak informasi yang relevan dan menyembunyikan detail yang tidak diperlukan.

Skalabilitas, Peningkatan, Regulasi, dan Standardisasi

- **Skalabilitas:** Kemampuan perangkat layanan kesehatan untuk beradaptasi dengan perubahan lingkungan sangatlah penting. Sistem yang skalabel menjaga efisiensi dan keseragaman di seluruh perangkat dan sumber daya yang terhubung.
- **Peningkatan:** Kemajuan pesat dalam IoMT menuntut pembaruan perangkat secara berkelanjutan, sehingga menimbulkan tantangan dalam lingkungan teknologi yang serba cepat.
- **Regulasi dan Standardisasi:** Validasi perangkat IoMT berdasarkan protokol komunikasi, agregasi data, dan antarmuka gateway sangatlah penting. Badan standardisasi seperti IETF - Internet Engineering Task Force, ETSI - European Telecommunications Standards Institute, dan IPSO - Internet Protocol for Smart Objects memainkan peran penting dalam memastikan kepatuhan. Tantangan seperti HITECH - Health Information Technology for Economic and Clinical Health Act, HIPPA - Health Insurance Portability and Accountability Act of 1996, dan GDPR - General Data Protection Regulation, mempersulit adopsi skala besar.
- Kolaborasi antar peneliti, organisasi, dan badan regulator diperlukan untuk memvalidasi EMR - Electronic Medical Record, perangkat perekam IoMT.

Interoperabilitas

Tantangan interoperabilitas muncul karena variasi standar, heterogenitas perangkat, dan varians antaroperator. Pertukaran data antar sistem IoMT dengan beragam fitur dapat menjadi kompleks, yang menekankan perlunya antarmuka standar, terutama dalam aplikasi lintas organisasi. Menangani volume data yang besar dan mengelola perangkat yang saling terhubung secara efisien tetap menjadi isu yang mendesak, terutama ketika mempertimbangkan kendala energi.

Efisiensi Biaya

Tekanan finansial akibat COVID-19 telah membatasi adopsi IoMT. Biaya desain, pengembangan, instalasi, dan pemeliharaan sistem IoMT harus dioptimalkan. Penggunaan sensor dengan perawatan rendah dengan biaya penyiapan yang lebih rendah dapat memfasilitasi implementasi yang lebih luas dan penggunaan rutin perangkat IoMT.

Konsumsi Daya

Perangkat IoMT, yang seringkali dioperasikan dengan baterai, memerlukan penggantian baterai yang sering atau baterai berdaya tinggi. Untuk mengatasi krisis energi global, desain masa depan harus berfokus pada perangkat layanan kesehatan berkelanjutan yang mampu menghasilkan daya sendiri atau terintegrasi dengan sistem energi terbarukan.

Dampak Lingkungan

Perangkat IoMT menggabungkan sensor biomedis yang terbuat dari semikonduktor yang mengandung logam tanah jarang dan bahan kimia beracun, yang menimbulkan risiko lingkungan. Badan regulasi mengawasi produksi sensor untuk memitigasi dampak ini. Penelitian harus memprioritaskan desain sensor berbasis bahan yang dapat terurai secara hayati untuk meminimalkan dampak lingkungan.

2.8 KESIMPULAN

Berbagai negara berkembang pesat masih tertinggal dari negara maju dalam hal standar layanan kesehatan dan penyediaan fasilitas kesehatan yang memadai bagi warganya. Menjembatani kesenjangan ini membutuhkan kemajuan dalam teknologi biomedis dan bioteknologi, serta implementasinya yang luas. Teknologi seperti komputasi awan, AI, analitik data besar, blockchain, dan realitas virtual/augmented telah merevolusi layanan kesehatan, memungkinkan inovasi dalam pemantauan kesehatan jarak jauh, perangkat pintar, platform telemedis, robotika, dan drone. Kemajuan ini memfasilitasi diagnosis dini, manajemen penyakit, dan peningkatan kondisi hidup, sehingga mengurangi kebutuhan kunjungan rumah sakit. Namun, tantangan terkait biaya, skalabilitas, privasi, keamanan, interoperabilitas, dan dampak lingkungan harus diatasi. Mengembangkan sistem yang hemat biaya, fleksibel, dan konsisten akan membuka jalan bagi penerimaan massal dan lanskap layanan kesehatan yang lebih efisien.

BAB 3

ARSITEKTUR KABUT-IOT UNTUK HUNIAN BERBANTUAN CERDAS

3.1 PENDAHULUAN

Komputasi awan telah menjadi pendorong penting dalam sektor kesehatan, khususnya untuk hunian berbantuan di lingkungan sekitar (AAL). AAL melibatkan teknologi untuk membantu lansia atau penyandang disabilitas hidup mandiri dan nyaman di rumah mereka. Komputasi awan meningkatkan kapabilitas sektor kesehatan. Untuk meningkatkan kualitas hidup manusia di semua tahap, para ilmuwan telah menciptakan serangkaian konsep, teknik, dan produk yang disebut AAL. AAL berfokus pada pemanfaatan teknologi untuk membantu dan merehabilitasi lansia penyandang disabilitas. Semakin banyak lansia di negara maju yang menginginkan atau berkewajiban untuk mempertahankan otonomi mereka seiring bertambahnya usia. Teknologi canggih seperti solusi AAL memungkinkan lansia untuk tinggal di rumah mereka lebih lama, sehingga mengurangi beban kerja pengasuh profesional dan nonprofesional. Tujuan AAL, sebuah pendekatan komprehensif terhadap desain teknologi, adalah untuk menyediakan lingkungan yang aman bagi lansia yang didukung dan memungkinkan mereka hidup mandiri. Seiring berjalannya waktu, target populasi telah berubah menjadi orang lanjut usia, terutama mereka yang berusia di atas 65 tahun. Karena kekurangan unik yang menyertai penuaan, merancang alat untuk populasi ini tidak hanya menjadi tantangan tetapi juga vital. Selain kegunaan, menjadi semakin penting untuk menciptakan teknologi bagi orang lanjut usia yang tidak hanya memenuhi kebutuhan mereka tetapi juga meningkatkan kesejahteraan fisik dan mental mereka secara umum. Masalah ini semakin mendesak karena populasi lanjut usia di berbagai negara merupakan segmen demografis terbesar. Pada tahun 2020, 20,6% penduduk Uni Eropa berusia 65 tahun atau lanjut usia. Pada tahun 2030, diantisipasi bahwa 16,6% dari populasi global akan berusia 60 tahun atau lebih.

Selama beberapa tahun terakhir, banyak perangkat teknologi telah diciptakan untuk mendukung promosi gaya hidup sehat di kalangan orang lanjut usia. Tujuan-tujuan ini dicapai melalui implementasi program-program yang meningkatkan literasi kesehatan dan mencakup berbagai sektor untuk mempromosikan perilaku sehat. Dalam perancangan teknologi, tujuannya adalah menemukan solusi yang hemat biaya dan mendorong kemandirian, sekaligus memberikan manfaat di bidang kesehatan dan kesejahteraan. Kajian komprehensif terhadap penelitian dan pengembangan teknologi informasi dan komunikasi telah mengidentifikasi tujuan bersama dari perangkat-perangkat ini, yaitu peningkatan kesehatan dan keselamatan. Berbagai teknologi dirancang untuk membantu lansia dalam menjalankan tugas sehari-hari.

Dalam industri kesehatan, komputasi awan telah muncul sebagai pendorong penting, terutama untuk AAL. AAL menggunakan teknologi untuk membantu lansia dan penyandang disabilitas hidup nyaman dan mandiri di rumah mereka.

Manfaat Utama Komputasi Awan dalam AAL

- *Skalabilitas*: Opsi penyimpanan yang dapat diskalakan pada platform awan memungkinkan pengelolaan data bervolume besar yang dihasilkan oleh perangkat dan sistem AAL.
- *Integrasi Data*: Komputasi awan memungkinkan data dari berbagai sumber, termasuk data sensor, informasi pasien, dan rekam medis, untuk digabungkan menjadi satu sistem terintegrasi.
- *Pemantauan Berkelanjutan*: Teknologi yang dapat dikenakan dan sensor yang mendeteksi tanda-tanda vital, tingkat aktivitas, dan faktor lingkungan digunakan oleh perangkat yang dapat dikenakan dan sistem berbasis awan untuk memantau pasien secara berkelanjutan.
- *Peringatan Waktu Nyata*: Algoritma yang dihosting di awan dapat menganalisis data secara waktu nyata dan langsung memberi tahu tenaga medis atau perawat tentang pola abnormal yang mungkin terjadi. Pola abnormal ini dapat mencakup kejadian jatuh atau perubahan tak terduga dalam indeks kesehatan.
- *Layanan Telehealth*: Komputasi di awan memungkinkan penerapan sistem telemedisin, yang pada gilirannya memungkinkan tenaga medis untuk memantau pasien dari jarak jauh, melakukan konsultasi virtual, dan melakukan intervensi dengan cepat bila diperlukan.
- *Portal Pasien*: Platform dihosting di cloud dan aman, memungkinkan pasien dan keluarga mereka berinteraksi dengan praktisi kesehatan dan mendapatkan akses ke informasi tentang kesehatan dan metode perawatan mereka. Analisis prediktif adalah proses penggunaan algoritma pembelajaran mesin untuk menganalisis data historis guna menghasilkan prediksi tentang potensi masalah kesehatan dan menawarkan rekomendasi tindakan pencegahan. Proses ini dikenal sebagai analisis prediktif.
- *Perawatan yang Disesuaikan*: Analisis canggih dapat meningkatkan hasil perawatan pasien dan memberikan kualitas perawatan yang lebih tinggi. Hal ini dimungkinkan oleh kemampuan untuk menyesuaikan rejimen perawatan agar memenuhi kebutuhan spesifik setiap pasien.
- *Biaya Infrastruktur yang Lebih Rendah*: Solusi cloud mengurangi biaya keseluruhan yang terkait dengan infrastruktur teknologi informasi dengan menghilangkan kebutuhan akan server lokal dan pemeliharaan yang mahal.
- *Model Bayar Sesuai Pemakaian*: Banyak layanan cloud tersedia dengan sistem bayar sesuai pemakaian, yang memungkinkan penyedia layanan kesehatan untuk menyesuaikan pengeluaran dan penggunaan mereka sesuai permintaan pasar.
- *Berbagi Data*: Platform komputasi awan memungkinkan pertukaran data dan kolaborasi yang mudah di antara beragam pemangku kepentingan, seperti anggota keluarga, pengasuh, dan pakar kesehatan.
- Monitor kesehatan yang dapat dikenakan, sistem rumah pintar, dan sensor lingkungan adalah contoh perangkat Internet of Things yang dapat terhubung dengan aman dan lancar ke komputasi awan.

- *Aplikasi Praktis Sistem Pemantauan Rumah dalam AAL*: Perangkat berbasis awan dapat mengamati rutinitas, mendeteksi perilaku yang tidak biasa, dan memberi tahu petugas tanggap darurat atau pengasuh jika terjadi keadaan darurat.
- *Aplikasi Manajemen Kesehatan*: Aplikasi seluler yang terhubung ke sistem berbasis awan dapat mengukur indikator kesehatan, mengelola jadwal resep, dan mengirimkan pengingat aktivitas dan janji temu.
- *Dukungan Kognitif*: Sistem berbasis awan yang memanfaatkan pendamping virtual dapat menyediakan interaksi sosial, pengingat, dan bantuan bagi individu dengan demensia atau gangguan kognitif lainnya.
- *Respons Darurat*: Jika terjadi kejadian kritis, seperti terjatuh, sistem terintegrasi dapat memberi tahu layanan darurat, yang secara otomatis menjamin perawatan medis yang cepat.

Tantangan dan Isu Penting Komputasi Awan dalam Layanan Kesehatan untuk AAL

Komponen inti komputasi awan adalah paradigma komputer kontemporer, termasuk jaringan, komputasi terdistribusi, dan arsitektur berorientasi layanan (SOA). Untuk mewujudkan potensi awan sepenuhnya, masih terdapat permasalahan dalam cara paradigma komputasi tersebut diimplementasikan, di samping tantangan baru spesifik yang ditimbulkan oleh komputasi awan, yang memerlukan pertimbangan cermat. Oleh karena itu, penyelesaian masalah ini sangat penting untuk memenuhi tuntutan penyedia layanan dan menawarkan layanan terbaik kepada konsumen. Isolasi data, ketersediaan dan heterogenitas sumber daya, manajemen daya dan energi, manajemen sumber daya, manajemen identitas, keamanan, dan perlindungan hanyalah beberapa kategori yang dapat dikelompokkan ke dalam permasalahan tersebut. Meskipun komputasi awan menghadirkan beberapa manfaat bagi AAL di sektor layanan kesehatan, terdapat pula sejumlah kekurangan dan kesulitan yang perlu dipertimbangkan.

Masalah Keamanan dan Privasi Data

Sistem cloud sangat rentan terhadap peretas, sehingga pelanggaran data menjadi ancaman yang signifikan. Pelanggaran keamanan dapat mengakibatkan akses tanpa izin ke informasi kesehatan sensitif, yang dapat membahayakan keselamatan dan kerahasiaan pasien.

Ketergantungan pada Konektivitas Internet

- *Keandalan Internet*: Efektivitas sistem AAL seringkali bergantung pada ketersediaan koneksi internet yang andal. Ketergantungan ini dapat mengakibatkan gangguan layanan dan, akibatnya, kekurangan dalam pemantauan pasien di wilayah dengan konektivitas internet yang tidak memadai.
- *Masalah Latensi*: Aplikasi yang beroperasi secara real-time, seperti sistem tanggap darurat, biasanya memerlukan koneksi dengan latensi rendah. Gangguan apa pun dalam transfer data dapat berdampak besar pada keselamatan dan kesejahteraan pasien, dan dampak ini bisa signifikan.

Keandalan dan Waktu Henti Layanan

- *Gangguan Layanan Cloud*: Bahkan perusahaan cloud ternama pun terkadang mengalami gangguan layanan. Gangguan apa pun dalam layanan dapat menghambat

aksesibilitas informasi dan layanan kesehatan penting, sehingga berdampak pada kualitas perawatan dan keselamatan pasien.

- *Pemulihan Bencana:* Meskipun penyedia cloud mungkin telah menetapkan protokol untuk pemulihan bencana, penyedia layanan kesehatan harus menilai keandalan prosedur ini dan mengembangkan rencana kontingensi mereka.

Tantangan Interoperabilitas

- *Tantangan Integrasi:* Memungkinkan komunikasi dan integrasi yang lancar di berbagai perangkat dan sistem dalam solusi AAL dapat menjadi tantangan. Kurangnya konsistensi dapat menghambat efektivitas perawatan terintegrasi.

Pertimbangan Biaya

- *Biaya Berkelanjutan:* Komputasi awan dapat mengurangi biaya infrastruktur, tetapi juga disertai dengan biaya berkelanjutan (seperti biaya keanggotaan dan biaya transfer data) yang dapat bertambah, terutama bagi penyedia layanan kesehatan kecil dengan anggaran terbatas.
- *Biaya Tak Terduga:* Strategi penetapan harga berbasis penggunaan dapat menyebabkan biaya tak terduga, terutama jika terjadi lonjakan konsumsi data secara tiba-tiba akibat peningkatan permintaan pemantauan atau pemrosesan.

Kompleksitas Implementasi

- *Keahlian Teknis yang Diperlukan:* Administrasi dan instalasi solusi AAL berbasis cloud memerlukan keahlian teknis tingkat tinggi. Penyedia layanan kesehatan mungkin perlu mengalokasikan sumber daya untuk merekrut atau melatih personel khusus, yang dapat memakan biaya besar.
- *Proses Integrasi yang Kompleks:* Mengintegrasikan sistem layanan kesehatan dan platform cloud dapat menjadi rumit dan memakan waktu, yang dapat menyebabkan gangguan layanan selama masa transisi.

Implikasi Etis dan Hukum

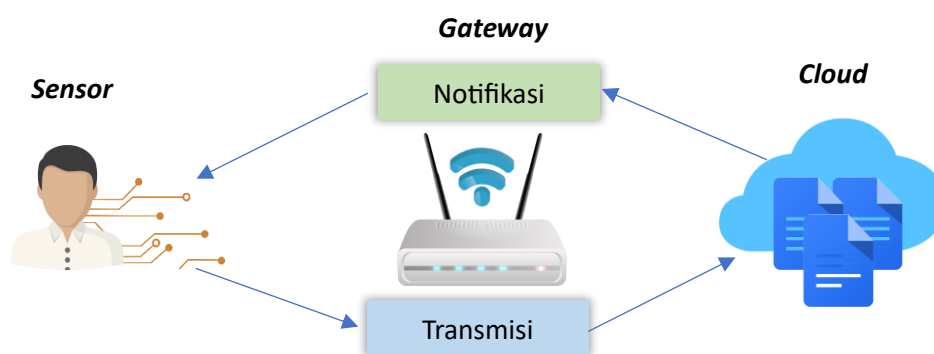
- *Persetujuan dan Kontrol:* Pasien mungkin khawatir tentang individu atau bisnis yang memiliki wewenang untuk mengakses data mereka dan cara implementasinya. Memastikan bahwa pasien telah memberikan persetujuan berdasarkan informasi dan bahwa mereka memiliki kendali atas data mereka dapat menimbulkan beberapa kesulitan.
- *Kewajiban Hukum:* Menentukan kapan terjadi pelanggaran data atau masalah layanan dapat menjadi tantangan, terutama ketika banyak perusahaan berbeda terlibat, seperti penyedia layanan cloud dan penyedia layanan kesehatan.

Tantangan Manajemen Data

- *Kelebihan Informasi:* Data yang sangat besar yang dihasilkan oleh sistem AAL dapat sangat membebani. Solusi manajemen data yang efisien sangat penting untuk memastikan bahwa data yang relevan diproses dan dievaluasi secara tepat.

- **Integritas Data:** Integritas data merupakan hal terpenting dalam menjaga akurasi dan integritas data yang disimpan di cloud. Setiap kerusakan atau kehilangan data berpotensi membahayakan keselamatan dan keamanan pasien secara signifikan.

Gambar 3.1 menunjukkan arsitektur kerja layanan kesehatan berbasis cloud yang menggunakan IoT. Komputasi awan memiliki potensi besar untuk meningkatkan AAL dalam layanan kesehatan, tetapi sangat penting untuk mengevaluasi dan mengatasi kelemahan ini secara menyeluruh. Untuk mengatasi masalah komputasi awan, komputasi kabut (FC) dengan IoT menjadi fokus. Dalam Bab ini, kami telah mengembangkan arsitektur untuk AAL menggunakan komputasi kabut dan IoT. Kerangka kerja ini meningkatkan kekuatan layanan kesehatan yang menggunakan komputasi awan untuk AAL.



Gambar 3.1 Layanan Kesehatan Berbasis Cloud Menggunakan Iot.

Dengan memahami dan mengatasi kendala ini, praktisi kesehatan dapat mengoptimalkan keunggulan teknologi cloud untuk meningkatkan luaran pasien dan meningkatkan kualitas layanan.

Komputasi fog computing menawarkan solusi yang skalabel, adaptif, dan terjangkau untuk menangani data kesehatan, memungkinkan pemantauan waktu nyata (real-time), dan mendukung telemedicine serta perawatan jarak jauh. Hal ini secara dramatis memperluas potensi AAL. Solusi AAL berbasis fog/IoT akan semakin maju seiring perkembangan teknologi, yang akan semakin membantu pasien dan penyedia layanan kesehatan. Dengan berfungsi sebagai penghubung antara pengguna akhir Internet of Things dan cloud, komputasi fog computing merupakan bentuk komputasi cloud klasik yang dapat diperluas. Berbeda dengan komputasi cloud yang merupakan teknik terpusat, komputasi fog mengambil pendekatan yang tersebar. Data yang akan dikonsumsi secara lokal difilter, dan sumber daya dikelola.

Selain itu, komputasi fog computing menawarkan layanan persiapan, termasuk pemotongan data. Komputasi fog computing merupakan pelengkap cloud yang terletak di tepi jaringan. Selain memfasilitasi penerapan program secara terdistribusi, komputasi kabut dicirikan oleh penyediaannya atas sumber daya yang beragam secara fisik. Komputasi kabut dicirikan oleh kapasitasnya untuk menganalisis data heterogen sedekat mungkin dengan waktu nyata, responsnya yang cepat terhadap data kritis waktu, dan fleksibilitasnya dalam alokasi tugas di antara sejumlah besar node.

3.2 PENGGUNAAN IOT DALAM LAYANAN KESEHATAN UNTUK AAL

IoT memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap layanan kesehatan, terutama dalam domain AAL. Melalui pemanfaatan perangkat dan sensor yang saling terhubung, IoT meningkatkan kemampuan untuk memantau, mengelola, dan mendukung kesejahteraan serta perawatan lansia atau penyandang disabilitas. Hal ini memungkinkan individu untuk menjalani gaya hidup yang lebih mandiri dan aman. Teks berikut menyajikan ikhtisar singkat tentang bagaimana IoT dapat diterapkan dalam layanan kesehatan, khususnya untuk AAL.

Pemantauan Kesehatan Berkelanjutan: Perangkat IoT dapat secara konsisten melacak tanda-tanda vital dan parameter kesehatan lainnya, menawarkan data terkini kepada pengasuh dan praktisi layanan kesehatan.

- *Deteksi dan Pencegahan Dini:* Sistem IoT dapat mengidentifikasi indikasi awal penurunan kesehatan atau keadaan darurat, memungkinkan intervensi segera dan mitigasi masalah kesehatan yang parah.
- *Peningkatan Kualitas Hidup:* IoT meningkatkan kualitas hidup individu secara keseluruhan di lingkungan AAL dengan mengotomatiskan tugas-tugas berulang dan menyediakan teknologi bantuan.
- *Perawatan dan Dukungan Jarak Jauh:* IoT memfasilitasi pemantauan dan konsultasi jarak jauh, meminimalkan kebutuhan kunjungan rumah sakit yang sering, dan memungkinkan penyedia layanan kesehatan untuk mengelola pasien dari jarak jauh.

3.3 FOG COMPUTING, IoT, DAN AAL DALAM LAYANAN KESEHATAN

Arsitektur fog computing dan IoT dalam layanan kesehatan untuk AAL sering kali memiliki banyak lapisan komponen yang saling terhubung yang berkolaborasi untuk mengumpulkan, memproses, dan menganalisis data dari beragam sensor dan perangkat. Gambar 3.2 menunjukkan arsitektur dari karya yang diusulkan.

Lapisan Sensor

Sensor dan perangkat IoT mencakup berbagai teknologi, termasuk gawai yang dapat dikenakan, sensor lingkungan, perangkat medis, dan peralatan rumah pintar. Perangkat ini dilengkapi dengan sensor yang memungkinkan pemantauan berbagai parameter, seperti tanda-tanda vital, tingkat aktivitas, dan kondisi sekitar.

Sensor yang Dapat Dikenakan

Sensor yang dapat dikenakan mengintegrasikan konektivitas seluler dengan fungsionalitas perangkat point-of-care yang krusial untuk membentuk gawai yang independen dan mandiri. Dengan memantau pergerakan pasien dan mengumpulkan data secara cepat, teknologi yang dapat dikenakan memungkinkan dokter untuk mendapatkan wawasan yang lebih mendalam tentang pengalaman dan strategi pasien dalam mengelola penyakit mereka.

Selain itu, teknologi yang dapat dikenakan, seperti jam tangan dan gelang kaki, dapat memberikan informasi penting dalam pengaturan layanan kesehatan seperti rumah sakit dan panti jompo.

Layanan kesehatan kontemporer memanfaatkan teknologi mutakhir untuk manajemen dan diagnosis. Pembelajaran mesin umumnya bermanfaat dalam pengambilan

keputusan layanan kesehatan, karena menggunakan berbagai model. Algoritma Pembelajaran Mendalam dapat secara efektif mengklasifikasikan dan memprediksi penyakit. Jaringan saraf dalam (DNN) telah memungkinkan diagnosis beberapa kondisi medis, seperti kanker, patah tulang, perdarahan, retinopati, dan kelainan kulit. Algoritma jaringan saraf dapat meningkatkan akurasi dokter kulit, dokter jantung, dokter mata, dan terapis dalam mendiagnosis gejala depresi. Ponsel Pintar: Ponsel pintar dilengkapi dengan berbagai sensor terintegrasi yang mengumpulkan data tentang pergerakan pengguna. Orang-orang biasanya menyimpan ponsel pintar mereka di saku, memenuhi kebutuhan data mereka. Pengumpulan data memiliki beberapa fungsi, seperti melacak pergerakan, mendeteksi jatuh, memantau lansia, dan memfasilitasi pelatihan rehabilitasi pasien.

Gelang Tangan dan Jam Tangan Pintar: Jam tangan dan gelang tangan pintar semakin populer karena memiliki berbagai sensor bawaan yang melacak aktivitas harian pengguna, pengeluaran kalori, detak jantung, dan kualitas tidur. Fitur-fitur ini dapat membantu pengguna meningkatkan pola tidur dan kesehatan fisik mereka.

Kacamata Pintar: Kemampuan kacamata pintar untuk merekam dan merekam video dapat melanggar privasi orang lain. Namun, kacamata pintar tidak akan menjadi masalah privasi selama tujuannya jelas dan sistem pemantauan berfungsi dengan sempurna. Sebaliknya, kacamata pintar akan menjadi alat medis dan penyelamat jiwa yang bermanfaat. Misalnya, Google telah mulai bersiap untuk memperkenalkan lensa kontak dengan sensor bawaan yang dapat menentukan kadar gula darah pengguna.

Pakaian dan Kaus Kaki Pintar: Pakaian pintar mengumpulkan informasi fisiologis dari individu menggunakan sensor kain dan perangkat pengumpul data. Data ini kemudian dapat digunakan untuk melacak metrik latihan pengguna dan mengukur pengeluaran energi mereka. Selain itu, pakaian bayi pintar dirancang untuk memantau kondisi fisiologis mereka.

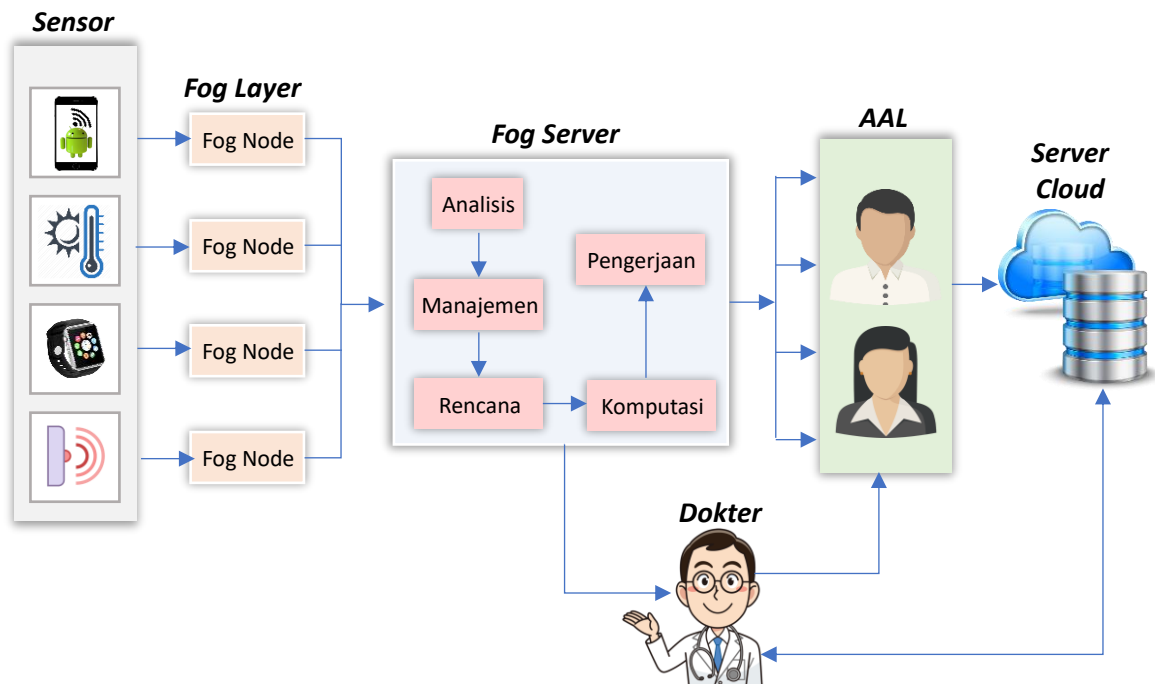
Sepatu Pintar: Sepatu kets yang cerah terutama mengumpulkan data olahraga konsumen untuk meningkatkan rencana olahraga mereka secara lebih efektif. Lebih lanjut, alas kaki pintar tertentu dilengkapi kemampuan deteksi gerakan canggih, seperti yang ditunjukkan oleh Nike HyperAdapt SE. Teknologi inovatif ini mendorong pengguna untuk bangun dan melakukan aktivitas fisik secara berkala.

Earphone Pintar: Teknologi mutakhir, seperti analisis dan pemrosesan suara yang kompleks, memungkinkan headphone pintar untuk memungkinkan pengguna mengoperasikan perangkat menggunakan perintah suara dengan mudah. Di masa mendatang, sensor mungkin akan dipasang langsung ke dalam headphone in-ear untuk melacak aktivitas, suhu tubuh, dan detak jantung.

Lapisan Kabut

Node Kabut: Ini adalah perangkat komputasi yang diposisikan secara strategis di pinggiran jaringan, seperti server tepi, router, atau gateway. Perangkat ini dilengkapi dengan kemampuan untuk memproses dan menyimpan data. Node kabut mengumpulkan data dari perangkat gateway dan melakukan aktivitas pemrosesan awal, seperti penyaringan data, agregasi, dan analitik dasar. Infrastruktur komputasi kabut mencakup komponen perangkat lunak dan middleware yang memfasilitasi komunikasi yang efektif, koordinasi tugas, dan

manajemen sumber daya antar node kabut. Ini dapat mencakup sistem komputasi tepi, perangkat lunak virtualisasi, dan alat orkestrasi.



Gambar 3.2 Kerangka Komputasi Kabut & IoT Untuk Layanan Kesehatan AAL.

Server Kabut

Manajemen Sistem: Data mencakup berbagai detail tentang masalah medis pasien dan, kemungkinan besar, lingkungan sekitar mereka. Dari data tersebut, penganalisis membangun fungsi atau model hipotesis, yang kemudian mereka transfer ke rencana.

Rencana: Sebuah rencana ditempatkan di lapisan kabut untuk membantu pengambilan keputusan lokal tentang kondisi pasien. Pengambilan keputusan menjadi lebih mudah ketika masukan sensorik berkelanjutan dan hipotesis dari analisis diterima. Data sensor diterima melalui manajemen sistem.

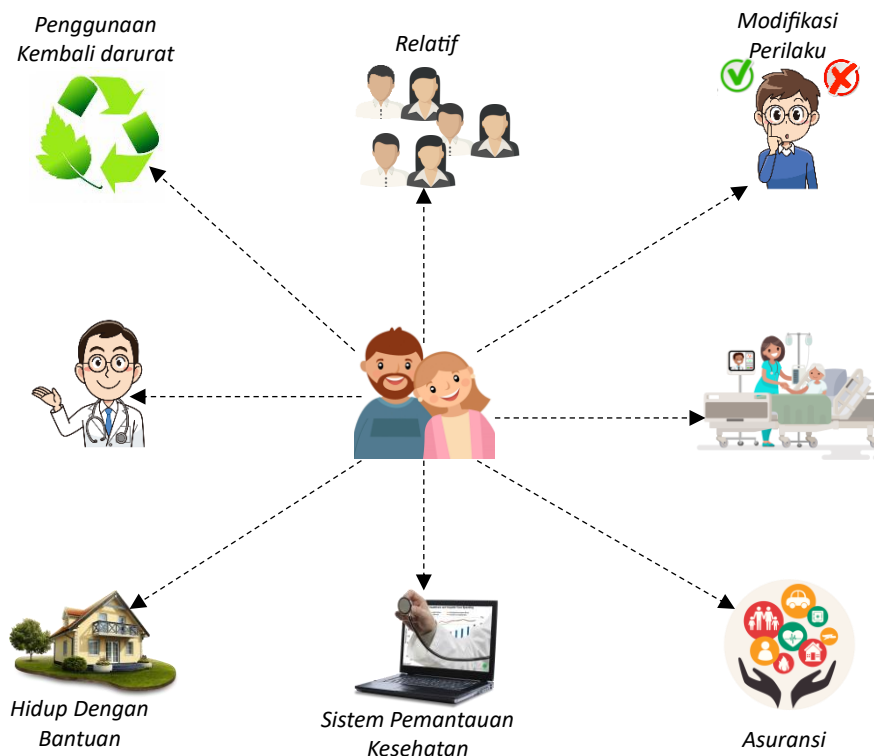
Komputasi: Ketika hanya diperlukan pengiriman data spesifik ke cloud, data tersebut dimanfaatkan. Host mengakses data yang dipilih dengan cermat ini lebih jarang, dan data ini ditujukan untuk penyimpanan jangka panjang.

Eksekusi: Elemen komputasi kedua dalam lapisan kabut yang mengonfigurasi perilaku sistem saat pemantauan disebut eksekusi. Elemen ketiga dalam lapisan kabut yang mengelola konfigurasi sistem secara lokal disebut manajemen sistem.

AAL

Aplikasi hunian berbantuan ambien mengacu pada aplikasi dan layanan perangkat lunak yang memanfaatkan data yang dikumpulkan dari perangkat IoT untuk menawarkan berbagai layanan dan fungsionalitas layanan kesehatan. Beberapa contoh teknologi ini adalah pemantauan pasien jarak jauh, deteksi jatuh, pengingat resep, pelacakan aktivitas, dan sistem tanggap darurat. Aplikasi AAL dapat menyediakan antarmuka pengguna yang disesuaikan untuk tenaga kesehatan profesional, pengasuh, dan pasien. Antarmuka ini memungkinkan

mereka untuk mengakses dan berinteraksi dengan sistem, melihat data waktu nyata, menerima peringatan, dan mengubah pengaturan serta preferensi.



Gambar 3.3 Menunjukkan Kerangka Kerja Layanan Kesehatan Untuk AAL.

Server Cloud

Dalam kasus tertentu, tugas-tugas tertentu dapat dialihkan ke server cloud terpusat untuk menangani pemrosesan yang lebih menuntut, menyimpan data untuk jangka waktu yang lama, atau melakukan analitik yang canggih. Server cloud digunakan untuk beberapa tujuan, termasuk melatih model pembelajaran mesin, mengekstrak informasi berharga dari kumpulan data yang ekstensif, dan menghosting aplikasi layanan kesehatan terpusat. Layanan cloud mencakup berbagai penawaran berbasis cloud, termasuk penyimpanan data, administrasi basis data, layanan keamanan, dan alat analitik. Layanan-layanan ini dirancang khusus untuk membantu aplikasi layanan kesehatan yang dihosting di cloud.

3.4 MANFAAT IoT DAN FOG COMPUTING PADA LAYANAN KESEHATAN AAL

Integrasi fog computing dan IoT dalam layanan kesehatan untuk AAL memberikan banyak keuntungan.

- **Strategi Pemrosesan dan Analisis Data Real-Time yang Lebih Baik:** Fog computing meminimalkan penundaan dalam pemrosesan data dengan melakukannya di dekat sumbernya. Hal ini memungkinkan pengambilan keputusan secara langsung, yang sangat penting untuk aplikasi AAL seperti sistem tanggap darurat. Node fog dapat melakukan analisis data di lokasi, sehingga mengurangi ketergantungan pada komputasi awan dan menjamin intervensi yang cepat.

- **Keandalan dan Ketersediaan yang Ditingkatkan:** Fog computing memungkinkan pemanfaatan berbagai perangkat edge untuk menjalankan tugas, sehingga meningkatkan keandalan sistem dan meminimalkan kemungkinan satu titik kegagalan. Kemampuan untuk memproses data secara lokal memastikan bahwa layanan penting tetap berjalan meskipun tidak ada koneksi jaringan yang tersedia.
- **Keamanan dan Privasi yang Ditingkatkan:** Dengan menyimpan data kesehatan sensitif secara lokal alih-alih mengirimkannya ke awan, fog computing meningkatkan privasi dan keamanan, sehingga mengurangi kemungkinan pelanggaran data.
- **Langkah-Langkah Keamanan yang Ditingkatkan:** Node fog dapat menerapkan kontrol keamanan yang terperinci di dekat sumber data, sehingga memberikan perlindungan yang lebih kuat terhadap akses tidak sah dan ancaman siber.
- **Skalabilitas dan Fleksibilitas:** Perangkat IoT semakin umum digunakan dalam lingkungan layanan kesehatan, dan komputasi fog menyediakan arsitektur yang skalabel yang dapat dengan mudah mengakomodasi tren ini. Untuk menjamin kinerja sistem AAL yang optimal, sumber daya dapat dialokasikan secara real-time sesuai dengan permintaan.
- **Efisiensi Biaya:** Komputasi mengurangi volume data yang dikirim ke cloud melalui pemrosesan data lokal, sehingga mengurangi biaya bandwidth.
- **Pemantauan Berkelanjutan:** Perangkat IoT dapat memantau parameter kesehatan pasien secara konsisten, menawarkan observasi yang disesuaikan dan perawatan yang cepat.
- **Dukungan Mobilitas yang Ditingkatkan:** Komputasi fog memungkinkan integrasi peralatan kesehatan bergerak dengan mudah, menjamin pemantauan dan pemrosesan data tanpa gangguan saat pasien berpindah antar lokasi. Data kesehatan dapat diproses di berbagai node fog yang terletak di berbagai lokasi, memastikan layanan yang konstan dan berkualitas tinggi terlepas dari lokasi geografis pasien.
- **Dukungan yang Ditingkatkan untuk Aplikasi Lanjutan:** Fog computing memungkinkan implementasi algoritma AI dan pembelajaran mesin di dekat sumber data, sehingga meningkatkan fungsionalitas aplikasi AAL seperti analitik kesehatan prediktif dan pengambilan keputusan otomatis. Kerangka kerja fog computing memfasilitasi integrasi dan kompatibilitas yang mulus dari berbagai perangkat dan protokol IoT, sehingga mendorong kelancaran operasional dalam ekosistem layanan kesehatan.
- **Manajemen Sumber Daya yang Ditingkatkan:** Node fog dapat mengelola dan mengalokasikan sumber daya komputasi secara efektif, memaksimalkan kinerja dan penggunaan sistem AAL secara keseluruhan. Dengan mendistribusikan beban komputasi di antara banyak node fog, sistem dapat mencapai penyeimbangan beban yang lebih baik dan menghilangkan hambatan.
- **Pengalaman Pasien dan Perawat yang Ditingkatkan—Antarmuka Intuitif:** Fog computing memfasilitasi pembuatan antarmuka yang ramah pengguna bagi pasien dan perawat, menyederhanakan interaksi dan pemanfaatan teknologi AAL. Pemrosesan data secara real-time dan pembuatan peringatan meningkatkan komunikasi antara

pasien, perawat, dan penyedia layanan kesehatan, sehingga menghasilkan koordinasi perawatan yang lebih efektif.

Peningkatan Fitur dalam Layanan Kesehatan Menggunakan Fog

Kualitas layanan (QoS) merupakan parameter yang secara khusus berkaitan dengan kinerja, efisiensi, dan keandalan. Isu penting dalam paradigma komputasi fog adalah QoS. QoS dapat dibedakan berdasarkan empat dimensi: keandalan, penundaan, konektivitas, dan kapasitas. Dimensi-dimensi ini dijelaskan sebagai berikut:

- **Keandalan:** Keamanan dan integritas jaringan inti bergantung pada transfer data yang andal. Untuk meningkatkan keandalan secara berkala, titik pemeriksaan untuk melanjutkan aktivitas setelah kegagalan biasanya dapat diimplementasikan.
- **Penundaan:** Untuk penerapan jaringan fog, aplikasi yang sensitif terhadap latensi merupakan suatu keharusan dalam desain perangkat lunak guna mendukung streaming secara real-time dan respons pemrosesan. Penerapan pemrosesan sistem spasiotemporal berbasis fog mengatasi masalah latensi transit data yang berlebihan. Studi kedua telah dilakukan pada aplikasi yang disebut RECEP (Reuse for distributed complex event processing). Program ini memanfaatkan konsep data yang tumpang tindih dan menyimpan hasil yang salah untuk menggunakan kembali sumber daya komputasi secara efektif dan mengurangi kebutuhan. Hal ini meningkatkan skalabilitas dan mengurangi latensi dalam sistem seluler.
- **Konektivitas:** Dalam jaringan fog, segmentasi dan agregasi dapat mengurangi biaya, membatasi data, dan memperluas alternatif konektivitas; oleh karena itu, masalah konektivitas perlu diatasi.
- **Kapasitas:** Terdapat beberapa tingkatan dalam kapasitas QoS. Kapasitas QoS dibagi menjadi dua kategori: bandwidth jaringan dan kapasitas penyimpanan. Kedua bagian ini memungkinkan dan mencapai bandwidth tinggi serta operasi penyimpanan yang efisien. Banyak penelitian serupa yang perlu dibahas. Reaksi waktu nyata (real-time) merupakan tantangan baru yang signifikan saat meneliti dan bereksperimen dengan operasi sensor dalam jaringan, terutama dalam pengaturan penerapan MANET (Mobile AdHoc Networks). Untuk memahami data yang dihasilkan oleh sensor tangki kimia dan menghindari kebutuhan reaksi waktu nyata yang kritis agar tidak menjadi bencana, node fog mungkin diperlukan.

Oleh karena itu, pemrosesan akan membutuhkan waktu yang cukup lama hingga seluruh dataset digabungkan. Karena sifat dinamis posisi data dan besarnya jumlah data, algoritma pencarian dalam komputasi fog harus dimodifikasi. Merancang fungsi cache pada node fog merupakan hal yang bermasalah karena memerlukan pemaksimalan lokalitas sekuensial untuk latensi terendah dan penghematan bandwidth maksimum. Dua pendekatan telah diusulkan untuk mengatasi masalah ini: yang pertama menggunakan cache router edge, sementara yang kedua menggunakan cache perangkat akhir.

Offloading Komputasi

Ini mengacu pada proses pengalihan tugas komputasi dari jaringan fog dengan sumber daya terbatas ke perangkat dengan kemampuan yang lebih unggul. Teknik ini meningkatkan

masa pakai baterai, kapasitas penyimpanan, dan efisiensi aplikasi. Outsourcing komputasi dapat dibagi menjadi enam kategori berbeda: eksekusi terdesentralisasi, tujuan, skema, adaptasi, granularitas, dan komunikasi. Meskipun terdapat banyak penelitian tentang hal ini, offloading komputasi dalam kaitannya dengan komputasi awan dan cloudlet memberikan beberapa panduan tentang cara mengatasi masalah ini. Pada bagian ini, beberapa di antaranya akan diselidiki. MAUI (Making Smartphones Last with Code Offload) menganjurkan penggunaan pendekatan profil dan offloading kode untuk mengatasi kesulitan dalam menyesuaikan diri dengan perubahan konektivitas jaringan, latensi, dan kapasitas. Penganalisis kode secara efektif menangani proses pemindahan atau penggabungan titik-titik dalam bytecode. Think Air memanfaatkan skalabilitas dan fleksibilitas teknologi cloud untuk meningkatkan kemampuan pemrosesan dan penyimpanan komputasi cloud perifer seluler. Hal ini dicapai dengan mengeksekusi metode secara bersamaan pada banyak mesin virtual (VM). QoS merupakan komponen penting dari jaringan kabut, terutama jika terjadi malfungsi infrastruktur atau serangan. Dalam kasus seperti itu, strategi migrasi VM dapat digunakan untuk mengurangi dampaknya. Migrasi langsung VM mengacu pada proses pemindahan operasi mesin virtual dari satu node fisik ke node fisik lainnya. Migrasi langsung VM menjamin penyediaan layanan aplikasi yang dihosting tanpa gangguan.

Akibatnya, pemindahan mesin virtual mungkin memerlukan alokasi sumber daya yang substansial. Saat menjalankan program pada mesin virtual yang dimigrasi, waktu transfer data berkurang melalui penerapan berbagi penyimpanan jaringan antara dua node yang dihosting. Sebagai alternatif, sebuah metode yang secara teoritis canggih untuk migrasi perangkat virtual diusulkan, yang melibatkan migrasi langsung cerdas.

Jika terjadi kegagalan pada kedua node fog yang dihosting, teknik ini dapat menentukan secara tepat durasi waktu henti sistem yang diperlukan untuk tahap henti-dan-salin. Hal ini juga mengurangi durasi transfer data dan waktu sistem tidak beroperasi, sehingga menjamin kualitas layanan dan ketersediaan sumber daya bagi konsumen akhir. Durasi ketidaktersediaan sistem yang diantisipasi akan dibandingkan dengan ambang batas waktu henti sistem yang telah ditetapkan sebelumnya.

Keamanan dan Privasi

Privasi, integritas, dan ketersediaan merupakan penentu utama pengukuran keamanan dalam jaringan fog. Mekanisme harus dipertimbangkan saat membuat dan mengimplementasikan struktur fog. Meskipun privasi data sangat terkait dengan kerahasiaan dan integritas, ketersediaan mengacu pada kemampuan mengakses sumber daya yang disediakan oleh server cloud dan node fog dari jarak jauh sesuai kebutuhan. Beberapa kendala dalam fog teratasi ketika arsitektur cloud meningkatkan penerapannya.

Fog rentan karena banyaknya fitur dan lokasi penerapan di tepi jaringan inti. Implementasi komputasi fog mengurangi potensi masalah terkait intrusi, penyerangan, keamanan, privasi, dan autentikasi. Cloudlet didistribusikan sebagai sistem pengenalan intrusi berbasis mesh dalam upaya terencana untuk melindungi cloud kecil (node fog) dari intrusi dan interferensi jaringan. Kekhawatiran keamanan terkait perangkat fog mungkin dipicu oleh

gagasan dari masa lalu tentang masalah keamanan yang saat ini terhubung ke lingkungan mesin virtual.

Keamanan Fog Computing

Fitur hierarkis fog computing menyoroti beberapa masalah signifikan dengan beragamnya perangkat IoT yang tersedia melalui perangkat fog frontage. Rencana langkah-langkah keamanan untuk CC tidak akan langsung diterapkan pada struktur fog. Lingkungan fog computing mungkin memiliki masalah keamanan yang mungkin tidak muncul di lingkungan komputasi awan tradisional. Kerentanan keamanan yang signifikan dari layanan fog adalah autentikasi berbasis beberapa gateway. Sebuah model keamanan yang menganalisis berbagai jenis serangan dan potensinya telah disertakan dalam fog computing. Untuk memastikan dukungan dan penyediaan QoS bagi sensor dan komponen komunikasi terdistribusi dalam jaringan fog, perlu untuk mengkategorikan ancaman keamanan paling kritis dalam keseluruhan struktur jaringan. Sebelumnya, serangan transmisi jaringan seperti penolakan layanan (denial of service) dan serangan gateway tidak sah telah diakui sebagai risiko potensial. Lebih lanjut, gudang data layanan rentan terhadap kerusakan fisik, pelanggaran privasi, dan gangguan yang disebabkan oleh manipulasi QoS; semua ini telah diakui sebagai risiko keamanan yang mungkin terjadi.

Privasi dalam Fog Computing

Pusat data cloud privat dan layanan penyimpanan jarak jauh publik yang sensitif biasanya rentan terhadap peretasan dan kebocoran. Mayoritas pertanyaan penelitian berkaitan dengan pentingnya undang-undang seperti Patriot Act bagi penyedia layanan yang berbasis di AS.

Undang-undang tersebut memastikan bahwa tidak seorang pun dapat mengakses data pribadi pengguna yang berwenang. Sebaliknya, ketika komponen fog diterapkan di pinggiran jaringan inti, fog computing menghadirkan risiko privasi hierarkis. Risiko privasi yang cukup besar, seperti yang terkait dengan penggunaan, lokasi, dan privasi data, diimplementasikan dalam node fog dan aplikasi. Dibandingkan dengan cloud terpusat, node-node tersebut dapat lebih aman dari pencurian data.

Untuk membingungkan lawan, loop fog yang tidak perlu disarankan untuk menjaga lokasi node sumber konten. Struktur yang ramah terhadap fog menggunakan enkripsi kunci publik akan diubah menjadi pembaruan kunci yang tidak teratur untuk menghindari overhead yang tinggi guna mengurangi penyadapan berbahaya selama transmisi data.

Tantangan Keamanan Komunikasi

Sangatlah penting untuk menjamin keamanan saluran komunikasi dalam sistem FC, yang melibatkan transfer data antara node fog, perangkat edge, dan layanan cloud. Intersepsi, manipulasi, dan akses tidak sah merupakan kelemahan yang dapat muncul pada FC karena sifatnya yang terdesentralisasi. Hal ini, jika dikombinasikan dengan berbagai topologi jaringan dan koneksi perangkat yang dinamis, dapat menyebabkan kerentanan. Untuk memitigasi masalah ini, teknik enkripsi yang komprehensif (seperti Advanced Encryption Standard [AES] dan Rivest–Shamir–Adleman [RSA]), sistem tunneling yang aman, dan kerangka kerja autentikasi harus diterapkan untuk menjaga kerahasiaan dan integritas data. Dalam hal

melindungi informasi sensitif sepanjang jalurnya melintasi lapisan komputasi terdistribusi, pemantauan berkelanjutan dan deteksi ancaman proaktif merupakan komponen penting dalam melawan kemungkinan ancaman seperti serangan man-in-the-middle (MITM) dan pelanggaran jaringan.

- **Saluran Komunikasi Aman:** Membangun saluran komunikasi yang aman antara node fog, perangkat edge, dan sumber daya cloud sangat penting untuk melindungi data saat sedang transit. Teknik enkripsi, seperti AES dan RSA, serta mekanisme tunneling yang aman, digunakan dalam proses ini untuk menjamin kerahasiaan data dan tidak dimodifikasi selama perjalanannya melalui jaringan yang berpotensi tidak aman.
- **Serangan Man-in-the-Middle:** Dalam situasi FC, di mana data harus berpindah antar beberapa node dan perangkat, penting untuk mengambil langkah-langkah guna mencegah serangan man-in-the-middle, yang juga dikenal sebagai serangan MITM. Autentikasi bersama, model kepercayaan berbasis sertifikat, dan pemantauan berkelanjutan adalah beberapa teknik yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan mencegah serangan man-in-the-middle. Serangan-serangan ini dirancang untuk mencegah atau memanipulasi data yang sedang ditransfer antar titik akhir.
- **Kerentanan dalam Jaringan:** Sangat penting untuk mengidentifikasi dan mengatasi kerentanan jaringan guna mencegah pelaku kejahatan mengeksploitasinya. Dengan melakukan audit keamanan rutin, mengelola patch, dan menerapkan sistem deteksi dan pencegahan intrusi (IDS/IPS) yang tangguh, risiko kerentanan seperti protokol yang usang, standar enkripsi yang tidak memadai, dan segmentasi jaringan yang tidak memadai dapat dikurangi.

Tantangan Autentikasi dan Kontrol Akses

Karena sifat lingkungan yang terdistribusi dan beragam, autentikasi dan kontrol akses di FC menghadirkan serangkaian kendala unik yang harus diatasi. Untuk mengautentikasi dan mengotorisasi entitas yang mengakses sumber daya fog, seperti perangkat edge, sensor, dan layanan cloud, sangat penting untuk memastikan adanya manajemen identitas yang komprehensif. Dengan menerapkan langkah-langkah autentikasi yang tangguh, seperti biometrik dan autentikasi multifaktor, risiko yang terkait dengan akses tidak sah dapat dikurangi. Kebijakan kontrol akses, seperti kontrol akses berbasis peran dan berbasis atribut, sangat penting untuk membatasi akses data dan sumber daya berdasarkan peran dan tanggung jawab pengguna. Kebijakan-kebijakan ini merupakan fondasi dari kontrol akses. Selain itu, untuk melindungi data sensitif yang diproses dan dikomunikasikan antar node fog, penting untuk mengelola dan mengamankan kredensial autentikasi dari pencurian atau penyalahgunaan. Mengingat permasalahan ini, diperlukan solusi keamanan yang adaptif dan skalabel agar dapat mengakomodasi koneksi perangkat yang dinamis dan lanskap ancaman yang terus berubah dalam pengaturan komputasi fungsional.

- **Manajemen Identitas:** Sistem manajemen identitas yang efisien menjamin bahwa hanya entitas yang berwenang (seperti pengguna, perangkat, dan layanan) yang dapat mengakses sumber daya FC. Implementasi mekanisme autentikasi yang tangguh, seperti autentikasi multifaktor dan biometrik, serta sistem manajemen identitas

terpusat, membantu dalam memverifikasi dan mengelola identitas entitas yang mengakses jaringan.

- **Kontrol Akses:** Untuk mencegah akses tidak sah ke data dan sumber daya sensitif dalam pengaturan FC apa pun, implementasi kebijakan yang mengatur kontrol akses sangatlah penting. Kontrol akses berbasis peran (RBAC), kontrol akses berbasis atribut (ABAC), dan konsep hak istimewa terkecil digunakan untuk membatasi akses berdasarkan peran, tanggung jawab, dan izin pengguna. Hal ini mengurangi risiko pelanggaran data yang tidak sah.
- **Manajemen Kredensial:** Melindungi kredensial autentikasi (seperti kata sandi dan kunci) sangatlah penting untuk mencegah pencurian atau penyalahgunaannya oleh orang atau organisasi yang merugikan. Menerapkan praktik-praktik seperti hashing kata sandi, rotasi kunci, dan penggunaan teknik penyimpanan yang aman dapat memastikan bahwa kredensial terlindungi dari akses dan eksploitasi yang tidak sah.

Batasan Sumber Daya dan Keamanan

Dalam sistem FC, keterbatasan sumber daya menghadirkan hambatan substansial bagi penerapan langkah-langkah keamanan yang tangguh sekaligus mempertahankan kinerja optimal. Dalam banyak kasus, node fog dan perangkat edge mampu beroperasi dengan daya komputasi, memori, dan sumber daya energi yang terbatas. Oleh karena itu, diperlukan penerapan solusi keamanan yang memadai untuk mengurangi beban overhead sekaligus menjaga kerahasiaan, integritas, dan ketersediaan data. Dalam upaya meminimalkan pengaruh keterbatasan sumber daya terhadap keamanan, teknik seperti algoritma enkripsi ringan, protokol kriptografi hemat energi, dan manajemen penyimpanan yang optimal memainkan peran penting. Organisasi dapat membangun infrastruktur FC yang tahan lama dan aman yang mampu mendukung beragam aplikasi dalam ekosistem IoT yang dinamis jika mereka mengambil langkah-langkah proaktif untuk mengatasi kesulitan ini.

- **Batasan Sumber Daya dan Keamanan:** Node fog dan perangkat edge seringkali memiliki kemampuan komputasi dan sumber daya memori yang terbatas, yang menimbulkan masalah dalam penerapan langkah-langkah keamanan yang tangguh tanpa berdampak negatif pada kinerja. Pemanfaatan algoritma enkripsi yang ringan, protokol kriptografi yang efisien, dan solusi keamanan yang hemat sumber daya sangat penting untuk meminimalkan overhead dan menjaga kinerja pada tingkat tertinggi.
- **Kendala Daya:** Dalam situasi FC, di mana perangkat beroperasi dengan daya baterai atau sumber daya energi yang terbatas, sangat penting untuk mengatasi kendala daya. Pengaruh langkah-langkah keamanan terhadap konsumsi daya perangkat dapat dikurangi dengan penggunaan protokol keamanan hemat energi, strategi manajemen daya, dan pendekatan kriptografi daya rendah. Hal ini membantu memperpanjang waktu operasional dan efisiensi.
- **Kendala Penyimpanan:** Untuk mengelola penyimpanan data secara efektif pada perangkat dengan sumber daya terbatas, perlu menerapkan strategi manajemen penyimpanan yang efisien dan aman. Pemanfaatan ruang penyimpanan dapat dioptimalkan melalui penggunaan teknik-teknik seperti deduplikasi data, kompresi,

dan penghapusan aman. Teknik-teknik ini membantu memastikan kerahasiaan, integritas, dan ketersediaan data yang disimpan dalam sistem FC.

Tantangan Keamanan Fisik

Keamanan fisik dalam FC sangat penting karena mengatasi risiko yang terkait dengan akses fisik dan perlindungan node fog dan perangkat edge. Oleh karena itu, keamanan fisik disebut "keamanan fisik". Ancaman seperti akses tanpa izin, manipulasi, dan paparan bahaya lingkungan dihadapi oleh perangkat-perangkat ini, yang seringkali diterapkan dalam berbagai konteks, beberapa di antaranya dapat bersifat agresif, seperti lingkungan IoT industri atau lingkungan kota pintar. Diperlukan penerapan langkah-langkah keamanan fisik yang ketat untuk melindungi node fog. Metode-metode ini mencakup segel anti-rusak, enklosur yang aman, dan kemampuan untuk memantau peralatan dari jarak jauh. Peningkatan ketahanan terhadap potensi gangguan dapat dicapai dengan mengatasi bahaya dan kondisi lingkungan spesifik lokasi. Hal ini juga memastikan bahwa integritas dan ketersediaan data dan layanan tetap terjaga dalam penerapan FC.

- **Perusakan Perangkat:** Sangat penting untuk melindungi node fog dan perangkat edge agar tidak dirusak secara fisik atau diakses tanpa izin guna melindungi data sensitif dan menjaga integritas sistem. Kemungkinan intrusi data dan kompromi perangkat berkurang ketika langkah-langkah keamanan fisik diterapkan. Langkah-langkah ini mencakup segel anti-rusak, enklosur aman, dan kemampuan manajemen perangkat jarak jauh. Metode-metode ini membantu dalam mengidentifikasi dan menanggapi upaya untuk mendapatkan akses fisik tanpa izin.
- **Risiko Berbasis Lokasi:** Pentingnya mengatasi masalah keamanan yang terkait dengan lokasi fisik node fog dan perangkat edge tidak dapat dilebih-lebihkan dalam berbagai keadaan penerapan. Penting untuk melakukan penilaian risiko dan mengembangkan metode mitigasi yang secara khusus disesuaikan dengan skenario penerapan yang dimaksud. Bahaya lingkungan, aksesibilitas terhadap personel yang tidak berwenang, dan paparan terhadap bencana alam adalah contoh faktor-faktor yang memerlukan strategi tersebut.
- **Aspek Lingkungan:** Mengurangi bahaya yang ditimbulkan oleh keadaan lingkungan (seperti fluktuasi suhu dan kelembapan, misalnya) merupakan cara yang efektif untuk memastikan keandalan dan daya tahan infrastruktur FC. Peningkatan ketahanan dan kesinambungan operasional perangkat dalam kondisi lingkungan yang menantang dapat dilakukan dengan memanfaatkan perangkat keras yang tangguh, sensor pemantauan lingkungan, dan tindakan perlindungan terhadap kondisi cuaca buruk.

Tantangan Kebijakan dan Kepatuhan

Kebijakan dan kepatuhan merupakan tantangan signifikan di sektor keuangan, yang dicirikan oleh pemrosesan dan penyimpanan data yang terdesentralisasi, sehingga menimbulkan serangkaian masalah regulasi yang unik. Untuk memitigasi risiko hukum dan melindungi privasi pengguna, penting untuk mematuhi standar industri (termasuk "Peraturan Perlindungan Data Umum (GDPR)" dan "Undang-Undang Portabilitas dan Akuntabilitas Asuransi Kesehatan (HIPAA)") serta peraturan perlindungan data lokal. Untuk penegakan

kebijakan yang efektif dalam lingkungan yang heterogen, penerapan kerangka kerja tata kelola yang kuat, sistem pemantauan otomatis, dan audit berkala sangatlah penting. Hal ini diperlukan untuk menjaga prosedur keamanan dan menjamin kepatuhan terhadap kebijakan organisasi. Para pemangku kepentingan FC dapat mengatasi hambatan ini dengan menerapkan konsep privasi sejak awal dan melakukan penilaian risiko proaktif. Hal ini membantu meningkatkan kepercayaan dan akuntabilitas dalam prosedur penanganan data mereka.

- **Kepatuhan Regulasi:** Penting untuk memastikan bahwa penerapan FC sesuai dengan aturan industri (seperti GDPR dan HIPAA) dan undang-undang perlindungan data untuk menghindari denda dan penalti hukum. Risiko yang terkait dengan ketidakpatuhan dan prosedur penanganan data yang bertanggung jawab dapat dikurangi dengan menerapkan konsep privasi berdasarkan desain, melakukan audit kepatuhan secara berkala, dan mematuhi peraturan perundang-undangan tertentu.
- **Penegakan Kebijakan:** Tata kelola dan pemantauan yang konsisten diperlukan untuk menegakkan standar keamanan secara efektif di berbagai konteks FC. Sistem penegakan kebijakan otomatis, pemantauan waktu nyata, dan proses respons insiden memungkinkan identifikasi dan mitigasi pelanggaran kebijakan secara proaktif.
- **Penilaian Risiko:** Melakukan penilaian risiko secara berkala membantu mengidentifikasi dan memprioritaskan risiko keamanan apa pun yang mungkin ada dalam ekosistem FC. Mengadopsi kerangka kerja manajemen risiko (seperti Kerangka Kerja Keamanan Siber NIST atau ISO 27001) dan melakukan latihan pemodelan ancaman memungkinkan organisasi untuk menganalisis ancaman, mengevaluasi risiko, dan menerapkan kontrol keamanan yang terarah untuk memitigasi risiko yang teridentifikasi secara efektif.

Tantangan yang Dihadirkan oleh Lingkungan yang Dinamis dan Heterogen

Tantangan lingkungan yang dinamis dan heterogen dalam FC merupakan akibat dari sifat perangkat dan infrastruktur jaringan yang beragam dan terus berubah. Dalam hal kapabilitas, koneksi, dan sumber daya komputasi, pengaturan FC melibatkan beragam perangkat, mulai dari perangkat edge hingga server cloud. Perangkat-perangkat ini memiliki beragam kapabilitas. Karena sifat dinamis lingkungan ini, beberapa masalah muncul, seperti skalabilitas, di mana sistem harus mampu mengelola berbagai beban kerja dan kondisi jaringan yang berbeda secara efektif. Selain itu, muncul pula kekhawatiran interoperabilitas, yang mengharuskan aliran data dan komunikasi antar berbagai platform dan perangkat terintegrasi secara mulus. Fleksibilitas untuk beradaptasi sangatlah penting untuk menghadapi ancaman keamanan dan terobosan teknologi yang terus berubah. Hal ini membutuhkan penggunaan proses yang tangkas dan langkah-langkah pencegahan untuk menjamin penerapan FC yang kuat dan tangguh.

- **Skalabilitas:** Sifat dinamis konektivitas perangkat dan alokasi beban kerja dalam sistem FC menimbulkan kesulitan skalabilitas. Tantangan skalabilitas memang terjadi dalam situasi FC. Namun, arsitektur keamanan yang skalabel, solusi keamanan yang elastis, dan penyediaan sumber daya keamanan yang dinamis dapat mengakomodasi variasi

lalu lintas jaringan, penerapan perangkat, dan persyaratan keamanan tanpa mengorbankan kinerja atau keandalan.

- **Interoperabilitas:** Sangat penting untuk menyediakan interoperabilitas antar berbagai komponen FC (seperti protokol dan platform) guna memfasilitasi komunikasi dan berbagi data sekaligus menjaga kelancaran pengalaman. Melalui implementasi kerangka kerja sumber terbuka, standarisasi protokol interoperabilitas, dan pelaksanaan pengujian interoperabilitas, kompatibilitas integrasi dapat ditingkatkan, dan postur keamanan keseluruhan sistem FC yang terhubung jaringan dapat diperkuat.
- **Adaptabilitas:** Pemantauan berkelanjutan, analisis intelijen ancaman, dan peningkatan keamanan proaktif diperlukan untuk mengadaptasi langkah-langkah keamanan terhadap peningkatan ancaman dan peningkatan teknologi di FC. Adaptabilitas merupakan persyaratan untuk mengadopsi langkah-langkah keamanan. Penerapan prosedur keamanan yang tangkas, pemanfaatan pembelajaran mesin untuk deteksi anomali, dan promosi kolaborasi dengan rekan-rekan di industri memungkinkan organisasi untuk merespons ancaman keamanan yang muncul dengan cepat dan menjaga ketahanan dalam lingkungan yang dinamis.

Sebuah proposal untuk skema perlindungan telah diajukan untuk mengatasi masalah privasi yang terkait dengan jaringan pintar. Proposal ini juga membahas penerapan strategi analitik data multidimensi yang dibangun di atas teknik homomorfisme pengkodean.

3.5 KESIMPULAN

Pengembangan dan penerapan kerangka kerja komunikasi canggih untuk mendukung AAL dibahas dalam artikel ini. Kerangka kerja ini memanfaatkan teknologi mutakhir seperti komunikasi sensor-aktuator, mesin-ke-mesin, dan perangkat-ke-perangkat. Untuk menghasilkan penilaian cerdas dan alarm suara, sistem ini memanfaatkan data sensor, struktur lalu lintas data, serta perilaku dan kebiasaan seseorang. Untuk melakukan hal ini, kami telah menciptakan sistem inovatif yang diawasi yang menggunakan masukan dari pengasuh dan/atau dokter, di samping pilihan pengguna untuk mengarahkan kasus di masa mendatang. Artikel ini menjelaskan sistem yang menggabungkan administrasi informasi jaringan nirkabel, representasi pengetahuan yang dikumpulkan dari lingkungan, dan algoritma yang dirancang khusus.

Dalam upaya ke depannya, kami akan menggabungkan skenario tambahan untuk meningkatkan dukungan kami bagi lansia dalam aktivitas sehari-hari mereka. Selain itu, robot juga akan diintegrasikan.

BAB 4

ANALISIS GAYA BERJALAN BERBASIS ML UNTUK KLASIFIKASI PARKINSON

4.1 PENDAHULUAN

Penyakit Parkinson (*Parkinson Disease* / PD) adalah gangguan progresif pada sistem saraf yang mengganggu fungsi otot dalam tubuh seseorang. Penyakit ini sangat memengaruhi kemampuan bicara, postur, dan mobilitas. Gejala seperti bradikinesia, tremor, dan kekakuan otot seringkali menjadi akibatnya. Kondisi ini disebabkan oleh kerusakan neuron, yang mengakibatkan penurunan kadar dopamin di dalam otak. Kadar dopamin yang tidak mencukupi menghambat komunikasi sinaptik, sehingga mengakibatkan gangguan gerakan motorik. Meskipun gejala yang muncul dapat berbeda pada setiap orang, masalah keseimbangan dan tremor merupakan konsekuensi yang paling sering diamati dari penurunan neuron dopaminergik. Sayangnya, penyakit Parkinson saat ini belum ada obatnya. Untuk memperlambat perkembangan kondisi ini, pasien Parkinson bergantung pada deteksi dini dan terapi individual.

Penyakit Parkinson dapat berdampak signifikan pada kehidupan sehari-hari pasien, sehingga menyulitkan mereka untuk melakukan tugas-tugas sederhana dan aktivitas rutin. Beberapa perubahan paling signifikan dapat diamati dalam pergerakan, di mana penyakit Parkinson dapat menyebabkan kesulitan koordinasi dan keseimbangan, gerakan lambat, tremor, dan gerakan tak terkendali. Hal ini dapat menyulitkan mereka untuk berjalan, berbicara, atau menyelesaikan tugas-tugas lainnya. Parkinson juga dapat menyebabkan gangguan kognitif, gangguan kesehatan mental, dan demensia. Beberapa pasien mengalami masalah gastrointestinal seperti sembelit atau masalah kesehatan saluran kemih seperti infeksi atau urgensi. Gejala lain termasuk depresi, gangguan tidur, nyeri, gangguan sensorik, dan penurunan berat badan. Lebih lanjut, Parkinson dapat menyulitkan mereka untuk pergi ke tempat-tempat atau melakukan hal-hal yang mereka sukai, yang dapat menyebabkan penarikan diri dan rasa kesepian pada orang-orang dengan penyakit ini.

Saat ini, penyakit Parkinson ditentukan melalui kombinasi evaluasi klinis, riwayat medis, dan pencitraan atau tes laboratorium lanjutan. Tidak ada tes darah atau biomarker definitif untuk Parkinson, sehingga diagnosis sebagian besar bergantung pada identifikasi gejala dan menyingkirkan kondisi lain. Langkah pertama dalam mendiagnosis penyakit Parkinson adalah riwayat medis dan pemeriksaan fisik yang terperinci. Dokter biasanya memulai dengan menanyakan gejala-gejala yang telah dibahas sebelumnya kepada pasien. Riwayat keluarga penderita Parkinson juga dapat menjadi petunjuk penting, karena faktor genetik dapat berperan dalam beberapa kasus. Selanjutnya, seorang ahli saraf akan melakukan pemeriksaan neurologis untuk menilai fungsi motorik pasien. Pemeriksaan ini meliputi pemeriksaan refleks, tonus otot, koordinasi, dan keseimbangan. Diagnosis penyakit Parkinson terutama bergantung pada adanya gejala-gejala utama yang meliputi tremor saat istirahat,

kekakuan, bradikinesia, dan ketidakstabilan postural. Diagnosis seringkali bersifat klinis, dengan respons terhadap obat-obatan Parkinson seperti levodopa yang mengonfirmasi diagnosis. Jika pasien menunjukkan perbaikan yang signifikan dengan obat-obatan ini, hal tersebut mendukung penilaian adanya penyakit Parkinson. Penting untuk diingat bahwa diagnosis definitif mungkin membutuhkan waktu, karena penyakit ini berkembang secara perlahan, dan gejalanya dapat berkembang. Diagnosis dini dan akurat sangat penting untuk mengelola penyakit Parkinson dan meningkatkan kualitas hidup.

Tremor merupakan salah satu manifestasi motorik paling dominan pada penyakit Parkinson dan telah diamati pada 75% pasien. Lebih lanjut, tremor dapat bermanifestasi sebagai gejala motorik utama dan paling mengganggu. Biasanya, tremor ini bermanifestasi di tangan dan sering ditandai sebagai gerakan ritmis maju mundur yang menyerupai gerakan menggelindingkan benda kecil di antara jari-jari atau sebagai gerakan memutar lengan bawah secara terus-menerus (supinasi dan pronasi). Tremor ini dapat secara signifikan mengganggu aktivitas sehari-hari yang menuntut kontrol motorik halus yang presisi seperti berpakaian, menulis, mengemudi, dan berbagai tugas lainnya. Pada tahap awal penyakit, tremor cenderung dimulai pada satu sisi tubuh, menunjukkan pola asimetris. Namun, seiring perkembangan kondisi, kedua sisi tubuh pada akhirnya dapat terpengaruh.

Dengan deteksi dini, tenaga kesehatan profesional dapat menawarkan intervensi terapeutik atau memanfaatkan stimulasi otak dalam yang bertujuan untuk menstimulasi neuron penghasil dopamin di otak pasien, yang pada akhirnya menghambat perkembangan penyakit Parkinson. Meskipun penyakit Parkinson sangat kompleks, belum ada obatnya saat ini. Namun demikian, identifikasi dini, disertai pengobatan yang tepat, berpotensi meringankan tremor dan masalah keseimbangan pada pasien, sehingga memungkinkan mereka menjalani kehidupan yang teratur dan memuaskan. Deteksi dini penyakit neurodegeneratif tidak hanya membantu menunda risiko perkembangan penyakit, tetapi juga secara signifikan meningkatkan kualitas hidup penderita Parkinson.

Pembelajaran mesin (ML), bagian dari kecerdasan buatan, bertujuan untuk menciptakan model dan algoritma statistik yang memungkinkan sistem komputer berkinerja lebih baik dalam menyelesaikan tugas dengan belajar dari data dan pengalaman, tanpa perlu diprogram secara eksplisit. Pada dasarnya, pembelajaran mesin memungkinkan komputer untuk belajar dari data dan meramalkan, mengkategorikan, atau memutuskan, berdasarkan pola dan wawasan dari data tersebut. Saat ini, pembelajaran mesin merupakan salah satu bidang penelitian terpenting di dunia, yang menarik pendanaan dan minat untuk terus dikembangkan. Pemanfaatan lain dari pembelajaran mesin melibatkan sistem pendukung keputusan berbantuan komputer, yaitu aplikasi komputer yang dirancang untuk membantu tenaga kesehatan profesional dalam membuat keputusan diagnostik dan pengobatan untuk perawatan pasien.

Kemajuan teknologi dan penggabungan kecerdasan buatan dan pembelajaran mesin ke dalam teknologi perangkat yang dapat dikenakan telah menghasilkan peningkatan yang luar biasa dalam pengelolaan kesehatan dan kesejahteraan. Perangkat ini dapat memantau pergerakan seseorang secara terus-menerus dan mengidentifikasi pola yang memungkinkan

para ilmuwan menganalisis data secara lebih efisien dan memberikan wawasan yang dipersonalisasi bagi pengguna. Beberapa perangkat menggunakan akselerometer dan giroskop untuk melacak gerakan dan memberikan wawasan waktu nyata (real-time) tentang pergerakan pasien, termasuk tremor, bradikinesia, dan diskinesia. Menurut para ahli, perubahan pola gerakan ini dapat menjadi indikasi gejala penyakit Parkinson.

Dalam teknologi kesehatan, banyak usaha penelitian memanfaatkan potensi sensor yang dapat dikenakan, Internet of Things, dan pembelajaran mendalam untuk menjawab tantangan medis yang beragam dari lanskap dinamis saat ini. Studi-studi ini telah menyelidiki berbagai bidang kesehatan, menunjukkan kegunaan dan dampak dari teknologi ini. Beberapa peneliti telah berfokus pada penyelesaian masalah kritis seperti deteksi jatuh lansia menggunakan kecerdasan buatan dan Internet of Things untuk pemantauan waktu nyata. Metode inovatif lainnya seperti mengukur kecepatan sudut lengan atas, yang sangat penting untuk menilai gangguan muskuloskeletal, juga telah muncul. Meningkatnya penggunaan jam tangan pintar dan teknologi yang dapat dikenakan lainnya dalam perawatan kesehatan telah memungkinkan fungsi-fungsi seperti pemantauan jantung dan auskultasi digital melalui aplikasi telepon pintar, yang menyoroti meningkatnya peran perangkat konsumen dalam perawatan medis. Sensor yang dapat dikenakan telah memainkan peran penting dalam pemantauan perawatan kesehatan, mendorong pengembangan stetoskop yang terhubung dengan telepon pintar dan instrumen ultrasonografi. Sensor-sensor ini juga telah memajukan pengenalan aktivitas manusia secara real-time, khususnya dalam deteksi jatuh biner dan pengenalan aktivitas multi-kategori, dan bahkan telah menemukan aplikasi dalam pengenalan karakter tulisan tangan. Integrasi sensor yang dapat dikenakan meluas ke berbagai domain medis, termasuk pengukuran tremor esensial, pengenalan aktivitas perawatan kesehatan fisik, dan manajemen penyakit Parkinson. Jaringan sensor gaya berjalan telah dikembangkan, dan pelacakan gerakan manusia berbasis non-visi telah dimasukkan ke dalam arsitektur kecerdasan ambien untuk rehabilitasi rumah dan bantuan lansia, yang secara signifikan memperluas cakrawala teknologi perawatan kesehatan. Pembelajaran mesin telah mengambil peran penting dalam lanskap transformatif ini, dengan aplikasi yang mencakup klasifikasi kejadian gaya berjalan dan penemuan kejadian gaya berjalan beku pada pasien dengan penyakit Parkinson. Akselerometer yang dikenakan di pergelangan tangan telah menunjukkan janji substansial untuk identifikasi dini penyakit Parkinson, dan teknik klasifikasi yang kuat telah dirancang untuk memisahkan pasien dari kontrol yang sehat. Lebih lanjut, metode analisis gaya berjalan ambulatori praktis telah diusulkan, yang menjelaskan dampak stimulasi otak dalam. Lebih lanjut, model prediktif untuk penyakit Parkinson yang terkait dengan disfungsi kognitif ringan dan pendekatan diagnostik berbantuan komputer telah meningkatkan diagnosis secara signifikan. Model pembelajaran mesin secara konsisten menunjukkan akurasi diagnostik yang sangat baik dalam membedakan penyakit Parkinson dari kontrol gerakan sehat, yang mencakup beragam modalitas data. Pengembangan model prediktif untuk mendeteksi gangguan neurodegeneratif seperti penyakit Parkinson, terutama pada pasien dengan gangguan motorik, memberikan harapan untuk meningkatkan diagnosis dan intervensi dini. Bersama-sama, upaya ini menyoroti kekuatan dan keuntungan penggunaan sensor yang dapat

dikenakan, IoT, dan pembelajaran mendalam dalam teknologi layanan kesehatan karena menyediakan berbagai pendekatan untuk mengatasi berbagai tantangan medis.

Penerapan pembelajaran mesin untuk mengidentifikasi penyakit Parkinson sejak dini disorot dalam bab ini. Dalam studi kami, kami menggunakan pengukuran analisis gaya berjalan dari 1.000 individu, yang setengahnya terkonfirmasi menderita Parkinson. Kami kemudian menerapkan pengklasifikasi hutan acak untuk mendeteksi penyakit Parkinson tahap awal. Setelah pemrosesan data dan analisis awal, termasuk normalisasi dan pemilihan fitur, pelatihan model dilakukan pada 70% set data dan diuji pada 30% sisanya. Model kami mencapai metrik kinerja yang mengesankan dengan akurasi 93%, sensitivitas 91%, dan spesifisitas 95%. Dibandingkan dengan metode diagnostik konvensional, pendekatan pembelajaran mesin kami mengurangi waktu diagnosis awal hingga 60% dan meningkatkan tingkat deteksi dini hingga 15%. Dengan berbagai hasil ini, kami berharap dapat mendorong integrasi pembelajaran mesin dalam telemedis dan memberikan harapan baru bagi pasien penyakit Parkinson.

4.2 AKSELEROMETER DAN GIROSKOP UNTUK MENDETEKSI TREMOR

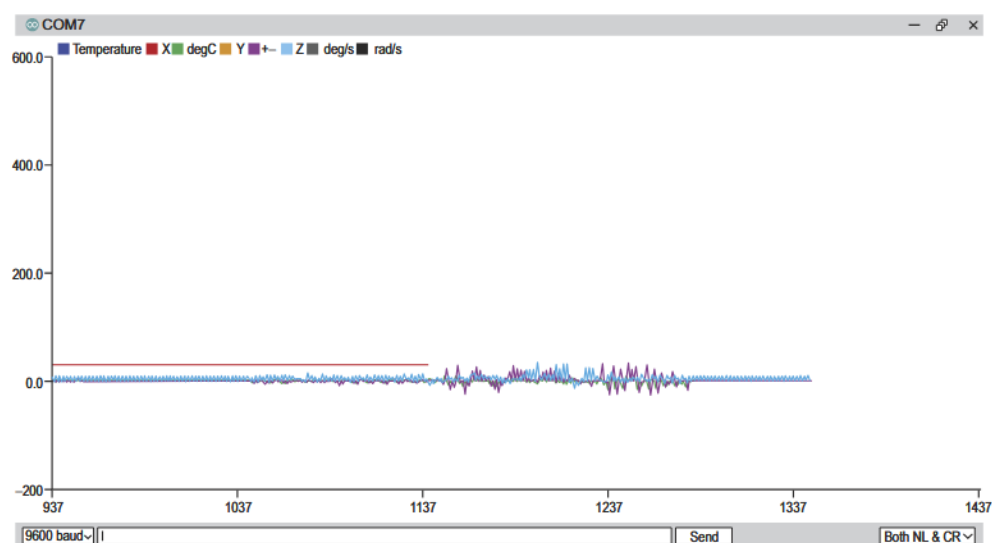
Akselerometer dan giroskop berguna untuk mendeteksi gerakan dan melacak gaya berjalan. Akselerometer mengukur perubahan kecepatan dan membantu memantau gerakan linear, sehingga menjadikannya berharga dalam analisis gaya berjalan. Akselerometer mengukur percepatan linear, seperti getaran, dan dapat mendeteksi kemiringan, getaran, atau guncangan. Penggunaannya yang umum dalam aplikasi layanan kesehatan melalui perangkat yang dapat dikenakan (wearable) melacak pergerakan individu, terutama untuk mendeteksi pola berjalan. Beberapa kasus penggunaan akselerometer lainnya dapat ditemukan pada kendaraan atau drone di mana akselerometer mempertahankan arahnya saat mengemudi atau terbang dan memicu mekanisme keselamatan seperti kantung udara saat mengalami guncangan. Di sisi lain, giroskop mengukur kecepatan sudut, atau laju rotasi, dan dapat menentukan fluktuasi orientasi objek. Dalam analisis gaya berjalan, akselerometer mendeteksi perubahan orientasi segmen tubuh selama berjalan, memberikan wawasan tentang kualitas gerakan, keseimbangan, dan stabilitas. Selain itu, giroskop digunakan dalam industri untuk membangun mekanisme navigasi, seperti kompas pada wahana udara atau kapal besar, dan dalam teknologi canggih untuk pengendalian berbasis gestur. Dalam studi yang kami usulkan, kami yakin bahwa pemahaman komprehensif tentang gaya berjalan seseorang dapat diperoleh dengan menggabungkan data dari kedua sensor, yang terbukti bermanfaat dalam pengaturan layanan kesehatan dan rehabilitasi untuk menilai dan memantau kondisi seperti penyakit Parkinson atau mengevaluasi efektivitas terapi fisik. Sensor-sensor ini telah memajukan bidang analisis gaya berjalan secara signifikan, meningkatkan kemampuan kita untuk mendiagnosis gangguan gerakan dan memperbaiki cara individu bergerak.

Persyaratan Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Sensor Akselerometer Giroskop MPU-6050: MPU-6050 adalah unit pengukuran inersia (IMU) yang menggabungkan akselerometer dengan giroskop tiga sumbu. Giroskop tiga sumbu digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi, sementara akselerometer membantu

menghitung percepatan gravitasi. Sensor ini juga digunakan untuk mengukur suhu. Untuk menavigasi orientasi objek yang bergerak, serta untuk tujuan penelitian ini, kami yakin sensor ini akan sangat cocok. Dalam konteks penelitian ini, percepatan diukur pada sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z; ketiga dimensi ini akan disebut sebagai `accel_x` (yaitu, sumbu X), `accel_y` (yaitu, sumbu Y), dan `accel_z` (yaitu, sumbu Z). Lebih lanjut, perlu dicatat bahwa untuk objek diam, percepatan yang diukur sepanjang sumbu Z (yaitu, `accel_z`) idealnya sama dengan gaya gravitasi, dan bernilai nol pada sumbu X (yaitu, `accel_x`) dan sumbu Y (yaitu, `accel_y`). Penting untuk digarisbawahi bahwa laju rotasi diukur oleh giroskop dalam radian per detik (rad/s). Kita dapat mengamati perubahan posisi sudut pada sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dalam teks berikut (sebut saja ketiga dimensi ini: `rotasi_x`, `rotasi_y`, dan `rotasi_z`).

Arduino IDE: Perangkat lunak Arduino Integrated Development Environment (IDE) digunakan untuk menghubungkan perangkat keras Arduino guna mengunggah dan berinteraksi dengan program. IDE ini dilengkapi kotak pesan, editor kode untuk menulis kode, bilah alat dengan tombol untuk tugas-tugas umum, konsol teks, dan berbagai menu lainnya. Kami menggunakan beberapa pustaka yang diperlukan untuk bekerja dengan sensor MPU-6050. Pustaka-pustaka ini meliputi `Adafruit_MPU6050`, `Adafruit_Sensor`, dan `Wire`, dan semuanya menyediakan fungsi dan definisi yang diperlukan untuk komunikasi sensor.



Gambar 4.1 Representasi Grafis Variasi Suhu Selama Penggunaan Sensor MPU-6050.

Menyelidiki Berbagai Model Pembelajaran Mesin

Karena studi kami mengusulkan analisis data gaya berjalan untuk membedakan antara gerakan normal dan abnormal, terutama untuk mengidentifikasi kondisi seperti penyakit Parkinson, memahami bagaimana pola gaya berjalan diklasifikasikan menjadi penting. Analisis gaya berjalan memungkinkan kita untuk menangkap perbedaan halus dalam gerakan yang dapat mengindikasikan adanya gangguan neurologis. Kemampuan untuk mengidentifikasi pola-pola ini sangat penting dalam membuat diagnosis dini dan memberikan penilaian yang

akurat tentang tingkat keparahan kondisi seperti Parkinson. Oleh karena itu, fokus studi ini terutama pada penilaian berbagai model pembelajaran mesin untuk mengidentifikasi model yang paling efektif dalam menganalisis data gaya berjalan yang dikumpulkan dari teknologi sensor perangkat yang dapat dikenakan.

Data gaya berjalan dalam konteks ini biasanya dikumpulkan melalui akselerometer dan giroskop yang tertanam dalam perangkat yang dapat dikenakan. Sensor-sensor ini menangkap data gerakan yang detail, memberikan wawasan tentang pola berjalan pengguna, termasuk parameter seperti panjang langkah, irama, dan kecepatan gerakan. Namun, salah satu kendala dalam pengumpulan data gaya berjalan adalah data mentah mungkin mengandung artefak, yang dapat muncul akibat ketidakakuratan sensor, ketidaksejajaran, atau bahkan inkonsistensi pergerakan pengguna selama proses pengumpulan data. Artefak ini, jika tidak ditangani dengan benar, dapat mendistorsi data dan menyebabkan perhitungan model yang tidak akurat. Oleh karena itu, model pembelajaran mesin harus cukup tangguh untuk memproses data yang tidak lengkap dan menangani outlier secara efektif—nilai yang tidak biasa atau ekstrem yang mungkin muncul akibat artefak ini.

Untuk mengatasi tantangan ini, kami mengevaluasi lima model pembelajaran mesin yang banyak digunakan, yang masing-masing memiliki kekuatan dan kelemahan tersendiri ketika diterapkan pada analisis gaya berjalan:

Mesin Vektor Pendukung (SVM): Peta SVM mentransformasikan data ke dalam ruang fitur berdimensi tinggi dan mengklasifikasikan titik-titik data dengan menemukan hiperbidang optimal. Peta ini juga mengidentifikasi hubungan nonlinier dengan menggunakan fungsi kernel (misalnya, kernel fungsi basis linear dan radial). Model ini juga menangkap pola-pola halus selama analisis gaya berjalan.

- Keunggulan SVM: Berfungsi baik dengan dataset berdimensi tinggi dan efektif untuk tugas klasifikasi biner seperti membedakan gaya berjalan sehat dari gaya berjalan Parkinson.
- Tantangan yang Dihadapi: Model ini sangat sensitif terhadap outlier dan dapat membutuhkan komputasi yang berat.
- Dalam cakupan studi ini, karena keterbatasan sumber daya (secara komputasi) dan dataset yang relatif kecil, model SVM terbukti tidak berguna karena sensitivitasnya terhadap outlier.

Jaringan Syaraf Tiruan (JST): Jaringan syaraf tiruan adalah teknologi yang paling mirip dengan otak manusia yang telah dikembangkan. Terdiri dari banyak simpul yang saling terhubung (seperti neuron), jaringan ini menggunakan fungsi aktivasi untuk memproses data melalui beberapa lapisan, yang terdiri dari lapisan masukan, tersembunyi, dan keluaran. Hal ini memungkinkan JST untuk memodelkan hubungan nonlinier kompleks yang dapat sangat berguna dalam menganalisis data gaya berjalan yang tidak konsisten atau tidak teratur.

- Keunggulan JST: Model ini sangat dinamis dan dapat menangkap pola nonlinier yang rumit. Metode ini sebagian besar digunakan untuk kumpulan data besar yang memiliki hubungan rumit antara banyak fitur.

- Tantangan yang Dihadapi: ANN rentan terhadap overfitting jika kumpulan data kecil atau tidak terregulasi. ANN juga membutuhkan sumber daya komputasi yang signifikan dan penyetelan hiperparameter yang tepat untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.
- Dalam lingkup studi ini, karena keterbatasan sumber daya (secara komputasi) dan kumpulan data yang relatif kecil, model ANN terbukti tidak efektif karena kemungkinan terjadinya overfitting pada data.

Pohon Keputusan: Pohon keputusan memprediksi hasil dengan membagi data berdasarkan nilai atribut. Pada setiap simpul pohon keputusan, algoritma mengevaluasi semua kemungkinan pemisahan dan memilih salah satu yang paling baik dalam memisahkan data. Model ini mudah diimplementasikan dan seringkali berfungsi dengan baik, baik untuk data kontinu maupun kategorikal.

- Keunggulan Pohon Keputusan: Model ini melakukan analisis komprehensif dengan mempertimbangkan semua kemungkinan hasil dari suatu keputusan dan mengidentifikasi simpul keputusan yang memerlukan analisis lebih lanjut. Model ini mudah diinterpretasikan dan dapat diterapkan pada berbagai macam permasalahan.
- Tantangan yang Dihadapi: Rawan terjadinya overfitting jika pohon keputusan tumbuh terlalu dalam atau ketika dataset terlalu bising. Kualitas prapemrosesan data harus sangat tinggi untuk mengatasi hal ini.
- Untuk studi kami, pohon keputusan saja tidak cukup, karena ketika menangani data waktu nyata, kami tidak dapat mengambil risiko menggunakan model yang tidak stabil terhadap perubahan apa pun dalam dataset dan rentan terhadap overfitting.

K-Nearest Neighbors (KNN): Algoritma KNN menentukan kemungkinan data uji termasuk dalam kelas yang berbeda dengan menganalisis "K" titik data pelatihan terdekat. Kelas dengan probabilitas tertinggi dipilih untuk menjadi data uji.

- Keunggulan KNN: Algoritma ini efisien untuk dataset kecil dan terstruktur serta membutuhkan upaya minimal selama pelatihan.
- Tantangan yang Dihadapi: Biaya komputasi yang tinggi untuk dataset besar dan sensitivitas terhadap fitur dan noise yang tidak relevan.
- KNN merupakan pilihan yang baik untuk memilih model pembelajaran mesin dalam studi kami, karena model ini bekerja dengan baik dengan dataset yang terbatas. Satu-satunya keterbatasan model ini adalah ketidakmampuannya untuk menangani data noise dengan baik, tetapi hal tersebut dapat diatasi dengan prapemrosesan yang cermat.

Pengklasifikasi Hutan Acak: Ini adalah ansambel beberapa pohon keputusan, yang digabungkan untuk mencapai kesimpulan dalam masalah klasifikasi di mana setiap pohon memberikan suara pada suatu klasifikasi dan keputusan akhir ditentukan oleh mayoritas. Dalam studi kami, model hutan acak akan mampu menggabungkan beberapa fitur gaya berjalan seperti akselerasi dan rotasi untuk meningkatkan akurasi prediksi dan mengurangi bias.

- Keunggulan Random Forest: Algoritme ini mengurangi overfitting dengan merata-ratakan hasil dari beberapa pohon dan tangguh terhadap data yang berisik dan outlier. Algoritme ini bekerja dengan baik dengan set data kecil maupun besar.
- Tantangan yang Dihadapi: Secara komputasional lebih mahal daripada algoritma pohon keputusan tunggal karena konstruksinya yang terdiri dari beberapa pohon.

Setelah evaluasi dan perbandingan menyeluruh berbagai model pembelajaran mesin, kami menyimpulkan bahwa pengklasifikasi Random Forest adalah model yang sesuai untuk penelitian yang kami usulkan dalam analisis gaya berjalan. Kesimpulan ini didasarkan pada beberapa karakteristik utama algoritma Random Forest, yang membuatnya sangat efektif untuk memproses data gaya berjalan yang kompleks, berisik, dan tidak lengkap yang sering dikumpulkan dari teknologi sensor yang dapat dikenakan.

Dalam konteks analisis gaya berjalan, data sensor dunia nyata seringkali rentan terhadap ketidakakuratan, ketidaksejajaran, atau inkonsistensi yang disebabkan oleh faktor-faktor seperti artefak gerakan, penempatan sensor, dan kondisi lingkungan. Ketidaktepatan ini dapat menyebabkan pembacaan yang salah atau outlier dalam set data yang diberikan. Pengklasifikasi hutan acak unggul dalam menangani tantangan tersebut karena kemampuannya untuk mengagregasi prediksi atau hasil dari beberapa pohon keputusan, yang mengurangi pengaruh derau atau ketidakakuratan dalam data. Mengurangi overfitting merupakan keunggulan utama lain dari hutan acak, yang merupakan isu populer dalam banyak model pembelajaran mesin, terutama dengan pohon keputusan. Pohon keputusan individual dapat dengan mudah mengalami overfitting dengan data pelatihan, terutama jika datanya derau atau pohonnya terlalu dalam. Keragaman di antara pohon-pohon ini membantu mengurangi hal tersebut dan memastikan bahwa algoritma tidak menjadi terlalu kompleks atau sensitif terhadap derau dalam data pelatihan. Lebih lanjut, sifat ansambel hutan acak meningkatkan generalisasi model, dengan setiap pohon dilatih pada bagian data acak yang memastikan bahwa model cenderung tidak menghafal pola tertentu dalam set pelatihan, memungkinkannya beradaptasi lebih baik terhadap data baru yang belum pernah ditemui sebelumnya. Hal ini sangat penting dalam kasus kami, karena data gaya berjalan dapat bervariasi secara signifikan di berbagai lingkungan, populasi pasien, atau bahkan dalam satu individu seiring waktu.

4.3 ARSITEKTUR PERMODELAN RANDOM FOREST

Pengklasifikasi hutan acak adalah algoritma pembelajaran mesin yang diklasifikasikan sebagai pembelajaran ensemble. Algoritma ini digunakan untuk tugas klasifikasi dan regresi pembelajaran mesin. Konsep dasar hutan acak adalah pembentukan ensemble atau sekelompok pohon keputusan, di mana setiap pohon keputusan membantu prediksi secara keseluruhan. Pendekatan ensemble ini meningkatkan akurasi dan ketahanan prediktif model.

Banyak pohon keputusan membentuk hutan acak. Subset acak dari data pelatihan (bootstrapping) dan subset acak dari fitur (feature bagging) dipilih untuk membentuk setiap pohon keputusan. Hal ini menimbulkan keragaman di antara pohon-pohon tersebut. Dalam konteks penelitian ini, pengklasifikasi hutan acak digunakan untuk klasifikasi. Setiap pohon

keputusan dalam hutan memprediksi variabel target (status penyakit Parkinson) untuk serangkaian fitur masukan tertentu (data akselerasi dan rotasi).

Untuk membuat prediksi akhir, hutan acak menggabungkan prediksi individual dari setiap pohon keputusan. Dalam tugas klasifikasi, model ini sering menggunakan mekanisme suara mayoritas, di mana prediksi akhir dipilih sebagai kelas yang mendapatkan suara terbanyak di semua pohon. Mengenai tugas regresi, model ini dapat menggunakan rata-rata. Sifat ansambel hutan acak juga mengurangi overfitting. Dengan menggabungkan prediksi dari beberapa pohon, model ini digeneralisasi lebih baik ke data baru yang tidak diketahui dan lebih kecil kemungkinannya untuk overfitting karena menghafal set pelatihan.

Skor untuk relevansi fitur juga dapat diperoleh menggunakan hutan acak. Signifikansi setiap atribut masukan untuk menghasilkan prediksi ditunjukkan oleh skor ini. Keputusan yang dibuat oleh model lebih dipengaruhi secara signifikan oleh fitur dengan skor signifikansi yang lebih tinggi.

Dalam konteks penelitian yang dijelaskan dalam Bab ini, pengklasifikasi hutan acak digunakan untuk membedakan antara orang dengan dan tanpa penyakit Parkinson menggunakan data akselerometer dan rotasi sintetis. Langkah-langkah yang terlibat dalam penerapannya disebutkan dalam teks berikut.

Akuisisi Data

Kumpulan Data Primer: Kumpulan data primer, "synthetic_acceleration_rotation_data_final.csv," dikumpulkan dalam lingkungan yang terkendali. Kumpulan data ini berisi data sintetis tentang akselerasi (dalam tiga dimensi: accel_x, accel_y, dan accel_z) dan rotasi (dalam tiga dimensi: rotation_x, rotation_y, dan rotation_z). Setiap entri data dipasangkan dengan label yang menunjukkan apakah individu tersebut menderita penyakit Parkinson ("Dengan Parkinson") atau tidak ("Tanpa Parkinson"). Kumpulan data berlabel ini cocok untuk pembelajaran terawasi.

Kumpulan Data Sekunder: Selain kumpulan data primer, studi ini juga menyebutkan akuisisi kumpulan data sekunder, "synthetic_data_without_parkinson.csv." Kumpulan data ini dimaksudkan untuk digunakan dalam analisis tambahan, berpotensi untuk mengukur seberapa baik kinerja model dengan data baru yang belum diuji. Dalam pembelajaran mesin, biasanya digunakan kumpulan data sekunder untuk validasi guna menjamin bahwa model akan tergeneralisasi ke berbagai kumpulan data.

Dataset kami awalnya terdiri dari 15.000 entri, dengan distribusi 70% untuk pelatihan (10.500 entri) dan 30% untuk pengujian (4.500 entri). Setelah proses pembersihan data menyeluruh untuk menghilangkan data yang mengandung noise, kami mempertahankan 94% entri awal, sehingga menghasilkan dataset akhir sebanyak 14.100 entri. Dataset pelatihan terdiri dari 3.780 entri (36% dari 10.500) individu yang didiagnosis dengan penyakit Parkinson dan 3.570 entri (34% dari 10.500) individu tanpa Parkinson. Dalam dataset pengujian, kami memiliki 585 entri (13% dari 4.500) untuk mereka yang menderita Parkinson dan 405 entri (9% dari 4.500) untuk mereka yang tidak menderita Parkinson. Dataset kami kaya akan tujuh atribut yang merinci rotasi dan akselerasi di sepanjang semua sumbu, dengan semua nilai berkisar antara -9 dan +8. Dalam komitmen kami terhadap kualitas data, kami telah

menyempurnakan nilai-nilai ini untuk mempertahankan hanya maksimal empat tempat desimal di bagian pecahan, memastikan presisi dan konsistensi di seluruh dataset kami.

Pra-pemrosesan Data

Pra-pemrosesan data merupakan langkah penting dalam membuat dataset kompatibel dengan pelatihan model. Di sini, data dibagi menjadi dua komponen:

Fitur (X): Termasuk titik data akselerasi dan rotasi. Ini adalah variabel yang digunakan model untuk membuat prediksi. Fitur-fitur ini memberikan informasi tentang gerakan dan orientasi yang ditangkap oleh sensor.

Variabel Target (Y): Variabel target merepresentasikan status penyakit Parkinson. Variabel ini berisi label yang coba diprediksi oleh model—apakah seseorang menderita Parkinson atau tidak. Variabel target adalah apa yang dilatih model untuk diprediksi dalam algoritma pembelajaran mesin.

Pemisahan Data

Untuk penilaian performa model yang andal, set data primer dibagi menjadi dua subset:

Set Pelatihan (70%): Subset data ini digunakan untuk melatih model pembelajaran mesin. Model mengambil pola dan hubungan antar variabel dari bagian data ini.

Set Pengujian (30%): Set data yang tersisa dipisahkan dan digunakan untuk menilai seberapa baik model yang telah dilatih diterapkan pada data baru yang belum diuji.

Pelatihan Model

Untuk melatih model, pengklasifikasi hutan acak digunakan. Metode pembelajaran ensemble yang populer, yang disebut hutan acak, membuat beberapa pohon keputusan dan kemudian mengagregasi prediksinya untuk memprediksi hasil yang andal dan akurat. Dalam hal ini, 100 pohon keputusan digunakan dalam model hutan acak. Jumlah pohon dipilih secara empiris untuk menyeimbangkan performa model dan biaya komputasi.

Evaluasi Model

Evaluasi model sangat penting untuk menentukan tingkat performa model. Beberapa metrik dan visualisasi digunakan untuk evaluasi komprehensif:

Akurasi: Metrik ini mengukur seberapa sering prediksi model benar. Akurasi adalah rasio prediksi yang benar terhadap keseluruhan prediksi dan memberikan wawasan awal tentang kinerja model.

Laporan Klasifikasi: Laporan ini, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2, menggali lebih dalam dengan menyajikan presisi (mengukur ketepatan prediksi positif), recall (menunjukkan kelengkapan prediksi positif), dan skor F1 (rata-rata harmonis presisi dan recall).

	precision	recall	f1-score	support
Without Parkinson	0.93	0.92	0.92	7285
With Parkinson	0.91	0.92	0.92	6590
accuracy			0.92	13875
macro avg	0.92	0.92	0.92	13875
weighted avg	0.92	0.92	0.92	13875

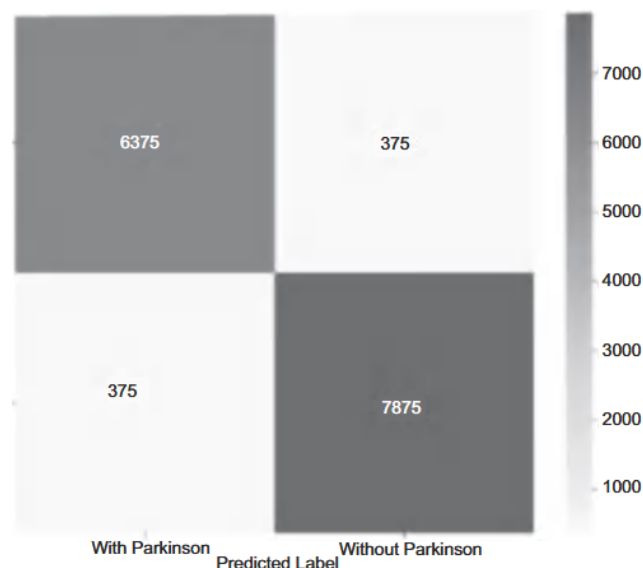
Gambar 4.2 Laporan Akurasi Dan Klasifikasi.

Presisi: Metrik ini mengukur kualitas prediksi positif model. Presisi adalah rasio positif benar (TP) terhadap jumlah total kasus yang diprediksi menderita penyakit Parkinson (baik positif benar maupun positif salah).

Recall (Sensitivitas): Recall merepresentasikan rasio positif sejati terhadap jumlah total kasus penyakit Parkinson yang sebenarnya. Rasio ini mengukur kemampuan model untuk menangkap sebagian besar kasus positif (Parkinson) dengan tepat.

Skor F1: Skor F1 adalah rata-rata harmonis dari presisi dan recall, yang menawarkan keseimbangan antara kedua metrik ini. Dalam konteks deteksi penyakit Parkinson, skor F1 yang tinggi menunjukkan model yang menyeimbangkan kemampuan untuk mengidentifikasi kasus Parkinson secara akurat (presisi tinggi) dan kemampuan untuk menangkap sebagian besar kasus Parkinson yang sebenarnya (recall tinggi).

Matriks Kebingungan: Secara visual merepresentasikan efektivitas model dalam hal positif sejati, negatif sejati (TN), positif palsu (FP), dan negatif palsu (FN) dalam bentuk matriks seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



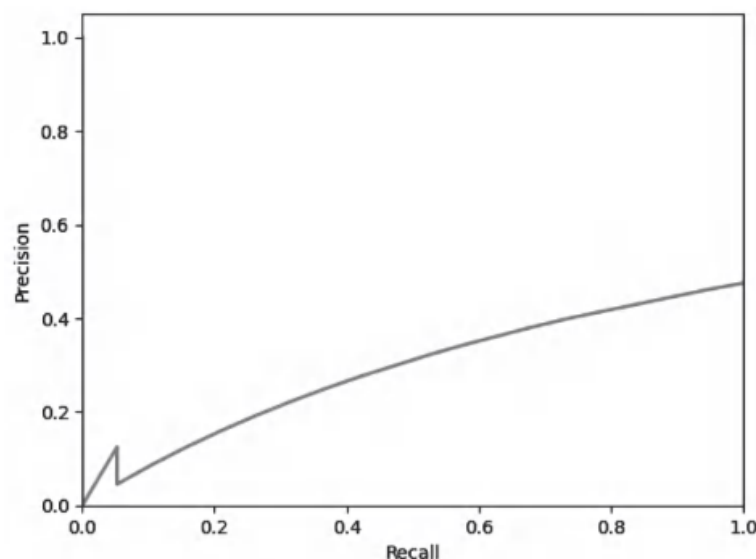
Gambar 4.3 Matriks Konfusi.

Kurva Presisi-Recall: Mengkaji hubungan antara recall (sensitivitas) dan presisi (nilai prediktif positif) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.

Kinerja model dapat dipahami dengan bantuan visualisasi dan metrik evaluasi ini.

Aplikasi Model pada Data Tak Terlihat

Pada langkah ini, kami menerapkan model pembelajaran mesin hutan acak yang telah dilatih pada 70% dataset (dataset pelatihan) pada awalnya ke 30% dataset yang tersisa (dataset pengujian). Setelah membuat prediksi, kelas mayoritas diidentifikasi, yang memberikan wawasan tentang efektivitas model pada data tak teramati. Langkah ini penting untuk dilakukan karena diperlukan untuk memahami efikasi dan validitas model dalam situasi dunia nyata. Lebih lanjut, hal ini memberikan kesempatan untuk mengumpulkan bukti empiris yang diperlukan untuk menyempurnakan model.



Gambar 4.4 Kurva Presisi-Ingat.

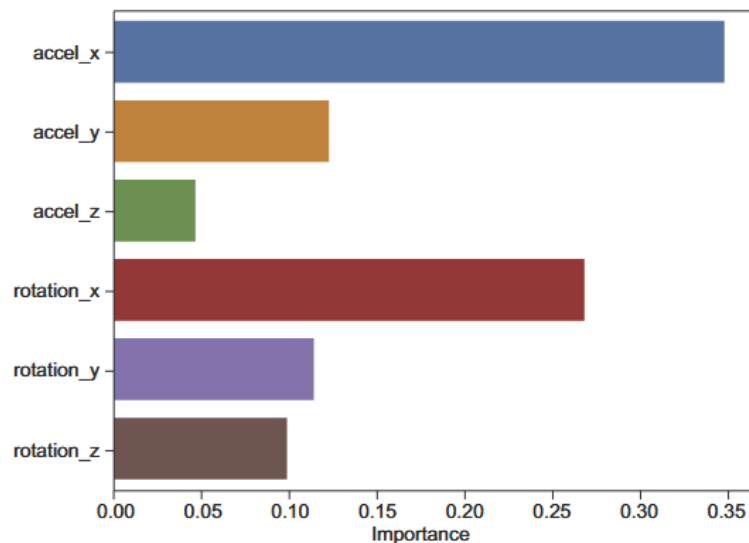
Analisis Kepentingan Fitur

Memahami fitur mana yang memiliki pengaruh besar terhadap prediksi model sangat penting untuk menginterpretasikan pengambilan keputusan model. Langkah ini meninjau signifikansi setiap fitur dalam hal kontribusinya terhadap prediksi model dan hubungannya dengan variabel target seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Analisis kepentingan fitur meningkatkan interpretabilitas model prediktif dan memberikan wawasan untuk pengumpulan data lebih lanjut dan rekayasa fitur.

4.4 HASIL PERMODELAN KLASIFIKASI PENYAKIT PARKINSON

Analisis karya yang diusulkan dan temuan utama disajikan dan diperiksa, dengan penekanan pada data rotasi, akselerasi, dan suhu yang dikumpulkan selama periode pemantauan. Pembacaan akselerasi di semua sumbu menunjukkan berbagai tingkat fluktuasi, dengan pola yang menunjukkan potensi korelasi dengan gejala penyakit Parkinson, seperti tremor, bradikinesia, atau rigiditas. Demikian pula, data rotasi menunjukkan variasi minor dan signifikan, yang berpotensi menunjukkan ketidakstabilan postural dan masalah keseimbangan, yang merupakan gejala motorik khas penyakit ini. Di sisi lain, pembacaan suhu tetap stabil

secara konsisten, menunjukkan perubahan lingkungan atau fisiologis yang minimal selama periode pengamatan.



Gambar 4.5 Analisis Kepentingan Fitur.

Secara keseluruhan, temuan ini memberikan wawasan berharga tentang gangguan motorik dan ketidakaturan gerakan yang menjadi ciri khas penyakit Parkinson, sehingga memberikan dasar untuk evaluasi klinis lebih lanjut dan metode deteksi dini yang potensial.

Temuan (A)

Hasil Akselerasi: Kami mengamati bahwa sumbu X, Y, dan Z memiliki fluktuasi kecil, tetapi terutama minor, pada nilai akselerasi. Sebagai penjelasan, nilai sumbu X berkisar antara $1,03 - 1,04 \text{ m/s}^2$, nilai sumbu Y berkisar antara $-0,16$ hingga $-0,19 \text{ m/s}^2$, dan nilai sumbu Z secara konsisten berada di kisaran $8,56 \text{ m/s}^2$. Kami yakin bahwa hasil ini mungkin sejalan dengan gerakan tak sadar dan tremor, yang merupakan gejala khas pasien penyakit Parkinson. Mengukur gangguan gerakan tersebut penting, karena merupakan indikasi penurunan progresif neuron dopaminergik.

Hasil Rotasi: Hasil studi kami mengamati variasi kecil di sekitar titik yang relatif tetap, dalam data rotasi. Untuk lebih jelasnya, nilai X adalah $-0,04 \text{ rad/s}$ atau $-0,05 \text{ rad/s}$, nilai Y berkisar antara $0,00 \text{ rad/s}$ dan $0,01 \text{ rad/s}$, dan nilai Z adalah $-0,03 \text{ rad/s}$. Kami yakin bahwa nilai-nilai ini dapat mengindikasikan sedikit ketidakstabilan postural atau tremor pada pasien penyakit Parkinson.

Pembacaan Suhu: Suhu stabil, antara $30,69^\circ\text{C}$ dan $30,71^\circ\text{C}$. Ini mungkin suhu tubuh atau suhu lingkungan; signifikansinya bergantung pada konteks pengukuran.

Analisis: Stabilitas suhu baik, menunjukkan tidak ada demam atau perubahan signifikan pada kondisi umum pasien, dengan asumsi itu adalah suhu tubuh.

Konsistensi dalam akselerasi dan rotasi dapat menjadi karakteristik gejala Parkinson spesifik pasien, yang mungkin menunjukkan tremor, bradikinesia, atau rigiditas.

Sensor tersebut mungkin mendeteksi pola gerakan yang sesuai dengan gejala motorik penyakit Parkinson yang diketahui, sehingga mengindikasikan "kemungkinan PD."

Temuan (B)

Hasil Akselerasi: Dari penelitian ini, kami mencatat bahwa nilai akselerasi menunjukkan fluktuasi yang signifikan di sepanjang sumbu X, Y, dan Z. Kami mengamati bahwa nilai akselerasi pada sumbu X bervariasi dari $-3,57 \text{ m/s}^2$ hingga $-1,47 \text{ m/s}^2$, dengan nilai akselerasi pada sumbu Y bervariasi dari $-16,61 \text{ m/s}^2$ hingga $5,61 \text{ m/s}^2$, sedangkan nilai akselerasi pada sumbu Z bervariasi dari $2,85 \text{ m/s}^2$ hingga $12,86 \text{ m/s}^2$. Kami yakin bahwa variasi ini dapat mengindikasikan pola gerakan abnormal (misalnya, tremor, bradikinesia, dan lainnya.), yang merupakan karakteristik umum penyakit Parkinson.

Hasil Rotasi: Pengamatan penelitian ini menemukan beberapa variabilitas dalam laju rotasi di sekitar sumbu X, Y, dan Z. Variasi ini diyakini berkaitan dengan beberapa perubahan, termasuk, namun tidak terbatas pada, postur atau keseimbangan. Ini merupakan aspek krusial lain yang dipengaruhi oleh penyakit Parkinson. Lebih lanjut, kami mengamati bahwa sumbu X memberikan pembacaan dari $-0,92 \text{ rad/s}$ hingga $-0,23 \text{ rad/s}$, sumbu Y dari $-0,15 \text{ rad/s}$ hingga $0,61 \text{ rad/s}$, dan sumbu Z dari $-2,22 \text{ rad/s}$ hingga $2,26 \text{ rad/s}$.

Pembacaan Suhu: Kami mencatat bahwa sebagian besar, suhu yang tercatat konsisten, terutama sekitar $30,57 - 30,59^\circ\text{C}$. Pembacaan ini stabil, yang menunjukkan bahwa kondisi lingkungan atau suhu tubuh (tergantung pada apa yang diukur sensor) tidak menunjukkan perubahan besar selama periode pemantauan.

Interpretasi: Dari hasil tersebut, kami yakin bahwa data akselerasi dan rotasi yang bervariasi menunjukkan bahwa perangkat pemantauan dapat mendeteksi pola gerakan tak sadar yang terkait dengan gejala penyakit Parkinson. Ini termasuk gejala yang menunjukkan tremor, kekakuan, dan kemungkinan ketidakstabilan postural, di antara beberapa gejala lainnya.

Lebih lanjut, kami mencatat bahwa terdapat deteksi berulang atas "kemungkinan PD". Hal ini mungkin menunjukkan bahwa pola-pola ini konsisten dengan gejala umum penyakit Parkinson. Lebih lanjut, hal ini mungkin dapat digunakan dalam evaluasi klinis lebih lanjut sebagai peringatan.

Temuan (C)

Hasil Akselerasi: Data akselerasi menunjukkan variabilitas yang cukup besar di ketiga sumbu. Secara spesifik, sumbu X berkisar antara $-7,64$ hingga $5,45 \text{ m/s}^2$, sumbu Y berfluktuasi secara luas antara $-15,42$ hingga $14,62 \text{ m/s}^2$, dan sumbu Z memiliki nilai yang berkisar antara $-2,75$ hingga $18,07 \text{ m/s}^2$. Fluktuasi yang signifikan ini mungkin merupakan indikasi gerakan yang tidak teratur dan tidak terkendali yang sering dikaitkan dengan penyakit Parkinson, seperti bradikinesia atau tremor.

Hasil Rotasi: Hasil rotasi di sekitar sumbu X, Y, dan Z menunjukkan rentang variabilitas yang luas. Sumbu X bervariasi dari $0,32$ hingga $2,97 \text{ rad/s}$, sumbu Y dari $-2,25$ hingga $1,57 \text{ rad/s}$, dan sumbu Z dari $-4,61$ hingga $2,77 \text{ rad/s}$. Keragaman laju rotasi dapat mencerminkan perubahan postur atau gerakan kompensasi yang umum terjadi pada

penderita penyakit Parkinson, karena mereka mungkin mengalami kesulitan menjaga keseimbangan dan gaya berjalan.

Pembacaan Suhu: Pengukuran suhu tetap sangat stabil, dengan pembacaan yang konsisten mendekati 30,46 – 30,48°C. Konsistensi ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan atau suhu sekitar sensor (dengan asumsi sensor tidak mengukur suhu tubuh) tetap stabil selama periode pengambilan data.

Analisis Kinerja

Akurasi sebesar 0,92 yang membuktikan bahwa model menghasilkan prediksi yang akurat, disertai presisi, recall, dan skor F1 yang tinggi, menegaskan keandalan metodologi. Akurasi yang tinggi menunjukkan bahwa model biasanya akurat dalam situasi di mana ia memprediksi kasus positif. Rasio TP terhadap semua kasus positif nyata (TP + FN) disebut recall. Rasio ini mengukur kemampuan model untuk mengenali setiap kasus positif. Recall yang tinggi menunjukkan bahwa mayoritas kasus positif dapat ditangkap oleh model. Rata-rata harmonik presisi dan recall dikenal sebagai skor F1. Skor ini menawarkan kompromi antara recall dan presisi, terutama dalam situasi di mana salah satu ukuran lebih signifikan daripada yang lain. Skor F1 yang tinggi menunjukkan recall dan presisi yang seimbang.

Matriks kebingungan pada Gambar 4.3 merupakan alat penting untuk menilai kinerja model. Studi ini menekankan pentingnya meminimalkan negatif palsu (kasus yang terlewat) untuk memastikan bahwa individu dengan penyakit Parkinson tidak terlewatkan, bahkan jika beberapa positif palsu (alarm palsu) diterima. Kasus TP, yaitu 6375, menunjukkan situasi di mana model mendeteksi dengan tepat seseorang yang menderita penyakit Parkinson. Hal ini membuktikan kemampuan model untuk mengidentifikasi secara akurat mereka yang benar-benar menderita kondisi tersebut. Kasus TN, yaitu 7875, menunjukkan situasi di mana model mendeteksi dengan tepat seseorang yang sehat sebagai tidak menderita penyakit Parkinson. TN penting untuk memastikan bahwa individu yang sehat tidak diklasifikasikan secara keliru sebagai menderita penyakit tersebut. Kasus FP adalah kasus di mana model secara keliru memprediksi penyakit Parkinson pada orang sehat padahal seharusnya tidak demikian, yaitu 375. Perlu dicatat bahwa ini adalah alarm palsu dan dapat menyebabkan kekhawatiran atau evaluasi medis yang tidak perlu. Kasus FN, yaitu 375, menunjukkan situasi di mana model secara keliru mendeteksi seseorang dengan penyakit Parkinson sebagai tidak menderita penyakit tersebut. FN menyoroti hilangnya peluang untuk deteksi dini dan intervensi. Untuk keperluan studi ini, sangat penting untuk menghindarinya.

Perhatikan bahwa kurva presisi-recall pada Gambar 4.4 digunakan untuk mengukur kinerja model klasifikasi biner, melalui representasi grafis. Ini khususnya digunakan dalam skenario di mana terdapat ketidakseimbangan yang besar antar kelas. Kurva ini menggambarkan bagaimana recall dan presisi dipertukarkan pada berbagai ambang batas klasifikasi. Presisi dan recall adalah dua metrik penting dalam klasifikasi biner, dan kurva presisi-recall memberikan pemahaman tentang bagaimana kinerja model bervariasi saat kita menyesuaikan ambang batas keputusan.

Grafik batang analisis kepentingan fitur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 dalam pengklasifikasi hutan acak merupakan representasi visual dari pentingnya setiap fitur

(variabel input) dalam bagaimana fitur tersebut memengaruhi variabel target dan membuat prediksi dengan model. Grafik ini memberikan informasi mendalam tentang fitur mana yang paling signifikan memengaruhi kinerja keseluruhan model. Skor tersebut relatif satu sama lain dalam konteks model hutan acak tertentu. Oleh karena itu, fitur dengan skor tertinggi (dalam hal ini, *accel_x*) dianggap sebagai fitur terpenting dalam model tersebut. Analisis kepentingan fitur dapat meningkatkan pemahaman perilaku model. Analisis ini membantu menjawab pertanyaan seperti, "Faktor apa saja yang mendorong prediksi model?" Hal ini dapat membantu pemilihan fitur dan pengurangan dimensionalitas. Jika fitur tertentu memiliki skor kepentingan yang sangat rendah, fitur tersebut mungkin menjadi kandidat untuk dihilangkan, yang dapat menyederhanakan model dan berpotensi meningkatkan kinerja. Suhu, misalnya, tidak terbukti sebagai fitur yang berharga dan dikecualikan sebagai parameter.

Data keseluruhan dari pembacaan akselerasi dan rotasi menunjukkan pola kelainan motorik. Fluktuasi akselerasi yang signifikan, terutama pada sumbu Y, dan variabilitas laju rotasi di semua sumbu dapat mencerminkan gejala umum penyakit Parkinson, yang meliputi tremor, ketidakstabilan postural, dan bradikinesia (penurunan kecepatan gerak). Gejala-gejala ini termasuk dalam tanda-tanda motorik kardinal penyakit Parkinson. Karena pembacaan suhu konsisten, hal ini menunjukkan bahwa gejala motorik yang diamati bukan disebabkan oleh faktor lingkungan yang berfluktuasi atau perubahan sistemik akut pada suhu tubuh.

Perlu dicatat bahwa meskipun deteksi gaya berjalan dan gerakan dapat menjadi instrumen yang bermanfaat untuk deteksi dini dan pemantauan penyakit Parkinson, keduanya tidak dapat menggantikan evaluasi klinis sistematis oleh tenaga kesehatan profesional. Telah diamati bahwa diagnosis penyakit Parkinson biasanya dibuat berdasarkan kombinasi beberapa faktor. Faktor-faktor ini meliputi gejala klinis, riwayat medis pasien, dan terkadang studi neuroimaging seperti magnetic resonance imaging (MRI) atau DaTSCAN. Hal ini terutama dilakukan untuk menyingkirkan kemungkinan kondisi lain. Lebih lanjut, kami percaya bahwa analisis gaya berjalan dan gerak harus digunakan sebagai alat pelengkap untuk membantu penilaian dan penanganan penyakit. Dengan demikian, temuan kami dapat digunakan sebagai indikator berharga untuk menguji keberadaan tanda-tanda motorik Parkinson yang dibaca menggunakan teknologi yang dapat dikenakan.

4.5 KESIMPULAN

Melalui bagian-bagian sebelumnya dalam bab ini, kami mengamati bahwa studi kami telah menyoroti potensi praktik pembelajaran mesin dalam deteksi primer penyakit Parkinson menggunakan pengklasifikasi hutan acak dan analisis gaya berjalan. Kami yakin bahwa ini merupakan langkah maju dalam merevolusi diagnostik penyakit Parkinson, terutama melalui akurasi yang dicapai, di samping tingkat spesifisitas dan sensitivitas yang diamati dalam bagian ini. Lebih lanjut, setelah merefleksikan kemajuan yang dicapai pada penelitian ini, kami yakin bahwa terdapat banyak peluang untuk lebih meningkatkan kualitas penelitian dan, akibatnya, menyempurnakan hasilnya. Terdapat juga ruang lingkup yang signifikan untuk memperluas kemungkinan investigasi di masa mendatang. Untuk melanjutkan studi kami, upaya di masa mendatang harus memprioritaskan perluasan kumpulan data untuk merangkum populasi

global yang lebih luas dengan beragam demografi usia dan etnis, yang saat ini berada di luar cakupan penelitian ini. Hal ini tidak hanya akan meningkatkan efikasi prediktif model tetapi juga memperkuat penerapan universalnya dengan membuatnya valid secara eksternal. Lebih lanjut, kami yakin bahwa diversifikasi teknik pembelajaran mesin akan membantu memberikan lebih banyak detail dalam penelitian ini. Hal ini juga dapat membantu integrasi model pembelajaran mendalam, seperti jaringan saraf tiruan atau jaringan saraf konvolusional. Hal ini berpotensi mengungkap pola yang lebih halus dalam data gaya berjalan, yang dapat meningkatkan prediksi dini bagi penderita penyakit Parkinson. Lebih lanjut, untuk mengembangkan kerangka kerja deteksi yang lengkap, kami yakin bahwa pemanfaatan data dari prospek penyakit Parkinson non-motorik berada dalam ranah teknologi perangkat yang dapat dikenakan, khususnya perangkat yang dapat dikenakan yang dirancang untuk analisis gaya berjalan persisten dan tremor. Karena perangkat ini dirancang untuk menawarkan pemantauan 24 jam dan peringatan waktu nyata, kemungkinan untuk mengeksplorasi hal ini dalam konteks penelitian kami sangat menarik dan menyoroti banyak ruang lingkup. Kami yakin bahwa perangkat semacam itu dapat mengubah deteksi penyakit Parkinson secara radikal, menjadikannya lebih proaktif dari sebelumnya, dan terbukti bermanfaat bagi pasien. Namun, penting untuk dicatat bahwa selama kami mengeksplorasi inovasi ini, sangat penting untuk mempertahankan komitmen yang teguh terhadap privasi dan keamanan data pasien. Memastikan protokol enkripsi yang kuat sekaligus menyelaraskan dengan norma-norma layanan kesehatan global merupakan hal yang tidak dapat ditawar selama penelitian ini. Pada akhirnya, ketika kami menggabungkan kesimpulan ini dengan masa depan bidang penelitian ini, jelaslah bahwa interaksi antara pembelajaran mesin, telemedis, dan teknologi yang dapat dikenakan sangat penting bagi masa depan di mana deteksi dini penyakit Parkinson bukan hanya sebuah kemungkinan, melainkan kenyataan yang meluas.

BAB 5

MANAJEMEN PENGOBATAN DAN REHABILITASI BERBASIS AI

5.1 PENDAHULUAN

Sistem layanan kesehatan di seluruh dunia berada pada titik balik, dengan eskalasi biaya yang substansial jauh melampaui pertumbuhan produk domestik bruto (PDB), yang membuatnya tidak berkelanjutan. Realitas ini menjadi sangat jelas dengan krisis global baru-baru ini, khususnya pandemi COVID-19, yang menggarisbawahi kerentanan sistemik dalam sistem layanan kesehatan. Ditambah dengan kendala keuangan yang ketat, populasi yang menua, dan meningkatnya kasus penyakit kronis, sistem layanan kesehatan di seluruh dunia menghadapi tekanan untuk memenuhi permintaan yang terus meningkat dalam hal aksesibilitas dan ketersediaan layanan. Di beberapa negara, pandemi COVID-19 bahkan mencapai titik hampir runtuhnya sistem kesehatan, seperti yang terlihat di India, Brasil, dan Indonesia. Di antara tantangan-tantangan ini, transformasi digital sedang membentuk kembali layanan kesehatan setelah tekanan besar pandemi terhadap infrastruktur global, rantai pasok, dan tenaga kesehatan. Seiring adopsi teknologi digital yang pesat selama pandemi, teknologi digital menjadi bagian dari lanskap layanan kesehatan yang terus berkembang saat ini. Di dunia pascapandemi, permintaan akan partisipasi aktif pasien dalam pengambilan keputusan terkait perawatan mereka semakin meningkat seiring dengan meningkatnya adaptasi sistem perawatan virtual dan inovasi digital. Misalnya, layanan kesehatan jarak jauh dan kesehatan digital menghadirkan perawatan yang berpusat pada pasien melalui layanan kesehatan yang personal dan tersedia, mulai dari kunjungan tindak lanjut rutin hingga pemantauan pasca-keluar.

Kecerdasan Buatan (AI) dalam Layanan Kesehatan 5.0

Integrasi AI dalam layanan kesehatan telah merevolusi pendekatan terhadap perawatan, manajemen, dan luaran pada pasien. Meningkatnya kebutuhan kompleksitas data bagi pasien dan tuntutan layanan kesehatan menciptakan lingkungan di mana solusi AI menjadi alat integral untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi serta meningkatkan personalisasi dalam layanan kesehatan. Di antara berbagai teknologi AI, pembelajaran mesin (ML), pembelajaran mendalam (DL), dan pemrosesan bahasa alami (NLP) sedang menulis ulang layanan kesehatan dengan membantu wawasan berbasis data dengan analisis prediktif dan keputusan otomatis. Penyakit kronis, yang meliputi penyakit kardiovaskular, diabetes, dan gangguan pernapasan, menyebabkan sebagian besar kematian. Oleh karena itu, pendekatan inovatif sangat dibutuhkan dalam manajemen dan perawatan rehabilitasi penyakit dan pengobatan karena kondisi ini merajalela di seluruh dunia. Kemampuan untuk belajar dari kumpulan data besar, ditambah dengan pengenalan pola, memungkinkan AI untuk mendukung model prediktif yang dapat memprediksi diagnosis penyakit, merekomendasikan pengobatan yang tepat untuk individu, atau bahkan merumuskan program rehabilitasi spesifik. AI tidak mengadopsi pendekatan yang berpusat pada dokter dari paradigma layanan kesehatan tradisional, tetapi mengadopsi pendekatan yang berpusat pada data dan pasien,

yang secara signifikan meningkatkan luaran layanan kesehatan. Bab selanjutnya membahas tiga area aplikasi terpenting—manajemen penyakit, manajemen pengobatan, dan perawatan rehabilitasi—dan menunjukkan bagaimana solusi berbasis AI dapat meningkatkan perawatan pasien dibandingkan layanan kesehatan tradisional.

AI dalam Manajemen Penyakit

Aplikasi AI dalam manajemen penyakit berfokus pada analitik prediktif, dukungan diagnostik, dan model perawatan personal untuk meningkatkan diagnostik, menyederhanakan proses perawatan, dan meningkatkan perawatan pasien. Misalnya, algoritma pemrosesan gambar berbasis AI telah mentransformasi metode deteksi kanker untuk mendeteksi anomali mikro dan abnormalitas dalam pencitraan medis, sehingga memungkinkan diagnosis dan perawatan lebih dini. Faktor terpenting dalam memprediksi perkembangan penyakit adalah kontribusi model pembelajaran mesin dalam manajemen penyakit kronis. AI dapat mendeteksi tren yang mungkin mencerminkan awal mula suatu penyakit atau eksaserbasinya dengan menganalisis data pasien longitudinal, termasuk rekam medis klinis, hasil laboratorium, dan faktor gaya hidup.

Model prediktif juga dapat mengevaluasi faktor risiko individu untuk penyakit seperti penyakit jantung dan diabetes, yang memungkinkan intervensi dini untuk menghindari komplikasi. Misalnya, algoritma AI yang dilatih pada rekam medis elektronik (RME) dapat mengidentifikasi pasien yang berisiko tinggi terkena diabetes atau penyakit kardiovaskular, sehingga dapat menerapkan perawatan preventif. Dalam kasus penyakit menular seperti tuberkulosis (TB) dan virus imunodefisiensi manusia (HIV), AI memainkan peran penting dalam diagnosis cepat, pemantauan penyakit, dan perencanaan respons, sehingga meningkatkan upaya pengendalian penyakit. Penelitian menggunakan model prediksi risiko yang dikembangkan berdasarkan studi berbasis AI menemukan bahwa AI memang dapat memprediksi perkembangan TB pada pasien HIV berdasarkan penanda respons imun, sehingga menandakan potensi AI untuk merevolusi manajemen penyakit menular.

Aplikasi AI dalam manajemen penyakit telah sangat menginspirasi pada penyakit kronis karena membutuhkan pemantauan berkelanjutan dan perawatan yang dipersonalisasi. Misalnya, AI membantu memantau kadar glukosa darah secara real-time untuk pasien diabetes, sehingga memfasilitasi pemahaman tentang variabilitas dan menyediakan waktu untuk intervensi dini. Model prediktif yang digerakkan oleh AI membantu memperkirakan tingkat perkembangan penyakit kronis.

Dokter dapat memanfaatkan informasi tersebut untuk mengidentifikasi stadium dan respons pasien terhadap pengobatan dengan potensi untuk meningkatkan kustomisasi rencana perawatan. Ini juga mencakup tantangan terkait kualitas data, interpretabilitas model, dan integrasi sistem. Misalnya, seseorang membutuhkan data standar berkualitas tinggi untuk prediksi yang andal, meskipun umumnya hal ini tidak berlaku untuk data di lingkungan layanan kesehatan, karena data tersebut tidak konsisten karena sumber dan format yang berbeda. Dalam banyak model AI, data ini juga bertindak sebagai "kotak hitam", yang membuat dokter tidak dapat menafsirkan prediksi yang dihasilkan AI. Oleh karena itu, model AI yang dapat

dijelaskan harus dikembangkan untuk meningkatkan kepercayaan dan kegunaan dokter dalam sistem manajemen penyakit berbasis AI.

AI dalam Manajemen Obat

Manajemen obat sangat penting untuk meningkatkan luaran pasien, terutama dengan meningkatkan kepatuhan terhadap pengobatan yang diresepkan dan mengurangi reaksi obat yang tidak diinginkan (ADR). Ketidakpatuhan terhadap rejimen pengobatan sering terjadi, sehingga meningkatkan biaya perawatan kesehatan dan tingkat readmisi rumah sakit, terutama pada pasien kronis. Solusi AI membantu meningkatkan manajemen pengobatan dengan mendukung pengobatan yang dipersonalisasi, memantau kepatuhan, dan memprediksi efek samping. Jumlah obat yang harus dihindari untuk menghindari kekurangan atau kelebihan pengobatan akan ditentukan oleh AI menggunakan analitik prediktif. AI bermanfaat dalam penyakit kompleks, dan juga melibatkan perawatan multiobat, seperti kanker dan HIV/sindrom imunodefisiensi didapat (AIDS).

Misalnya, algoritma pengobatan presisi bergantung pada genetika pasien, riwayat kesehatan, dan variabel lain untuk merekomendasikan obat dan dosis yang paling efektif, sehingga mengurangi risiko ADR. Selain itu, aplikasi seluler dan perangkat wearable berbasis AI memberikan pengingat dan umpan balik langsung kepada pasien, yang membantu mereka mematuhi jadwal pengobatan, dan penyedia layanan kesehatan dapat memantau pasien dari jarak jauh. Dengan cara ini, pasien tidak melewatkan dosis, dan komplikasi akibat pemberian yang tidak tepat atau dosis yang terlewat tidak terjadi. Hal ini terutama disebabkan oleh algoritma NLP dalam manajemen pengobatan; algoritma ini mengekstrak wawasan berharga dari sumber data tidak terstruktur, seperti catatan klinis, dan akibatnya membuat inferensi tentang potensi interaksi obat dan mengubah resep yang sesuai.

Sistem AI semacam itu tidak hanya akan memastikan keamanan yang lebih baik bagi pasien tetapi juga meringankan beban penyedia layanan kesehatan. Misalnya, sistem pendukung keputusan klinis (CDSS) berbasis AI menganalisis informasi pasien untuk menyoroti potensi kontraindikasi atau efek samping dari rejimen pengobatan tertentu. Jika memungkinkan, ADR diidentifikasi sebelumnya; dokter dapat membuat penyesuaian yang diperlukan yang mengarah pada peningkatan luaran pasien. Meskipun AI sangat meningkatkan manajemen pengobatan, privasi dan keamanan data tetap penting saat menangani informasi pasien yang sensitif. Di wilayah tersebut, standar peraturan harus dipatuhi saat mengembangkan sistem manajemen pengobatan berbasis AI; contohnya termasuk Undang-Undang Portabilitas dan Akuntabilitas Asuransi Kesehatan (HIPAA) di Amerika Serikat dan Peraturan Perlindungan Data Umum (GDPR) di Eropa. Untuk mengamankan data pasien, mengamankan informasi pasien adalah cara paling penting untuk memastikan aplikasi manajemen pengobatan oleh AI yang dapat dipercaya dan aman yang sejalan dengan undang-undang privasi.

AI dalam Perawatan Rehabilitasi

Kecerdasan buatan dalam perawatan rehabilitasi berfokus pada pemulihan atau pemulihan fungsi fisik dan kognitif pasien dalam kasus cedera atau penyakit. Teknologi berbasis AI seperti robotika, realitas virtual (VR), dan pembelajaran mesin mentransformasi

rehabilitasi dengan terapi yang disesuaikan, pemantauan jarak jauh, dan mekanisme umpan balik yang lebih efektif. Misalnya, sistem robotika bertenaga AI digunakan dalam rehabilitasi fisik untuk memandu pasien melakukan latihan yang tepat guna mencapai tujuan rehabilitasi yang diinginkan. Robotika telah terbukti mendorong pemulihan fungsi motorik pada pasien stroke melalui gerakan yang berulang dan presisi.

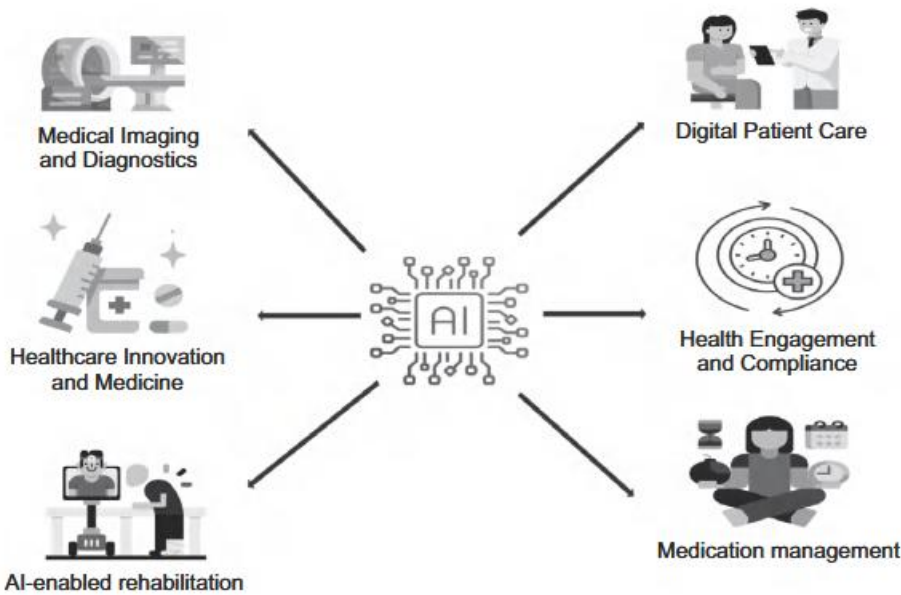
Platform realitas virtual berbantuan AI menyediakan lingkungan imersif yang mendorong rehabilitasi kognitif dan motorik; platform ini menawarkan pengalaman terapi yang menarik dan dapat disesuaikan. Sistem ini melacak kemajuan pasien, mengadaptasi rencana terapi secara real-time, dan memberikan umpan balik yang berharga kepada pasien dan terapis. Misalnya, terapi berbasis VR memungkinkan pasien dengan penyakit neurologis seperti stroke untuk melatih keterampilan motorik mereka dalam lingkungan virtual yang terkontrol. Hal ini kemungkinan akan meningkatkan partisipasi pasien tersebut selama proses pemulihan. Tabel 1 memberikan tinjauan terorganisir atas definisi terpilih dari konsep-konsep terkait AI yang digunakan dalam sektor kesehatan. Terdapat definisi eksplisit dan pengaturan aplikasi untuk pembelajaran mesin, pemrosesan bahasa alami, analitik prediktif, dan robotika.

Selain itu, dalam rehabilitasi, algoritma pembelajaran mesin membantu dalam prediksi waktu dan kemungkinan hasil; dengan demikian, terdapat pemahaman yang lebih baik tentang perkembangan pasien, yang pada gilirannya, memungkinkan penyedia layanan kesehatan untuk menetapkan tujuan yang realistis. Perawatan rehabilitasi berbasis AI sangat efektif dengan terapi yang dipersonalisasi karena dapat diadaptasi. Misalnya, sistem AI dapat mengontrol intensitas dan rentang latihan yang ditawarkan kepada pasien berdasarkan tingkat kinerja dan kapasitas fisiologis mereka sehingga sesi latihan tidak terlalu menegangkan atau terlalu ringan. Lebih lanjut, mekanisme umpan balik langsung melalui mekanisme berbasis AI memberikan umpan balik yang memandu pasien untuk melakukan latihan yang tepat; dengan demikian, mekanisme tersebut melindungi pasien dari cedera yang dapat memengaruhi mereka.

Rehabilitasi kognitif melibatkan pelatihan berbasis AI pada kemampuan memori, perhatian, dan pemecahan masalah pasien dengan gangguan neurologis. Contohnya termasuk pasien dengan cedera otak traumatis atau penyakit Alzheimer. Seiring waktu, fungsi kognitif dapat didukung dan dipulihkan. Gambar 5.1 adalah penggunaan kecerdasan buatan secara menyeluruh dalam sektor perawatan kesehatan. Area yang digambarkannya adalah diagnostik, pemantauan pasien, pengobatan yang dipersonalisasi, pengobatan, dan rehabilitasi. Ini menggarisbawahi potensi teknologi AI untuk tidak hanya mengubah efisiensi operasional dalam meningkatkan hasil pasien tetapi, yang lebih penting, secara mendasar memodifikasi sistem pemberian layanan kesehatan tradisional dengan membuatnya lebih mudah diakses dan responsif terhadap kebutuhan pasien.

Meskipun AI memiliki janji yang kuat untuk rehabilitasi, kondisi pasien yang bervariasi dan respons heterogen terhadap pengobatan membuatnya bermasalah untuk menstandarisasi protokol berbasis AI. Setiap pasien memiliki karakteristik yang unik, dan kebutuhan mungkin memerlukan intervensi AI tertentu; dengan demikian, protokol rehabilitasi yang seragam mungkin menantang. Lebih lanjut, aksesibilitas teknologi AI dalam

perawatan rehabilitasi terbatas di beberapa wilayah, menimbulkan tantangan bagi pemberian layanan kesehatan yang adil. Namun, alat rehabilitasi yang digerakkan oleh AI terus meningkatkan hasil pasien dan mengurangi beban pada sistem perawatan kesehatan, oleh karena itu menjanjikan harapan untuk adopsi yang meluas di masa depan.



Gambar 5.1 Integrasi AI Dalam Domain Layanan Kesehatan.

Tabel 5.1 Definisi Dan Penerapan Istilah AI Dalam Layanan Kesehatan.

<i>Istilah</i>	<i>Definisi</i>	<i>Deskripsi</i>
Kecerdasan buatan (AI)	Simulasi kecerdasan manusia pada mesin memungkinkan mereka melakukan tugas-tugas yang biasanya membutuhkan kognisi manusia.	AI dalam layanan kesehatan diterapkan untuk menganalisis data medis yang kompleks, mendukung pengambilan keputusan, memprediksi hasil, dan mengoptimalkan perawatan di berbagai bidang medis.
Manajemen penyakit	Pendekatan terkoordinasi terhadap layanan kesehatan yang berfokus pada pencegahan atau penanganan penyakit kronis.	AI membantu memprediksi risiko penyakit, membantu diagnosis dini, dan menyesuaikan perawatan, sehingga mengurangi biaya layanan kesehatan dan meningkatkan kualitas hidup pasien.
Manajemen pengobatan	Proses untuk memastikan penggunaan obat-obatan secara aman dan efektif untuk meningkatkan luaran pasien.	AI mendukung manajemen pengobatan dengan menawarkan pengingat, memantau kepatuhan, dan mengurangi kejadian efek samping obat melalui analitik prediktif.
Perawatan rehabilitasi	Layanan kesehatan yang membantu individu memulihkan, mempertahankan, atau meningkatkan kemampuan fisik mereka.	Dalam rehabilitasi, AI memungkinkan terapi yang dipersonalisasi, umpan balik waktu nyata, dan pemantauan jarak jauh, yang meningkatkan hasil pemulihan dan kepatuhan pasien.

Analisis prediktif	Teknik yang menggunakan data historis dan waktu nyata untuk membuat prediksi tentang luaran di masa mendatang.	Dalam manajemen penyakit, analitik prediktif berbasis AI dapat mengantisipasi masalah kesehatan dan mencegah komplikasi, terutama perawatan kronis.
Perawatan yang dipersonalisasi	Menyesuaikan perawatan medis dengan karakteristik individu pasien, seperti genetika atau gaya hidup.	AI menyesuaikan perawatan berdasarkan data spesifik pasien, meningkatkan efikasi perawatan dan meminimalkan risiko yang terkait dengan pendekatan satu ukuran untuk semua.
Pemantauan jarak jauh	Pemanfaatan teknologi untuk memantau pasien di luar pengaturan klinis tradisional.	Perangkat bertenaga AI melacak tanda-tanda vital dan metrik kesehatan secara real-time, memberi tahu penyedia layanan kesehatan tentang masalah dan mendukung manajemen penyakit proaktif.
Tele-rehabilitasi	Metode pemberian layanan rehabilitasi jarak jauh melalui platform digital.	Tele-rehabilitasi berbasis AI menawarkan akses ke program terapi dari rumah, memungkinkan fleksibilitas dan dukungan berkelanjutan bagi pasien dengan tantangan mobilitas.
Rekam medis elektronik (RME)	Versi digital dari rekam medis pasien yang berisi informasi kesehatan komprehensif.	AI menganalisis EHR untuk mendapatkan wawasan tentang tren kesehatan pasien, mendukung diagnosis dini, perencanaan perawatan, dan strategi pengelolaan penyakit.
Pembelajaran mesin (ML)	Sebagian dari AI yang berfokus pada algoritma yang memungkinkan sistem belajar dari data dan meningkatkannya seiring waktu.	Model pembelajaran mesin (ML) digunakan dalam layanan kesehatan untuk mendeteksi pola dalam data pasien, memprediksi hasil, dan meningkatkan proses diagnostik dan pengobatan.
Pemrosesan bahasa alami (NLP)	Cabang AI yang memungkinkan komputer memahami, menafsirkan, dan merespons bahasa manusia.	NLP dalam proses layanan kesehatan, catatan klinis, dan data tidak terstruktur dalam EHR memungkinkan ekstraksi informasi pasien yang berharga untuk pengambilan keputusan.
Sistem pendukung keputusan klinis (CDSS)	Sistem AI dirancang untuk membantu penyedia layanan kesehatan dalam membuat keputusan klinis yang terinformasi.	Alat CDSS menggunakan data pasien dan pengetahuan berbasis bukti untuk merekomendasikan tindakan diagnostik dan terapeutik, yang mendukung perawatan pasien berkualitas tinggi.
Asisten kesehatan virtual	Perangkat bertenaga AI yang menyediakan dukungan dan saran layanan kesehatan melalui	Asisten ini membantu dalam edukasi pasien, pelacakan gejala, dan pengingat pengobatan, sehingga

	chatbot atau sistem berbasis suara.	meningkatkan keterlibatan dan kepatuhan pasien.
Pembelajaran mendalam	Pendekatan ML tingkat lanjut yang memanfaatkan jaringan saraf untuk memproses data dan membuat prediksi yang kompleks.	Model pembelajaran mendalam digunakan dalam pencitraan medis, genomik, dan patologi untuk mendeteksi penyakit dan menilai risiko kesehatan secara akurat.
Visi komputer	Bidang AI yang memungkinkan komputer menafsirkan dan memproses informasi visual dari dunia.	Dalam bidang kesehatan, visi komputer membantu menganalisis citra medis dan mengidentifikasi anomali pada sinar-X, pencitraan resonansi magnetik (MRI), dan pemindaian tomografi terkomputasi (CT scan), yang mendukung diagnosis dini dan akurat.
Otomatisasi proses robotik (RPA)	Teknologi yang mengotomatiskan tugas-tugas berulang dalam sistem layanan kesehatan untuk meningkatkan efisiensi.	RPA digunakan dalam proses administratif, seperti penjadwalan, penagihan, dan pengelolaan rekam medis, sehingga mengurangi beban kerja staf kesehatan.
Perawatan yang berpusat pada pasien	Pendekatan layanan kesehatan yang menghormati dan merespons kebutuhan, nilai, dan preferensi pasien.	AI memungkinkan perawatan yang berpusat pada pasien dengan menyesuaikan rencana perawatan, meningkatkan komunikasi, dan melibatkan pasien secara aktif dalam manajemen kesehatan mereka.
Pengobatan presisi	Pendekatan layanan kesehatan yang mempertimbangkan variabilitas individu dalam gen, lingkungan, dan gaya hidup.	AI mendukung pengobatan presisi dengan menganalisis data genetik, lingkungan, dan gaya hidup serta menciptakan terapi yang ditargetkan untuk kelompok pasien tertentu.

5.2 PERAN AI DALAM MANAJEMEN PENYAKIT

Salah satu contoh transformasi layanan kesehatan melalui manajemen penyakit adalah solusi berbasis AI yang memungkinkan diagnosis dini, penilaian risiko penyakit, dan jalur perawatan langsung yang dipersonalisasi. Penerapannya mengurangi beban penyakit, menyederhanakan administrasi perawatan pasien, dan mengoptimalkan alokasi sumber daya, terutama ketika layanan dari layanan kesehatan yang tersedia kewalahan. Aplikasi solusi berbasis AI dalam manajemen penyakit meliputi analitik prediktif, stratifikasi risiko, dan penerbitan perawatan individual, yang membantu penanganan penyakit menular dan kronis yang akurat.

Diagnosis Dini dan Penilaian Risiko

Diagnosis dini sangat penting dalam manajemen penyakit karena meningkatkan peluang keberhasilan dan memungkinkan intervensi dini. AI meningkatkan deteksi dini karena data klinis, genetik, dan pencitraan yang besar dapat mengungkapkan pola yang mencerminkan risiko atau keberadaan penyakit tertentu. Algoritma pembelajaran mendalam, misalnya, dapat mengidentifikasi manifestasi awal kanker, diabetes, dan kondisi jantung dari

pencitraan medis dengan sangat akurat. Dengan menganalisis EHR, model AI akan mengelompokkan pasien berdasarkan tingkat risiko masing-masing, yang akan memberi tahu pendekatan klinisi kepada pasien yang membutuhkan pemantauan lebih intensif atau perawatan preventif.

Perencanaan Perawatan yang Dipersonalisasi

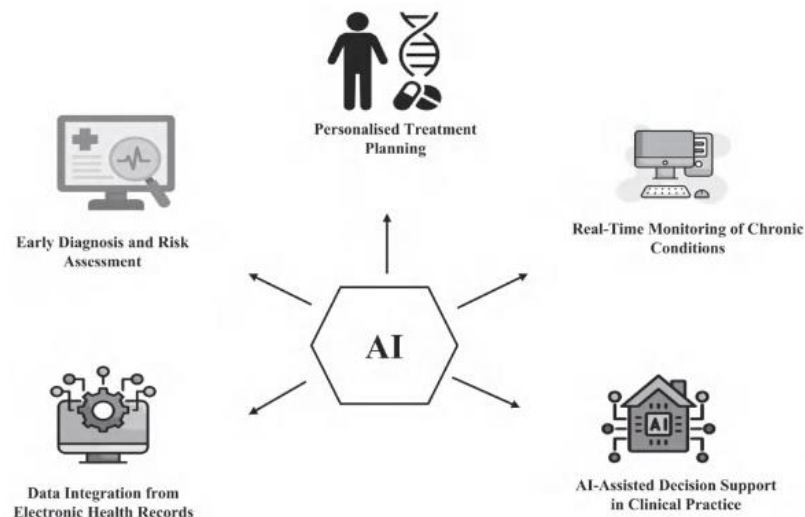
AI memungkinkan klinisi untuk menyusun rencana perawatan spesifik pasien, dengan mempertimbangkan susunan genetik, gaya hidup, dan hasil perawatan sebelumnya. Pendekatan ini bukanlah pendekatan satu ukuran untuk semua, karena dukungan untuk rencana perawatan yang dipersonalisasi meningkatkan kepatuhan dan hasil. Misalnya, dalam onkologi, platform bertenaga AI dapat menyajikan pilihan perawatan yang disesuaikan dengan susunan genetik pasien tertentu, dan hal ini menawarkan pengobatan presisi untuk meningkatkan efektivitas perawatan dan meminimalkan efek samping. Teknologi berbasis AI akan mendorong pengelolaan penyakit kronis melalui dukungan perubahan gaya hidup, penyesuaian pengobatan, dan pemantauan kesehatan secara real-time. Ini termasuk sistem manajemen diabetes berbasis AI di mana kadar glukosa darah dan tren glikemik terus dilacak dan ditindaklanjuti dengan saran real-time untuk penyesuaian pasien terkait insulin atau kebiasaan gaya hidup. Perawatan berbasis data yang dipersonalisasi merupakan respons terhadap pengelolaan kondisi kronis kompleks yang memerlukan pemantauan dan penyempurnaan berkelanjutan.

Pemantauan Kondisi Kronis Secara Real-Time

Hal ini khususnya berlaku bagi pasien penyakit kronis, yang membutuhkan dukungan berkelanjutan untuk mencegah perburukan lebih lanjut dan perkembangan yang rumit. Perangkat wearable berbasis AI secara terus-menerus memantau tanda-tanda vital dan memberi tahu penyedia layanan kesehatan ketika ada perubahan yang menimbulkan kekhawatiran. Misalnya, penerapan AI dalam pemantauan jantung jarak jauh menggunakan data berbasis elektrokardiogram (EKG) untuk pengenalan aritmia secara real-time, yang memperingatkan pasien dan dokter untuk mengambil tindakan. Teknologi pemantauan jarak jauh telah memengaruhi pengelolaan penyakit pernapasan kronis seperti asma dan penyakit paru obstruktif kronis. Salah satunya adalah melacak dan memantau metrik pernapasan pasien, yang beberapa di antaranya dapat memberikan informasi tentang potensi pemicu atau eksaserbasi. Teknologi pengawasan berbasis AI tersebut dapat menghindari rawat inap dan meningkatkan kualitas hidup pasien dengan memungkinkan tim perawatan untuk memprediksi dan mengatur penyakit lebih dini, alih-alih terlambat. Gambar 2 merepresentasikan beberapa aplikasi kecerdasan buatan seperti analitik prediktif penyakit, jadwal perawatan personal yang mempertimbangkan profil setiap pasien, dan pemantauan status kesehatan secara real-time. Gambar ini merepresentasikan aplikasi-aplikasi ini, tetapi terutama menyoroti potensi teknologi AI dalam memungkinkan manajemen proaktif, kepatuhan pengobatan, dan, pada akhirnya, peningkatan luaran pasien dengan mentransformasi pendekatan tradisional dalam manajemen penyakit menjadi praktik pelayanan kesehatan yang lebih efektif dan responsif.

5.3 PERAN AI DALAM MANAJEMEN OBAT

Manajemen obat merupakan aspek penting dalam layanan kesehatan, yang memastikan pasien mengikuti rejimen pengobatan yang diresepkan secara efektif dan meminimalkan kejadian efek samping obat. Teknologi berbasis AI telah membuat manajemen obat lebih efisien dan proaktif, terutama bagi pasien dengan kondisi kronis. Misalnya, algoritma AI dapat menganalisis data pasien, interaksi obat, dan potensi efek samping untuk memberikan pengingat dan peringatan pengobatan yang dipersonalisasi, mendukung pasien dalam mematuhi rencana perawatan mereka. Selain itu, aplikasi kesehatan digital dengan kemampuan AI memantau kepatuhan pasien dan menandai potensi masalah bagi penyedia layanan kesehatan, memungkinkan intervensi tepat waktu dan mengurangi kesalahan pengobatan.



Gambar 5.2 Aplikasi Utama AI Dalam Meningkatkan Manajemen Penyakit.

Proses penting lainnya yang didukung AI adalah rekonsiliasi obat, yang merupakan proses vital lainnya untuk memindahkan pasien antar pengaturan perawatan yang berbeda. Lansia mengonsumsi lebih banyak obat sehingga lebih mungkin mengalami interaksi obat-obat, sehingga rekonsiliasi sangat penting bagi mereka. AI dapat memproses EHR untuk mendapatkan wawasan berharga guna mencocokkan informasi dengan data resep sehingga peringatan penyesuaian yang tepat dapat dikirimkan kepada praktisi kesehatan. Pemantauan waktu nyata seperti ini membantu mengoptimalkan keberhasilan pengobatan, mendukung kepatuhan pasien, dan mengurangi pasien yang kembali dirawat di rumah sakit.

Dukungan Obat yang Disesuaikan

Teknologi berbasis AI menggunakan data pasien yang sangat besar mengenai riwayat medis, alergi, dan potensi interaksi obat untuk menawarkan rencana pengobatan yang spesifik kepada pasien. Misalnya, aplikasi berbasis AI dapat membantu pasien mengingat kapan harus minum obat atau kapan kemungkinan efek samping muncul. Lebih penting lagi, dukungan personal semacam ini dapat menjadi signifikan bagi pasien dengan polifarmasi karena hal ini

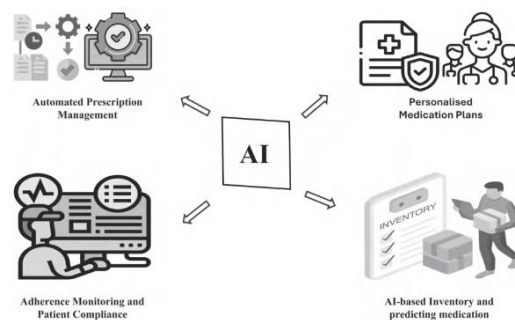
akan menghilangkan risiko yang terkait dengan penggunaan beberapa obat sekaligus meningkatkan kepatuhan terhadap rejimen pengobatan.

Analisis Prediktif untuk Pencegahan Kejadian Tidak Diinginkan

Data EHR dimasukkan ke dalam algoritma AI untuk memprediksi potensi reaksi obat yang tidak diinginkan pada pasien. Penyedia layanan kesehatan dapat menyesuaikan resep atau memantau lebih cermat sebelumnya. Model pembelajaran mesin mengidentifikasi pola yang terkait dengan kejadian tidak diinginkan obat melalui referensi silang dengan basis data informasi kesehatan pasien dan reaksi obat yang diketahui. Hal ini sangat berharga dalam perawatan lansia, di mana sebagian besar pasien menggunakan beberapa resep sehingga rentan terhadap interaksi obat yang berbahaya.

Pemantauan Obat Jarak Jauh

Perangkat wearable dan aplikasi kesehatan digital berbasis AI melacak kepatuhan pengobatan pasien secara real-time dan memantau metrik kesehatan terkait seperti tekanan darah, detak jantung, atau kadar glukosa darah. Dalam sistem tersebut, ketika anomali terdeteksi, penyedia layanan kesehatan akan diberi peringatan, sehingga intervensi dapat dilakukan tepat waktu. Misalnya, dalam manajemen diabetes, aplikasi berbasis AI memungkinkan pasien untuk memantau asupan insulin mereka dan menyesuaikan dosisnya sesuai dosis yang dibutuhkan. Hal ini, oleh karena itu, meningkatkan kepatuhan dan hasil kesehatan. Manajemen pengobatan berbasis AI ini penting untuk mengembangkan sistem layanan kesehatan yang berpusat pada pasien, responsif, dan efektif untuk beragam populasi, terutama mereka yang memiliki kondisi kronis. Gambar 5.3 lebih lanjut mengilustrasikan fungsi-fungsi yang penting dalam mengoptimalkan praktik peresepan obat melalui penggunaan AI dalam layanan kesehatan. Di dalamnya, kontribusi AI dalam menciptakan rejimen yang disesuaikan secara individual dengan karakteristik unik untuk setiap pasien meningkatkan efektivitas sekaligus mengurangi kemungkinan reaksi yang tidak diinginkan selama proses pengobatan. Terakhir, pengendalian inventaris melalui prediksi permintaan membantu obat tersedia tepat saat dibutuhkan. Lebih lanjut, gambar tersebut mengilustrasikan penerapan analitik prediktif dalam memprediksi respons pasien terhadap pengobatan, yang akan memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik serta meningkatkan keamanan dan kepatuhan pengobatan. Representasi yang luas ini menyoroti sifat revolusioner AI dalam mentransformasi proses manajemen pengobatan dalam layanan kesehatan.



Gambar 5.3 Peran AI Dalam Personalisasi, Inventarisasi, Dan Prediksi Pengobatan.

5.4 PERAN AI DALAM PERAWATAN REHABILITASI

Kecerdasan buatan merevolusi bidang rehabilitasi melalui penemuan fisik dan virtual. Pembelajaran mesin adalah subdomain AI yang digunakan dalam rehabilitasi untuk mengembangkan algoritma adaptif dalam aplikasi kedokteran perioperatif, antarmuka otak-komputer, kontrol mioelektrik, dan neuroprostetik canggih.

Pembelajaran mesin membantu pasien dalam kesehatan muskuloskeletal dengan analisis data dan mendukung pengambilan keputusan klinis. Algoritma yang dimungkinkan oleh AI menginterpretasikan data sensor untuk menganalisis latihan rehabilitasi. Perangkat wearable dan rumah pintar merevolusi cara seseorang menjalani rehabilitasi. Salah satu perangkat wearable adalah Apple Watch, yang dapat menerapkan pembelajaran terawasi untuk menentukan apakah latihan dilakukan secara akurat karena dapat mengukur gerakan dengan sangat presisi.

Namun, perangkat wearable mungkin tidak praktis karena banyak hal yang dapat mengganggu efektivitas latihan. Robotika rehabilitasi AI membantu memberikan dukungan fisik dan emosional serta bertindak sebagai jembatan bagi gangguan kognisi, motorik, dan sensorik, menjadikan pengguna mandiri dan meningkatkan kualitas hidup mereka. Beberapa perkembangan terbaru termasuk AI dalam rehabilitasi digital dan jarak jauh, yang menyediakan dukungan virtual dan latihan yang disesuaikan dengan pasien, sehingga menjaga motivasi mereka untuk pulih. Algoritma yang didukung AI dapat menawarkan saran latihan, melacak perkembangan pasien, dan memberikan dukungan terapeutik, misalnya, latihan bahasa untuk pasien stroke, melalui perangkat digital di rumah dan saat bepergian. Sinergi kecerdasan manusia dan algoritma berbasis AI ini mungkin menjadi masa depan bagi model terapi berbasis komunitas, seperti terapi perilaku kognitif, untuk memberikan dukungan sebaya dan peningkatan manajemen diri. Lebih lanjut, metaverse dan neurorehabilitasi virtual menerapkan sistem berbasis AI untuk menjadikan rehabilitasi menyenangkan dengan menggunakan aktivitas seperti Gross Motor Function Classification System (GMFCS) untuk meningkatkan minat pasien dalam melakukan latihan. Pendekatan virtual ini terbukti efektif selama pandemi COVID-19, terutama di kalangan anak-anak dengan cerebral palsy, dalam menyediakan lingkungan terapi yang menarik dan bebas risiko.

Program Rehabilitasi yang Disesuaikan

Perangkat berbasis AI menghasilkan rencana rehabilitasi individual yang spesifik untuk jenis cedera, tingkat mobilitas, dan kecepatan pemulihan setiap pasien. Algoritma pembelajaran mesin dapat menggunakan data perangkat yang dapat dikenakan dan rekam medis pasien untuk menyesuaikan intensitas latihan, memodifikasi teknik, dan menyesuaikan sesi terapi. Individualisasi ini membantu pasien menjalani rutinitas rehabilitasi yang aman dan efektif yang disesuaikan dengan tujuan mereka.

Umpan Balik dan Pemantauan Real-Time

Perangkat yang dapat dikenakan berbasis AI, seperti sensor gerak dan gelang pintar, membantu memantau pergerakan pasien selama praktik rehabilitasi, memberikan umpan balik instan tentang postur, kualitas gerakan, dan penyelesaian latihan. Hal ini memastikan

pasien mendapatkan latihan yang tepat, meminimalkan cedera berulang, dan memaksimalkan manfaat dari setiap sesi. Bagi dokter, data real-time membantu memantau layanan dan membuat perubahan tepat waktu pada rencana terapi untuk mencapai efikasi rehabilitasi yang lebih tinggi secara umum.

Tele-Rehabilitasi dan Akses Jarak Jauh

Sistem tele-rehabilitasi berbasis AI merupakan alternatif ideal bagi pasien yang tidak dapat menghadiri sesi tatap muka. Platform ini menciptakan sesi terapi virtual dan memungkinkan pasien melakukan latihan di rumah sementara dokter memantau perkembangan perawatan mereka dari jarak jauh. Tele-rehabilitasi meningkatkan aksesibilitas, sehingga memudahkan orang-orang dari daerah pedesaan atau dengan mobilitas terbatas. Tele-rehabilitasi juga mengajarkan kemandirian dengan mengelola pemulihan mereka. Lebih lanjut, algoritma AI melacak perkembangan pasien dan dapat menyesuaikan rencana rehabilitasi untuk menyediakan rangkaian perawatan yang fleksibel dan berpusat pada pasien. Inovasi dalam AI terkait perawatan rehabilitasi memberikan pasien ketersediaan yang lebih baik untuk dukungan yang disesuaikan guna mendorong kepatuhan terhadap rencana terapi dan meningkatkan hasil jangka panjang. Teknologi ini kini mengarah pada rehabilitasi yang jauh lebih mudah diakses dan responsif, serta mendukung pasien di setiap tahap pemulihan. Penggunaan penting AI lainnya dalam analisis gaya berjalan adalah pada kondisi seperti osteoarthritis dan penyakit Parkinson. Dengan analisis video menggunakan AI, pola gaya berjalan akan terdeteksi secara otomatis untuk melakukan fisioterapi di rumah, pemantauan jarak jauh, dan umpan balik instan. Dalam neurorehabilitasi, terapi digital dengan pengawasan minimal memungkinkan peralihan dari perawatan berbasis rumah sakit ke lingkungan rumah mandiri.

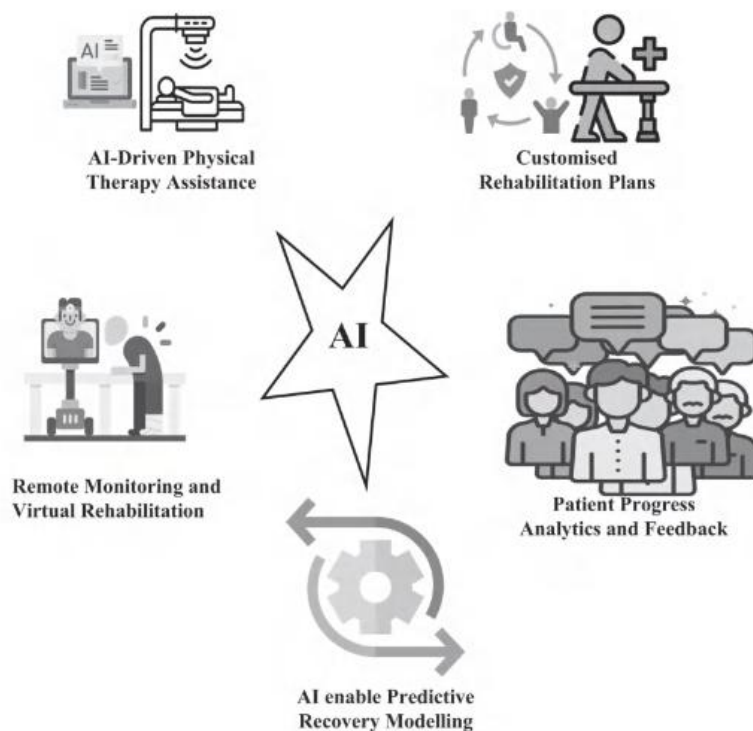
Namun, sistem berbasis AI ini harus dibangun dengan standar kegunaan dan tingkat keamanan serta ketahanan yang tinggi agar dapat diterima secara luas dan partisipasi aktif pasien dalam terapi. Dalam kedokteran olahraga, perangkat wearable berbasis AI melacak pola fisiologis dan kinematik untuk meningkatkan prediktabilitas cedera, meningkatkan penilaian risiko, dan memungkinkan pemantauan kesehatan berkelanjutan bagi atlet. Namun, dalam teknologi wearable yang melibatkan AI, terdapat masalah seperti ketidakakuratan data, bias sosial ekonomi, gangguan sinyal, dan kekhawatiran pasien atas privasi data mereka. Mendidik pengguna tentang peran suportif AI dalam rehabilitasi dapat lebih meningkatkan penerimaan dan kepercayaan terhadap solusi rehabilitasi berbasis AI. Gambar 5.4 mengilustrasikan kontribusi signifikan kecerdasan buatan dalam mengembangkan strategi rehabilitasi yang dipersonalisasi bagi pasien. Gambar ini menyoroti bagaimana teknologi AI menganalisis data pasien, termasuk riwayat medis, kemampuan fisik, dan tujuan rehabilitasi, untuk membuat rencana rehabilitasi yang disesuaikan dan mengoptimalkan hasil pemulihan. Hal ini dapat dicapai dengan menggabungkan umpan balik waktu nyata dan algoritma pembelajaran adaptif sehingga sistem berbasis AI dapat menyesuaikan rencana ini sesuai dengan perkembangan dan respons individu terhadap pengobatan. Pendekatan yang dipersonalisasi tidak hanya meningkatkan keterlibatan dan motivasi pasien, tetapi juga meningkatkan efikasi intervensi

rehabilitasi, menunjukkan potensi transformatif AI dalam mendukung proses pemulihan dan meningkatkan kualitas hidup pasien secara keseluruhan dalam pengaturan rehabilitasi.

5.5 TANTANGAN IMPLEMENTASI AI DI LAYANAN KESEHATAN

Isu Sosial dan Etika dalam Pelayanan Kesehatan 5.0

Integrasi AI dalam manajemen penyakit, manajemen pengobatan, dan rehabilitasi merupakan salah satu isu etika dan sosial dalam pelayanan kesehatan, serupa dengan ketergantungan yang tinggi pada teknologi, otomatisasi, dan telehealth. Seiring dengan semakin efektifnya AI, pertimbangan etika seperti persetujuan berdasarkan informasi, akses yang adil, dan keandalan pengobatan yang dipandu AI menjadi lebih utama. Etika dan prinsip-prinsip medis fundamental—kebaikan, otonomi, keadilan, dan non-maleficence—harus diseimbangkan secara cermat sebelum AI dapat terintegrasi secara efektif ke dalam sistem pelayanan kesehatan.



Gambar 5.4 Rencana Khusus Berbasis AI Dan Perannya Dalam Rehabilitasi.

Tantangannya meliputi akuntabilitas keputusan berbasis AI, kemungkinan kesalahan dalam penilaian AI, verifikasi keluaran sistem AI, perlindungan data sensitif, dan bias dalam kumpulan data yang digunakan untuk melatih model AI. Hal ini juga mencakup isu-isu kritis, seperti perlindungan kepercayaan publik terhadap AI, mitigasinya terhadap risiko yang dapat mengancam martabat pasien atau menyebabkan isolasi sosial, dampak pada HCP—Profesional Kesehatan yang dapat mengubah peran dan tuntutan mereka terhadap keterampilan tertentu, kekhawatiran tentang penyalahgunaan AI, dan risiko masalah keselamatan dan keandalan dalam pemberian perawatan, pengambilan keputusan, dan pengendalian peralatan. Misalnya, satu aplikasi AI untuk prediksi komplikasi pneumonia secara keliru merekomendasikan pemulangan pasien asma karena faktor kontekstual yang tidak dikenali. Transparansi dan

akuntabilitas tetap menjadi isu penting. Pertanyaan muncul seputar tanggung jawab atas keputusan berbasis AI dan ganti rugi yang tepat bagi mereka yang terdampak kesalahan AI. Proses pengambilan keputusan AI yang kompleks dan seringkali tidak transparan, terutama dengan model ML, dapat menghambat transparansi. XAI—Kecerdasan Buatan yang Dapat Dijelaskan bertujuan untuk mengatasi tantangan ini dengan membuat cara kerja internal sistem AI dapat dipahami oleh manusia.

XAI meningkatkan kepercayaan AI dengan menjelaskan dasar keputusan yang dibuat. Fitur ini cukup signifikan dalam aplikasi berisiko tinggi seperti layanan kesehatan. Misalnya, XAI terbukti meningkatkan tingkat kepercayaan ahli radiologi dalam membuat klasifikasi pada citra CT ketika wawasan visual mengenai mekanisme kerja dan kriteria keputusan AI diberikan. Tantangan lainnya adalah ketersediaan dan kualitas data. Model AI cenderung gagal ketika data digital langka, yang dapat berdampak secara tidak proporsional pada populasi yang kurang terwakili dalam uji klinis atau memiliki kondisi langka.

Data pelatihan juga dapat mencerminkan bias sosial, sehingga melanggengkan ketidakadilan. Privasi dan keamanan juga menjadi perhatian penting karena sistem AI menangani data medis sensitif yang tunduk pada standar hukum yang ketat. Meskipun AI dapat mendeteksi dan memitigasi ancaman siber, AI mungkin masih rentan terhadap serangan keracunan data di mana informasi yang bias atau salah dimasukkan ke dalam sistem dan serangan peretasan. Pertimbangan etika lain yang terkait dengan AI di klinik meliputi privasi, keamanan, keselamatan, hak untuk memilih, serta konsekuensi finansial AI dalam praktik layanan kesehatan.

Tantangan Tata Kelola dalam Layanan Kesehatan 5.0

Dengan meningkatnya adopsi AI dalam layanan kesehatan, tata kelola terstruktur yang mengelola isu-isu terkait regulasi, etika, dan kepercayaan menjadi kebutuhan mendesak. Oleh karena itu, tata kelola di tingkat rumah sakit akan menjadi peluang yang menarik bagi manajemen tersebut, yang akan membantu memastikan implementasi dan penggunaan sistem AI yang aman. Sebuah penelitian terbaru menunjukkan pentingnya tata kelola AI yang baik dalam layanan kesehatan untuk melindungi keselamatan pasien, meningkatkan akuntabilitas sistem layanan kesehatan, dan membangun kepercayaan praktisi.

Tata kelola semacam itu niscaya akan meningkatkan penerimaan dan dampak intervensi kesehatan terkait AI. Semua isu yang dapat diatasi saat menginduksi AI harus bersama-sama membentuk kerangka kerja tata kelola holistik yang lebih kuat. Aplikasi AI di berbagai sektor penting—layanan kesehatan, penelitian, dan privasi data—memerlukan regulasi, terutama karena AI berkembang pesat dalam ruang komersial. Langkah-langkah regulasi nasional dan internasional sangat penting untuk mengintegrasikan teknologi AI secara etis dalam layanan kesehatan. Uni Eropa telah melakukan hal ini pada tahun 2018 ketika mengadopsi Peraturan Perlindungan Data Umum untuk melindungi data individu yang diproses oleh AI dan perangkat digital lainnya. Hal ini menjadi dasar bagi reformasi serupa di negara-negara seperti Amerika Serikat dan Kanada. Komisi Eropa baru-baru ini merespons pesatnya perkembangan AI dengan memperkenalkan Undang-Undang Kecerdasan Buatan (AIA), sebuah kerangka regulasi yang membahas risiko sosial dan etika AI. AIA menuntut agar

sistem AI berisiko tinggi diuji sebelum dan sesudah penerapannya untuk mengurangi risiko dari aplikasi AI tertentu sekaligus mendorong integrasi AI yang lebih aman dan bertanggung jawab secara sosial dalam layanan kesehatan.

Tantangan Teknis dalam Layanan Kesehatan 5.0

Tantangan teknis ditemukan dalam mengintegrasikan AI dengan manajemen penyakit, manajemen pengobatan, dan perawatan rehabilitasi. Model AI harus sederhana agar dapat dikerjakan oleh Tenaga Kesehatan Profesional (HCP). Namun, hambatan seperti infrastruktur TI yang tidak memadai, meningkatnya biaya penyimpanan data, dan tingginya biaya validasi data membatasi adopsi. Algoritma untuk AI juga memiliki beberapa keterbatasan, seperti ketidakterapan domain pelatihan, bias, dan kerapuhan. Pertimbangan utama meliputi mitigasi pergeseran dataset, klarifikasi sinyal akurat dari variabel pengganggu, mengungkap bias yang tidak diinginkan, dan penggunaan interpretabilitas algoritmik untuk meningkatkan ukuran keyakinan keluaran oleh AI.

Penyedia layanan kesehatan harus mengembangkan rencana strategis yang berfokus pada biaya dan infrastruktur teknologi. Selain itu, HCP mungkin menghindari penggunaan sistem pengambilan keputusan berbasis AI karena risiko terkait. Oleh karena itu, AI harus dibuat dapat dijelaskan berdasarkan XAI untuk mendapatkan kepercayaan dan adopsi. Faktor-faktor yang memengaruhi persepsi klinisi meliputi risiko, kepercayaan, beban kerja, dan kemauan untuk menerima pelatihan AI.

Kurangnya akuntabilitas merupakan hambatan lain. Pelatihan AI dalam kurikulum pendidikan kedokteran akan mempersiapkan generasi profesional kesehatan berikutnya untuk menggunakan AI dengan aman. HCP tidak dapat melihat bagaimana AI mencapai kesimpulan, sehingga mereka dapat disalahkan atas kesalahan tersebut, yang menciptakan "masalah kotak hitam". Perlindungan terhadap klinisi dan sistem AI yang menjadi bagian dari kebijakan akan membantu mendorong dukungan. Mengembangkan antarmuka AI yang ramah pengguna yang mengungkapkan informasi yang relevan secara klinis juga penting. Keterlibatan pemangku kepentingan dalam memahami kebutuhan klinis sebelum mengembangkan solusi AI akan memastikan teknologi ini berfungsi untuk meningkatkan luaran pasien.

5.6 KETERBATASAN AI DALAM LAYANAN KESEHATAN 5.0

Model Pembelajaran Mesin (ML) dan Pembelajaran Mesin (DL) yang efektif membutuhkan kumpulan data yang besar untuk mengkategorikan atau memprediksi tugas-tugas layanan kesehatan. Namun, sektor layanan kesehatan menghadapi banyak tantangan terkait akses data karena kerahasiaan berkas pasien dan keraguan dari pihak HCO—Organisasi Layanan Kesehatan (HCO) dalam hal berbagi data kesehatan. Sulit untuk mendapatkan data tambahan untuk pembelajaran lebih lanjut setelah suatu algoritma dilatih untuk pertama kalinya karena adanya penolakan dari organisasi. Beberapa masalah muncul terkait keamanan dan privasi data karena aplikasi AI merupakan target yang sangat baik bagi entitas yang menginvasi selama pelanggaran data. Kerahasiaan catatan sangatlah penting.

Masalah lainnya adalah overfitting, di mana algoritma mengembangkan pola palsu dalam karakteristik pasien yang terlalu lokal dan perlu digeneralisasi dengan lebih baik, yang

menyebabkan prediksi yang buruk. Kebocoran data juga merupakan masalah di mana sistem AI menghasilkan akurasi dengan memprediksi kejadian yang melampaui batas data pelatihan. Algoritma pembelajaran mendalam membutuhkan bantuan untuk menjelaskan keputusan secara bermakna, sehingga mempersulit akuntabilitas hukum ketika rekomendasinya gagal. Masalah "kotak hitam" ini mengikis kepercayaan publik terhadap sistem layanan kesehatan.

Ada juga kekhawatiran bahwa AI akan menggantikan pekerjaan; namun, ini lebih merupakan alasan untuk rekayasa ulang tenaga kerja. Biaya pelatihan profesional kesehatan secara efektif untuk menggunakan sistem AI mungkin juga tinggi. Tantangan utamanya adalah perlunya lebih banyak data eksperimental untuk menunjukkan bahwa intervensi berbasis AI efektif dalam uji klinis karena sebagian besar penelitian AI dilakukan di luar pengaturan klinis. Bukti empiris yang jarang seperti itu membuat lembaga kesehatan takut mengadopsi solusi AI. Tantangan AI umum lainnya termasuk biaya penerapan AI yang tinggi, hilangnya inisiatif manusia melalui otomatisasi, perpindahan pekerjaan melalui otomatisasi kerja rutin, dan kurangnya kecerdasan emosional dan kreativitas. Menangani masalah teknis memastikan keberhasilan integrasi AI ke dalam manajemen penyakit, manajemen pengobatan, dan aliran perawatan rehabilitasi.

5.7 PROSPEK DALAM PENYAKIT, OBAT, DAN REHABILITASI DALAM AI

Kecerdasan buatan dalam layanan kesehatan akan mengubah manajemen penyakit, manajemen obat, dan perawatan rehabilitasi secara drastis. Analisis data canggih, algoritma prediktif, dan pembelajaran mesin akan membuat kesehatan pasien lebih personal, proaktif, dan presisi. Hal ini akan mentransformasi praktik layanan kesehatan, sehingga meningkatkan luaran pasien, dan ini dapat mengurangi tekanan yang semakin besar pada sistem layanan kesehatan. Potensi penerapan AI dalam domain ini dapat merepresentasikan pergeseran paradigma menuju perawatan preventif yang berpusat pada pasien yang akan meminimalkan inefisiensi, memaksimalkan efikasi terapeutik, dan memaksimalkan aksesibilitas. Dalam domain manajemen penyakit, AI dapat menganalisis kumpulan data besar untuk membuat prediksi dini dan memantau penyakit kronis dan akut secara individual. Analisis prediktif dapat memproses informasi dari berbagai sumber, seperti EHR, profil genetik, dan data gaya hidup, untuk memprediksi kejadian dan perkembangan penyakit secara akurat. Misalnya, algoritma AI dapat mengidentifikasi indikator awal penyakit kardiovaskular, diabetes, atau kanker sebelum gejala klinis muncul, sehingga memungkinkan intervensi sebelum terlambat. Model-model ini akan dilatih berdasarkan data pasien historis dan terus diperbarui dengan pola-pola baru, sehingga memberikan profil risiko spesifik bagi pasien. Teknologi AI akan sangat bermanfaat bagi manajemen pengobatan di masa mendatang. Saat ini, ketidakpatuhan pengobatan sering terjadi. Penyebab umumnya, misalnya, hasil pengobatan yang kurang optimal dan peningkatan biaya layanan kesehatan akibat penghentian pengobatan, tersebar luas. Hal ini membantu mengatasi masalah-masalah kritis berikut yang berkaitan dengan AI: dosis obat yang disesuaikan dengan spesifisitas pasien, pemodelan prediktif untuk reaksi obat yang merugikan, dan sistem pemantauan kepatuhan. Berbasis data mengenai data pribadi pasien tentang genomik, laju metabolisme, dan gaya hidup mereka meminimalkan bahaya

yang disebabkan oleh dosis yang salah atau potensi efek samping akibat dosis obat yang tidak tepat. Hal ini sangat membantu dalam mengelola penyakit kompleks, yang mungkin memerlukan intervensi farmakologis yang halus, seperti diabetes atau kanker, di mana rejimen dosis yang dipersonalisasi dapat meningkatkan efektivitas pengobatan dan keselamatan pasien secara signifikan. Aplikasi AI lain yang menjanjikan dalam kepatuhan pengobatan adalah aplikasi seluler dan perangkat yang dapat dikenakan. Peningkat yang dipersonalisasi, umpan balik waktu nyata, dan pelacakan kepatuhan oleh teknologi ini akan mendorong pasien untuk tetap tertarik dengan rencana pengobatan mereka.

Mereka juga menyampaikan informasi tentang kepatuhan kepada tenaga kesehatan, yang dapat melakukan intervensi jika terdapat masalah. Pengawasan proaktif ini dapat mengurangi risiko komplikasi dan rawat inap ulang di rumah sakit, sehingga meningkatkan hasil kesehatan jangka panjang. AI menawarkan peluang luar biasa untuk mentransformasi pengalaman pemulihan pasien di masa depan dalam perawatan rehabilitasi. Hal ini merupakan komponen inti dalam sistem pelayanan kesehatan, yang bertujuan agar proses rehabilitasi berhasil memulihkan fungsi fisik, kognitif, dan psikologis. Hasilnya, program rehabilitasi berdasarkan berbagai protokol rehabilitasi akan dipersonalisasi dengan tepat, mudah diakses, dan ekonomis. Dengan menggunakan robotika dan AI, eksoskeleton dan alat bantu dapat mendukung rehabilitasi fisik dengan memandu pasien melalui gerakan yang akurat dan berulang untuk membantu mereka pulih. Hal ini dapat mengubah tingkat bantuan secara dinamis berdasarkan perkembangan pasien, sehingga memungkinkan pasien untuk kembali bergerak secara mandiri secara bertahap. Misalnya, pasien yang menderita stroke atau cedera tulang belakang juga dapat dibantu dengan robot yang memberikan stimulasi pemulihan fungsi motorik, yang memungkinkan gerakan yang lebih berulang dan akurasi yang lebih tinggi daripada latihan rehabilitasi pada umumnya. Hal ini akan memanfaatkan analitik prediktif ketika membantu menetapkan ekspektasi pemulihan dengan tepat dan memandu rencana rehabilitasi selanjutnya. Menurut AI, dengan menggunakan informasi yang dikumpulkan dari kasus-kasus serupa sebelumnya pada pasien dengan situasi yang serupa, seseorang dapat memprediksi jangka waktu pemulihan, hasil yang diantisipasi, dan komplikasi yang terkait dengan pemulihan. Kemampuan prediktif ini akan memungkinkan penyedia layanan kesehatan untuk menetapkan tujuan yang dapat dicapai, menyesuaikan rencana terapi, dan mengarahkan pasien dengan lebih baik dalam rehabilitasi. Misalnya, model AI dapat memperkirakan berapa lama waktu yang dibutuhkan pasien dengan patah tulang pinggul untuk mendapatkan mobilitas atau memprediksi kapan pemulihan mental kemungkinan terjadi pada pasien dengan cedera otak traumatis. Manfaat ini tidak hanya menghadirkan transparansi dan kejelasan bagi pasien tetapi juga alokasi sumber daya bagi penyedia layanan kesehatan.

5.8 KESIMPULAN

Teknologi AI juga semakin banyak digunakan di seluruh aplikasi layanan kesehatan, termasuk manajemen penyakit, manajemen pengobatan, dan perawatan rehabilitasi. Teknologi ini digunakan untuk pencitraan dan diagnostik medis, perawatan pasien virtual,

meningkatkan keterlibatan pasien, dan kepatuhan pasien terhadap perawatan. Teknologi ini juga meringankan beban administratif dari tenaga kesehatan, mendorong pengembangan obat dan vaksin baru, dan memantau kepatuhan terhadap rekomendasi olahraga. Rehabilitasi berbantuan teknologi oleh AI juga digunakan untuk analisis gaya berjalan. Kualitas data kesehatan yang ada dan keterbatasannya dalam mencerminkan kualitas esensial manusia, seperti welas asih, juga menentukan efektivitas AI. AI dapat meningkatkan efisiensi operasional secara signifikan, tetapi tidak dapat menggantikan koneksi manusia, yang vital bagi kerja sama tim dan perawatan pasien yang efektif. Kemampuan mesin untuk membentuk hubungan yang bermakna dengan manusia masih perlu dicapai. Namun, mempertimbangkan implikasi teknologi, etika, dan sosial dalam pengembangan dan implementasinya sangat penting bagi tata kelola teknologi AI di masa depan. Dalam Bab ini akan berkontribusi pada literatur dengan menghimpun aplikasi AI dalam manajemen penyakit, manajemen pengobatan, rehabilitasi, dan fungsi administratif lainnya. Dalam Bab ini juga memberikan pandangan terkini tentang tantangan etika, sosial, tata kelola, dan teknis yang dihadapi para profesional kesehatan dalam mengadopsi teknologi AI dalam pelayanan kesehatan.

BAB 6

AI UNTUK ROBOT BANTU

6.1 PENDAHULUAN

Memahami Robot Bantu

Robot layanan merupakan subkategori Robotika industri dalam Pelayanan Kesehatan (RH) yang dicirikan oleh kemampuannya untuk memberikan dukungan kepada manusia dalam berbagai aktivitas yang mungkin menantang atau bahkan tak terpikirkan karena disabilitas. Robot-robot ini memainkan peran penting dalam pelayanan kesehatan, perawatan lansia, rehabilitasi, pengajaran, dan pembelajaran, serta di tempat kerja. Sementara robot industri dalam proses manufaktur membutuhkan akurasi dan pengulangan kecepatan tinggi, robot bantu berfokus pada interaksi, kemampuan beradaptasi, dan keterjangkauan.

Peran Kecerdasan Buatan (AI)

AI telah merevolusi kemampuan robot bantu, memungkinkan mereka untuk:

- Memvisualisasikan lingkungan sekitar melalui sensor cerdas dan sistem pemrosesan penglihatan.
- Beradaptasi dengan pola penggunaan pribadi setiap pengguna melalui bantuan teknik pembelajaran mesin (ML).
- Ekspresikan ide melalui pemrosesan bahasa alami (NLP) atau gunakan pemrosesan bahasa alami (NLP) sebagai sarana komunikasi bisnis, konsumen, dan pertemanan.
- Buat keputusan dan jalankan tugas secara mandiri, seringkali dalam waktu nyata (real-time).

Mengapa Robot Bantu Berbasis AI Sangat Penting

Permintaan robot bantu didorong oleh beberapa faktor sosial:

- **Populasi yang Menua:** Di seluruh dunia, kita melihat bahwa jumlah lansia semakin meningkat. Seperti yang terlihat saat ini, terdapat populasi lansia yang sangat besar di mana pada tahun 2050 satu dari setiap enam orang akan berusia di atas 65 tahun. Kesulitan dalam mengasuh dapat diatasi dengan robot bantu dan mengurangi beban anggota keluarga.
- **Meningkatnya Prevalensi Disabilitas:** Organisasi kesehatan mengungkapkan bahwa saat ini lebih dari 1 miliar orang di seluruh dunia menderita berbagai disabilitas. Robot sosial dapat digunakan untuk membantu seseorang dalam melakukan berbagai aktivitas, dan meningkatkan kualitas hidupnya.
- **Tekanan Layanan Kesehatan dan Ekonomi:** Solusi berbasis AI juga berpotensi mengurangi tekanan dari layanan kesehatan dan menurunkan biaya perawatan kronis, rehabilitasi, dan pengasuhan yang terus meningkat.

Tren dan Inovasi Terkini

Bidang robotika bantu telah berkembang pesat selama beberapa tahun terakhir berkat penggunaan solusi AI. Inovasi-inovasi utama meliputi:

- ElliQ, robot pendamping yang tidak memerlukan interaksi fisik dengan lansia dalam upaya meringankan beban pengasuh informal melalui AI percakapan.
- Teknologi antarmuka saraf memungkinkan anggota tubuh buatan dikendalikan melalui sinyal saraf pemakainya.
- Eksoskeleton yang digunakan sebagai alat bantu mobilitas bagi penderita masalah tulang belakang atau penyakit otot.
- Perangkat pengantar swakemudi yang ditujukan untuk digunakan oleh peserta mobilitas terbatas.

Tantangan dan Peluang

Meskipun potensi AI dalam robotika bantu sangat besar, terdapat tantangan-tantangan, seperti:

- Penerapan yang etis dan privasi pengguna yang terjaga.
- Pemanfaatan sumber daya untuk merancang solusi yang terjangkau bagi banyak orang.
- Kurangnya perhatian dan kepercayaan terhadap sistem robotika sosial.

Namun, prospeknya lebih menjanjikan daripada ancaman yang telah dijelaskan sebelumnya. Seiring kemajuan dalam AI, penggunaannya dalam robot bantu akan mendefinisikan ulang dukungan dan perawatan bagi orang-orang yang bergantung agar mereka berdaya dan menjalani kehidupan yang lebih bermartabat.

Tujuan dan Cakupan Bab Ini

- Bab ini membahas secara mendalam hubungan antara AI dan robotika bantu, dengan fokus pada:
- Teknik-teknik utama AI yang berkaitan dengan robot bantu.
- Penggunaan di berbagai sektor seperti kesehatan anak, perawatan lansia, dan layanan rehabilitasi lainnya.
- Beberapa hambatan, isu etika, dan keterbatasan penelitian yang terkait dengan implementasi sistem ini.
- Mega tren lainnya seperti AI generatif dan antarmuka otak-komputer.

Bab-bab seperti ini berusaha mencakup aspek-aspek ini untuk memberikan pemahaman kepada pembaca tentang bentuk robotika bantu AI yang sedang berkembang dan implikasinya bagi masa depan perawatan dan bantuan.

Kebaruan Bab Ini

Bab ini memberikan wawasan baru ke dalam bidang teknologi bantu yang berkembang pesat dengan menyajikan kemajuan-kemajuan utama dalam kecerdasan buatan dan robotika terkait dengan implementasi praktis yang konkret. Kebaruan bab ini terletak pada beberapa aspek utama yang membuatnya menonjol dari literatur yang ada:

Pendekatan Interdisipliner: Bab ini mengintegrasikan gagasan-gagasan dari bidang AI dan robotika serta penerapannya dalam layanan kesehatan, dipadukan dengan pertimbangan etika dan ilmu sosial. Penghubungan konsep teknis robot dan pembelajaran mesin melampaui prinsip-prinsip membangun robot atau algoritma penyembuhan penyakit dengan prospek perubahan dalam masyarakat manusia. Materi yang disajikan dalam bab ini bersifat

interdisipliner yang memungkinkan pengkategorianya berdasarkan subjek dan membuatnya mudah dipahami oleh audiens teknis maupun nonteknis.

Penyertaan Teknologi AI yang Berkembang: Bab ini memberikan analisis komprehensif tentang kecerdasan baru yang muncul dalam robotika bantu yang merevolusi AI saat ini. Beberapa di antaranya adalah pembelajaran mendalam, NLP, dan pengenalan emosi, serta Brain-Computer Interfaces (BCIs), yang untuk pertama kalinya diterapkan pada robot bantu. Dengan membahas teknologi AI baru dalam kompilasi ini, pembaca dapat mempelajari arah perkembangan bidang ini dan arah yang dipetakan untuk masa depan.

Eksplorasi Implikasi Etis dan Sosial: Selain melaporkan lebih banyak tentang "pengetahuan" AI dan robotika dibandingkan dengan kebanyakan penelitian teknis, bab ini juga memberikan perhatian yang memadai terhadap pertimbangan etika, sosial, dan emosional dalam penggunaan robot bantu. Topik dan isu seperti privasi, agensi, dan kondisi emosional pengguna dibahas secara rinci. Isu-isu etika dan sosial tersebut bermanfaat untuk menghindari terjebak pada pembahasan teknologi yang spesifik, dan mendorong pembaca untuk berpikir tentang penerapan umum AI dalam robot bantu.

Visi yang Jelas untuk Tren Masa Depan: Bab ini memberikan pandangan positif tentang perkembangan AI dalam robot bantu dengan mengungkap tren dan isu yang dapat mengubah arena ini di masa depan. Ini merupakan kombinasi penerapan robot di lingkungan cerdas, kebutuhan akan solusi hemat biaya, dan pergeseran menuju antarmuka multimoda. Selain bermanfaat untuk menilai kondisi pengetahuan terkini di bidang ini, bab ini menguraikan rencana tren masa depan dan memberikan saran tentang bagaimana bidang ini dapat berkembang ke depannya.

Cakupan Masa Depan yang Komprehensif: Konten bab ini tidak hanya berfokus pada spekulasi belaka, tetapi juga menawarkan beragam perspektif tentang perkembangan AI yang akan datang dalam robotika bantu. Di dalamnya, komputasi kuantum, 5G, komputasi tepi, dan robotika kolaboratif digabungkan ke dalam diskusi dengan tujuan menunjukkan bagaimana teknologi-teknologi ini bekerja secara harmonis untuk membangun robot pembantu yang cerdas, berskala besar, dan otonom.

6.2 EVOLUSI HISTORIS AI DALAM ROBOT BANTU

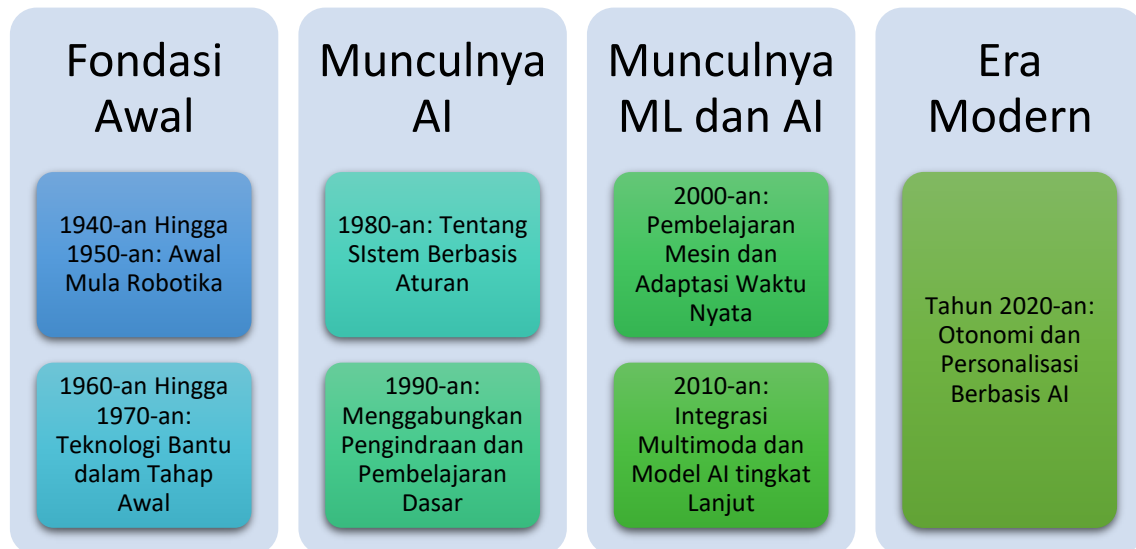
Perkembangan AI dalam robot bantu merupakan proses historis yang melacak momen-momen penting dalam kemajuan teknologi sebagai cara untuk menggambarkan peningkatan interaksi manusia-robot. Proses ini memperluas perkembangan kronologis robot bantu dari bentuk awalnya hingga sistem kontemporer seperti yang disebutkan pada Gambar 6.1.

Fondasi Awal: Robotika dan Teknologi Bantu

1940-an–1950-an—Fajar Robotika: Robotika sebagai cabang ilmu pengetahuan berkembang pada pertengahan abad ke-20 ketika mesin dikembangkan terutama untuk keperluan industri. Gagasan tentang robot bantu hanya berupa imajinasi; bahkan kenyataan pun menyerupai gagasan futuristik dari film fiksi ilmiah.

Contoh: Awalnya, hanya "Tiga Hukum Robotika" karya Isaac Asimov dari tahun 1942 yang memunculkan gagasan pertama tentang interaksi manusia-robot.

1960-an–1970-an—Teknologi Bantu dalam Tahap Awal: Perkembangan awal teknologi bantu umumnya berkaitan dengan alat bantu teknologi untuk disabilitas. Kursi roda bermotor dasar dan alat bantu dengar menciptakan dasar bagi rangkaian di mana robotika dapat diintegrasikan untuk fungsi-fungsi bantu.



Gambar 6.1 Evolusi Historis AI.

Kemunculan AI dalam Robotika Bantu

1980-an—Tentang Sistem Berbasis Aturan: Pada model-model awal robot bantu, sistem AI yang digunakan mengandalkan pendekatan perilaku dan diprogram untuk melakukan tindakan tertentu sebagai respons terhadap isyarat lingkungan tertentu.

Contoh: WAMOEBA (Wheelchair AMOEBA) diciptakan di Jepang pada tahun 1980-an untuk bersirkulasi di area yang telah dipetakan sebelumnya tetapi dengan daya adaptasi yang rendah terhadap perubahan.

1990-an—Mengintegrasikan Penginderaan dan Pembelajaran Dasar: Penelitian AI mengalihkan perhatiannya ke arah pemanfaatan sensor untuk meningkatkan kemampuan mengamati lingkungan dan meresponsnya.

Contoh: Robot seperti robot pencari jalur yang digunakan di rumah sakit seperti Helpmate memang menggunakan elemen algoritma perencanaan dalam operasinya, tetapi tidak menggabungkan kemampuan pengambilan keputusan tingkat tinggi.

Kemunculan Pembelajaran Mesin dan AI Tingkat Lanjut

2000-an—Adaptasi Pembelajaran Mesin Real-Time: Pembelajaran mesin muncul sebagai sebuah revolusi dalam robotika karena memungkinkan pembelajaran dari data dan penyesuaian terhadap lingkungan. Pada masa ini, robot mulai diintegrasikan ke dalam proses visi komputer untuk tujuan mengidentifikasi objek dan menghindari rintangan.

Contoh: Honda memperkenalkan ASIMO yang meniru gerakan manusia dan dapat mengikuti instruksi suara.

2010-an—Integrasi Multimoda dan Model AI Tingkat Lanjut: Pada periode 2010-an, robot asisten menggunakan fasilitas visual, akustik, dan taktil untuk meningkatkan interaksi antara pengguna dan robot di samping kinerja tugas yang diberikan.

Contoh: Robot Pepper dari SoftBank mengintegrasikan NLP dengan pengenalan wajah untuk memungkinkan lansia berkomunikasi dengan mereka dan juga menggunakannya untuk mengingatkan mereka tentang waktu minum obat.

Era Modern: Pembelajaran Mendalam dan Robotika Sadar Konteks

2020-an—Otonomi dan Personalisasi Berbasis AI: Kemajuan lebih lanjut yang dicapai dalam menggabungkan pembelajaran mendalam dan jaringan saraf telah menyempurnakan robot bantu untuk mengatasi sifatnya yang bodoh dan bertransformasi menjadi robot yang sangat cerdas serta memiliki kemampuan untuk menafsirkan konteks dan kebutuhan pribadi pengguna.

Aplikasi komersial implan siberetik manusia dengan prostetik versi AI yang merespons perintah saraf menjadi layak.

Pasar ini mencakup peralatan rumah pintar seperti Roomba yang menggabungkan Alexa untuk membersihkan rumah sambil berinteraksi dengan pemiliknya melalui pemrosesan bahasa alami.

HAL (Hybrid Assistive Limb), sebuah robot eksoskeleton, memungkinkan penyandang disabilitas bergerak dengan mendeteksi sinyal biologis secara real-time.

Perkembangan Utama dan Pergeseran Paradigma

Dari Sistem Berbasis Aturan ke Berbasis Data: Sistem awal bekerja dengan string kunci atau yang telah ditentukan sebelumnya, sementara sistem saat ini memanfaatkan data untuk bekerja dan meningkatkannya.

Dari Interaksi Kaku ke Interaksi Kontekstual: Secara spesifik, robot bantu berubah dari sekadar menyelesaikan operasi spesifik menjadi mampu berinteraksi berdasarkan individu dan lingkungan.

Dari Fungsi Terisolasi ke Integrasi: Sebagian besar robot bantu yang baru dirancang terhubung ke jaringan, yang membuatnya beroperasi selaras dengan objek Internet of Things (IoT) dan AI berbasis cloud.

Tantangan dan Pembelajaran dari Evolusi

Hambatan Teknologi: Tantangan-tantangan ini terlihat pada sistem awal di mana daya pemrosesannya dapat diabaikan, sensornya tidak efisien, dan baterainya juga kurang tahan lama.

Penerimaan Etis dan Sosial: Terdapat kekhawatiran tentang apakah robot bantu menghadirkan lingkungan yang aman dan lebih atau kurang andal dibandingkan perawat manusia, dan apakah robot tersebut dapat menggantikan perawat manusia.

Pembelajaran Utama: Para peneliti AI dan profesional kesehatan telah menandai kolaborasi erat dengan para insinyur untuk mencapai kesuksesan.

Dampak Evolusi Historis

Transformasi dari pemrosesan alat bantu mekanis untuk penyandang disabilitas menjadi pengembangan robot bantu cerdas telah sepenuhnya mengubah proses

penyembuhan, perawatan lansia yang bergantung, dan rehabilitasi. Posisi revolusioner AI menjamin bahwa generasi robot bantu selanjutnya akan mampu mengakomodasi kebutuhan manusia dari berbagai generasi secara progresif.

6.3 TEKNOLOGI AI UTAMA DALAM ROBOT BANTU

Dengan penetrasi AI ke dalam kendali robot bantu, robot-robot terbaru telah terbukti menunjukkan fungsi tingkat tinggi yang memungkinkan mereka melakukan tugas-tugas tertentu, mengubah operasinya secara fleksibel di lingkungan tertentu, dan berinteraksi secara aktif dengan manusia. Bagian ini membahas teknologi-teknologi utama dalam AI di balik peningkatan ini dan di mana teknologi tersebut berguna.

Pembelajaran Mesin

Pembelajaran mesin adalah salah satu cabang penting AI di mana robot dapat dilatih dan dikembangkan berdasarkan data sehingga dapat mengubah alur sesuai kebutuhan dan menjadikannya lebih baik.

Pembelajaran Terbimbing

Pembelajaran terbimbing adalah proses mengajarkan robot untuk membaca pola-pola yang kompleks melalui kumpulan data berlabel untuk membuat prediksi.

Contoh: Melatih robot untuk membedakan figur seperti kursi roda, meja, atau garpu dalam inisiatif perawatan.

Pembelajaran Tanpa Pengawasan

Robot menemukan hubungan antara "bahan mentah yang tidak ditandai", seperti pengelompokan untuk memahami preferensi pengguna.

Contoh: Robot pendamping mengelompokkan aktivitas yang berkaitan dengan maksud untuk mengusulkan aktivitas yang relevan, misalnya, hobi.

Pembelajaran Penguatan (RL)

Agen yang terorganisir sendiri tahu "apa" yang harus dilakukan berdasarkan hasil yang mereka terima dari melakukan hal-hal tertentu.

Contoh: Robot bantu aktif untuk memberi makan yang dilengkapi lengan robotik dengan kemampuan mengubah gaya genggam dan orientasi sendok menggunakan informasi dari pengguna.

Aplikasi:

- Permainan rehabilitasi terapi fisik yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan pasien.
- Peningkatan kursi roda yang dikendalikan secara otonom untuk pergerakan di area ramai.

Visi Komputer

Penglihatan memungkinkan robot bantu "mengenali" visual dunia tempat mereka berada.

Deteksi dan Pengenalan Objek

Robot memiliki kemampuan dalam pengenalan dan kategorisasi penglihatan secara real-time.

Contoh: Mengidentifikasi instrumen bedah di ruang operasi atau menemukan barang yang salah tempat bagi penyandang disabilitas.

Pengenalan Wajah

Sensor mengidentifikasi suasana hati atau melacak pelanggan untuk pendekatan yang dipersonalisasi.

Contoh: Robot pendamping yang pertama-tama mendeteksi tanda-tanda ketika pengguna lansia tampak kesal, lalu mengajak mereka mengobrol untuk membantu mereka rileks.

Pemahaman Pemandangan

Robot mampu memahami lingkungan sekitarnya secara spasial untuk menemukan cara menavigasi atau menghindari objek atau peristiwa, dan merespons secara kontekstual.

Contoh: Perilaku temporal algoritma yang diusulkan dalam menavigasi area rumit di dalam ruangan tanpa melibatkan pengguna.

Aplikasi:

- Membantu monitor bagi penyandang tunanetra untuk mengidentifikasi objek serta teks.
- Memungkinkan robot untuk menafsirkan dan mereplikasi gerakan fisik yang digunakan dalam interaksi selama sesi terapi.

Pemrosesan Bahasa Alami

Melalui NLP, robot dapat memahami, menganalisis, dan berinteraksi dengan manusia serta merespons dalam bahasa yang sama.

Pengenalan Ucapan

Robot yang supel mendengarkan instruksi lisan dan bertindak sesuai dengannya.

Contoh: Robot pengasuh setelah pengguna mengatakan sesuatu seperti "matikan lampu" atau "suruh dokter datang."

Pembangkitan Bahasa

Robot mampu memberikan respons alami yang tepat.

Contoh: Robot yang mengingatkan pasien tentang waktu minum obat dan memberitahunya dengan lembut.

Dukungan Multibahasa

Robot ini dirancang untuk mendukung pengguna dalam multibahasa, sehingga memudahkan pengguna berinteraksi dengan robot.

Contoh: Robot asisten rumah tangga yang menerjemahkan antar anggota keluarga yang berbicara dalam bahasa pertama yang berbeda.

Aplikasi:

- Bantuan bagi penyandang gangguan bicara, berkat pengenalan suara dan penerjemahan teks ketikan ke suara.
- Menawarkan kegiatan belajar bagi anak-anak yang mengalami keterlambatan perkembangan.

Pembelajaran Penguatan

Pembelajaran penguatan berkaitan dengan pelatihan robot untuk membuat keputusan dengan mengadopsi konsep sistem insentif dan hukuman dalam suatu lingkungan.

Kontrol Adaptif

Robot merespons penghargaan dan hukuman, serta perubahan di sekitarnya.

Contoh: Pembelajaran eksoskeleton robotik untuk pasien stroke tentang gerakan sendi yang tepat untuk proses pemulihan.

Penanganan Tugas Kompleks

Robot mampu mengingat aktivitas tertentu, misalnya, pengaturan peralatan bedah atau memasak makanan.

Contoh: Contohnya mungkin melibatkan robot asisten dapur yang sedang menyiapkan roti lapis tetapi perlu menghormati pasien yang alergi.

Aplikasi:

- Dengan cara ini, motor dapat membantu menghubungkan robot dalam latihan dengan individu yang membutuhkan rehabilitasi, sehingga memberikan fleksibilitas dalam latihan mandiri.
- Memungkinkan kendaraan untuk secara preemptif mempersiapkan diri menghadapi medan luar ruangan yang kompleks demi kelancaran pengiriman oleh robot pengantar.

Fusi Sensor

Fusi data melibatkan pengintegrasian data dari berbagai sensor ke dalam strategi yang diusulkan untuk membangun persepsi lingkungan.

Integrasi Multisensori

Data mentah dari kamera, Light Detection and Ranging Sensor (LIDAR), mikrofon, dan sensor sentuh digabungkan untuk meningkatkan proses pengambilan keputusan.

Contoh: Robot dengan penglihatan dan sentuhan yang luar biasa untuk mengambil benda yang mudah pecah.

Adaptasi Real-Time

Penggabungan memungkinkan robot beradaptasi terhadap perubahan, misalnya, benda yang bergerak.

Contoh: Kursi roda cerdas untuk penyandang disabilitas yang dapat dikendalikan dengan gestur, dan kursi roda tersebut mendeteksi sinyal visual dan audio untuk menghindari rintangan.

Aplikasi:

- Bantuan akurat mulai dari berpakaian hingga makan.
- Fitur keselamatan alat bantu mobilitas untuk individu dengan gangguan penglihatan.

Analisis Sentimen dan Perasaan

Kecerdasan emosional membantu robot mengidentifikasi kondisi emosional pengguna dan memulai interaksi dengan mereka.

Analisis Ekspresi Wajah

Robot mampu mengidentifikasi suasana hati pengguna tertentu berdasarkan beberapa ekspresi wajah yang sangat spesifik.

Contoh: Robot untuk lansia yang berbicara hal-hal yang menenangkan ketika mengenali perasaan sedih.

Analisis Nada Suara

Algoritma mempelajari suasana hati, perasaan, dan temperamen seseorang melalui nada dan tinggi rendahnya suara mereka.

Contoh: Mengubah "suara" percakapan berdasarkan tingkat stres pengguna saat ini.

Aplikasi:

- Konseling pasien yang menderita gejala gangguan mental.
- Meningkatkan komunikasi sosial pada anak autis melalui penggunaan emosi sebagai respons.

Komputasi Berbasis Konteks

Biro Investigasi Federal (FBI) juga menggunakan aplikasi AI berbasis konteks dalam penggunaan robot dengan memungkinkan mereka bertindak sebagai respons terhadap lingkungan pengguna dan kondisi mereka saat ini dan yang diinginkan.

Adaptasi Dinamis

Robot mengubah keluarannya tergantung pada konteks tempat mereka ditempatkan.

Contoh: Robot asisten pribadi yang membuat ucapan lebih keras di lingkungan yang bising.

Pemodelan Pengguna

Sistem AI memperoleh informasi pola preferensi, kebiasaan, dan/atau kebutuhan jangka panjang untuk memperkirakan perilaku di masa mendatang.

Contoh: Memberi peringatan kepada pengguna pada waktu yang paling tepat untuk pengambilan keputusan berdasarkan interval yang digunakan sebelumnya.

Aplikasi:

- Meningkatkan layanan perawatan dengan mengidentifikasi kemungkinan masalah kesehatan sebelum terjadi.
- Untuk menjadikan robot bukan hanya instrumen pasif yang merespons tindakan, tetapi juga alat aktif yang cerdas atau setidaknya cerdas yang membantu dalam menjalankan tugas mereka.

AI Edge dan Komputasi Awan

AI Edge

Kemampuan luring robot dalam memproses data dan membuat keputusan tanpa memerlukan akses internet selama bertugas.

Contoh: Robot yang membantu individu yang berisiko jatuh, mengingatkan pengasuh saat dibutuhkan.

Komputasi Awan

Mendukung robot asisten untuk memiliki daya komputasi langsung dan terhubung dengan perangkat lain.

Contoh: Aplikasi AI untuk asisten rumah tangga ditingkatkan dengan meningkatkan pengetahuan bahasa mereka lebih lanjut melalui pembaruan berkelanjutan di awan.

Aplikasi:

- Merancang robot agar dapat berkomunikasi satu sama lain tentang apa yang mereka pelajari dan bagaimana mereka melakukannya, untuk mengoptimalkan kinerja robot asisten di seluruh geografi sistem layanan kesehatan.

Semua teknologi AI ini jika digabungkan dapat membantu robot asisten menjalankan tugas-tugas baru yang lebih kompleks dan spesifik, serta mengubah cara mereka berinteraksi dan membantu manusia. Namun, teknologi ini juga menentukan bagaimana sensor, visi komputer, dan perangkat AI canggih membantu membuat robot tersebut fungsional, sekaligus berempati dan efektif dalam merespons kebutuhan pengguna.

6.4 APLIKASI KECERDASAN BUATAN DI SEKTOR ROBOT BANTU

Robot bantu menggabungkan AI untuk meningkatkan kegunaan dalam melakukan tugas serta mempelajari kebutuhan pengguna dengan tujuan utama menjadikan keberadaannya universal di berbagai domain. Robot ini mencakup berbagai sektor, termasuk layanan kesehatan, perawatan lansia, rehabilitasi, pendidikan, dan sektor lainnya. Mustahil bagi penyandang disabilitas dan banyak orang lainnya untuk hidup tanpa robot bantu yang didukung AI. Informasi berikut mengkaji aplikasi ini secara lebih komprehensif.

Layanan Kesehatan dan Rehabilitasi

Rehabilitasi Fisik: Robot yang dilengkapi dengan algoritma pembelajaran mesin menyediakan latihan rehabilitasi yang dipersonalisasi bagi pasien yang sedang dalam pemulihan dari cedera, stroke, atau operasi.

Pemantauan Pasien: Robot yang terintegrasi dengan sensor dan kecerdasan buatan mengukur parameter fisiologis dan status kesehatan pasien, serta melaporkan perubahan atau kelainan.

Bantuan Bedah: Peralatan bedah seperti Sistem Bedah da Vinci membantu ahli bedah selama operasi yang rumit dengan memanfaatkan kecerdasan buatan.

Manfaat Utama:

- Pemulihan lebih cepat melalui rencana rehabilitasi yang disesuaikan.
- Mengurangi beban kerja tenaga medis.
- Meningkatkan akurasi dan keamanan dalam intervensi medis.

Perawatan Lansia

Robot Pendamping: Asisten robot sosial, ElliQ dan Jibo, dirancang untuk mendorong interaksi sosial dengan menyediakan pendampingan guna mengurangi kesepian dengan memanfaatkan AI.

Bantuan Harian: Robot rumah tangga membantu lansia memasak makanan, minum obat, dan bahkan membersihkan rumah.

Deteksi Jatuh dan Tanggap Darurat: Robot pintar yang dilengkapi kecerdasan buatan serta sensor mengidentifikasi risiko jatuh dan memberi tahu perawat atau layanan darurat.

Manfaat Utama:

- Meningkatkan keamanan dan kemandirian lansia.
- Kesejahteraan emosional melalui pendampingan dan keterlibatan.
- Mengurangi beban pengasuh dan sistem layanan kesehatan.

Bantuan Disabilitas

Bantuan Mobilitas: Kursi roda berkemampuan AI mampu bermanuver sendiri di lingkungan tertentu, menghindari rintangan, dan memetakan cara terbaik untuk melakukannya.

Prostetik dan Eksoskeleton: AI meningkatkan prostetik untuk belajar dari sinyal saraf penggunanya dengan tujuan menawarkan kontrol yang lebih alami.

Alat Bantu Komunikasi: Robot membantu penyandang gangguan bicara berbicara dengan sintesis suara dan NLP.

Manfaat Utama:

- Otonomi dan mobilitas yang lebih besar bagi pengguna.
- Kemampuan komunikasi dan interaksi yang lebih baik.
- Meningkatkan rasa percaya diri dan integrasi sosial.

Pendidikan dan Pengasuhan Anak

Robot Terapi: Robot yang dioperasikan dari jarak jauh seperti NAO dan Kaspar digunakan dalam pengajaran keterampilan sosial, regulasi emosi, dan permainan interaktif untuk anak-anak dengan spektrum autisme.

Bimbingan Belajar dan Dukungan Pembelajaran: Robot bergerak memberikan pelajaran, merespons modalitas belajar unik peserta didik, dan memberikan umpan balik berdasarkan kecerdasan berbasis AI.

Dukungan Emosional dalam Pengasuhan Anak: Mantra Machin adalah teman yang otonom dan interaktif yang dapat secara efektif membantu tindakan anak atau membantu mengartikulasikan perasaan atau mengurangi tekanan.

Manfaat Utama:

- Peningkatan hasil pembelajaran melalui personalisasi.
- Peningkatan keterampilan sosial dan emosional pada anak-anak dengan gangguan perkembangan.
- Peningkatan aksesibilitas pendidikan bagi anak-anak penyandang disabilitas.

Integrasi Tempat Kerja

Dukungan Aksesibilitas: Ini mencakup pekerja yang tidak dapat menggerakkan anggota tubuh mereka dengan baik untuk melakukan tugas-tugas tertentu seperti yang mungkin dituntut oleh tempat kerja tertentu, di mana robot akan membantu mengoperasikan peralatan tertentu atau mengelola dokumen.

Lingkungan Kerja Berbahaya: Kendaraan berpemandu otomatis yang diberdayakan oleh algoritma dan sensor cerdas beroperasi di wilayah berbahaya, sehingga berhasil meminimalkan bahaya bagi personel.

Manfaat Utama:

- Peningkatan inklusi penyandang disabilitas dalam dunia kerja.
- Peningkatan keselamatan dan produktivitas di industri berbahaya.

Bantuan Rumah

Integrasi Rumah Pintar: Robot menggunakan koneksi berbasis internet untuk mengontrol perangkat dan peralatan IoT, pencahayaan, dan suhu.

Otomatisasi Tugas dan Tugas: Biasanya, robot melakukan operasi sederhana, beberapa di antaranya termasuk berbelanja, membersihkan, atau bahkan menata barang.

Manfaat Utama:

- Rutinitas harian yang lebih mudah bagi individu dengan keterbatasan fisik.
- Kenyamanan dan kualitas hidup yang lebih baik.
- Kemandirian pengguna dalam mengelola rumah tangga menjadi lebih baik.

Kesehatan Mental dan Dukungan Emosional

Manajemen Stres dan Kecemasan: Perangkat khusus dengan fitur Manajemen Stres dan Kecemasan (SA) bawaan mendeteksi tingkat stres dan menyarankan mainan yang menenangkan atau bahkan musik.

Konseling dan Motivasi: Kecerdasan buatan berbasis percakapan menemani pengguna melalui interaksi verbal dan nonverbal, dan dapat memberikan meditasi atau afirmasi positif kepada pengguna.

Manfaat Utama:

- Mengurangi stres dan kesepian pada individu yang rentan.
- Dukungan kesehatan mental yang mudah diakses bagi pengguna di daerah terpencil.

6.5 KEUNGGULAN AI DALAM ROBOTIKA BANTU

AI memiliki nilai yang sangat besar dalam robotika bantu, terutama dalam rehabilitasi penyandang disabilitas, perawatan pasien, dan peningkatan kualitas hidup. Bagian berikut akan memberikan evaluasi mendetail tentang berbagai manfaat AI dalam disiplin ilmu ini.

Peningkatan Otonomi dan Kemandirian

AI membantu dalam pengembangan robot bantu mandiri yang menghilangkan kebutuhan akan pengasuh manusia.

Bagi Penyandang Disabilitas: Kursi roda self-driving dapat diatur oleh AI dan membantu pengguna mengendalikannya tanpa bantuan orang lain. Pembuatan anggota tubuh buatan dengan fitur-fitur canggih memungkinkan pasien makan, minum, atau bahkan membuka pintu sendiri.

Bagi Lansia: Robot AI membantu pengguna memenuhi kebutuhan hidup sehari-hari, misalnya, minum obat atau memasak.

Manfaat Utama:

- Meningkatkan kemandirian.
- Meningkatkan kepercayaan diri dan kualitas hidup pengguna.

Bantuan yang Dipersonalisasi

Dalam hal ini, AI berkontribusi dalam menghasilkan pemahaman tentang pengguna individual dan personal untuk robot bantu.

Personalisasi melalui Pembelajaran Mesin: Karena data pengguna dapat dikumpulkan dan dianalisis, robot dikembangkan untuk memberikan jawaban yang menyesuaikan dengan perilaku dan pengalaman pengguna sebelumnya.

Adaptasi Waktu Nyata: Sementara AI memungkinkan robot untuk mengubah perilakunya secara dinamis dan merespons perubahan konteks dan kondisi pengguna,

mungkin ada kasus di mana robot yang melakukan latihan rehabilitasi perlu secara bertahap mengintensifkan gerakan yang dihasilkan.

Manfaat Utama:

- Memastikan pengalaman yang berpusat pada pengguna.
- Meningkatkan efektivitas intervensi terapeutik dan asistif.

Kemurnian dan Kualitas yang Lebih Baik

Dalam Rehabilitasi: Hal-hal penting seperti gerakan sendi dan kontraksi otot dapat ditentukan secara efektif oleh robot dengan AI, sehingga memberikan terapi fisik yang dipersonalisasi.

Dalam Tugas Sehari-hari: Sistem otomatis melakukan identifikasi dan penanganan objek dengan presisi tinggi untuk mengurangi kesalahan identifikasi atau kerusakan objek.

Manfaat Utama:

- Memastikan dukungan yang konsisten dan akurat dalam tugas-tugas kritis.
- Mengurangi risiko yang terkait dengan kesalahan manusia, terutama dalam skenario medis atau perawatan.

Pengambilan Keputusan Secara Real-Time

Navigasi: Kursi roda dan aksesoris mobilitas mandiri dapat mendeteksi dan/atau menghindari objek dan juga bergerak di area yang ramai.

Tanggap Darurat: Sistem yang dilengkapi asisten robotik yang dikendalikan dengan sensor dan pemrograman AI canggih mengidentifikasi pengguna yang terjatuh atau menunjukkan denyut nadi/suhu yang tidak normal, dan memberi tahu perawat tanpa penundaan.

Manfaat Utama:

- Meningkatkan keamanan pengguna dalam skenario waktu nyata.
- Memberikan intervensi tepat waktu selama keadaan darurat.

Dukungan Emosional dan Sosial

Pengenalan Emosi: Berdasarkan penampilan pengguna, apa yang ia katakan, dan bagaimana ia mengatakannya, robot dapat menentukan perasaan pengguna.

Keterlibatan Sosial: Robot membuat lansia atau anak-anak dengan gangguan perkembangan bermain karena mereka dapat berinteraksi dengan mereka.

Manfaat Utama:

- Mengurangi kesepian dan meningkatkan kesejahteraan mental.
- Mendukung pertumbuhan emosional, terutama pada anak-anak dan individu yang rentan.

Efisiensi dalam Pelayanan Kesehatan

Pemantauan dan Peringatan Pasien: Robot digunakan di area yang membutuhkan pemeriksaan tanda-tanda vital pasien dan memberi peringatan kepada perawat ketika tanda-tanda tersebut tidak normal.

Bantuan Terapi: Dengan cara ini, robot rehabilitasi melakukan fungsi berulang sehingga terapis bebas untuk memenuhi kebutuhan unik pengguna.

Manfaat Utama:

- Meningkatkan produktivitas tim layanan kesehatan.
- Meningkatkan luaran pasien melalui intervensi yang konsisten dan tepat.

Aksesibilitas dan Inklusi

Dalam Pendidikan: Pembelajaran interaktif dimungkinkan melalui robot untuk mengajar siswa di kelas penyandang disabilitas.

Di Tempat Kerja: Bantuan dari lengan robot atau perangkat pintar membantu seseorang melakukan tugas dan membuat tempat kerja lebih mudah diakses.

Manfaat Utama:

- Mendorong kesetaraan kesempatan dalam pendidikan dan pekerjaan.
- Mendorong inklusi yang lebih besar dalam lingkungan sosial dan profesional.

Efektivitas Biaya Jangka Panjang

Mengurangi Kebutuhan Pengasuh Manusia: Robot membantu memenuhi kebutuhan perawatan rutin sehingga meminimalkan keterlibatan manusia dalam proses perawatan.

Meminimalkan Biaya Medis: Preeklamsia dan diabetes, misalnya, dapat dikelola melalui pemeriksaan rutin dan intervensi dini menghemat biaya perawatan yang mahal.

Manfaat Utama:

- Mengurangi beban keuangan pada keluarga dan sistem layanan kesehatan.
- Menyediakan solusi yang terukur untuk memenuhi permintaan populasi lanjut usia yang terus meningkat.

Skalabilitas dan Konsistensi

Ketersediaan 24/7: Robot selalu siaga dan dapat bertransaksi 24/7.

Standar Perawatan yang Seragam: AI mencegah variabilitas antar pengguna dan situasi yang berbeda, sehingga semua pasien menerima perawatan yang konsisten.

Manfaat Utama:

- Mengatasi kekurangan pengasuh.
- Menjaga keandalan dan keseragaman dalam layanan dukungan.

Dukungan untuk Daerah Terpencil

Telepresensi dan Bantuan Jarak Jauh: Robot menyediakan akses individual ke praktisi medis jarak jauh atau ke kelompok dukungan.

Pemantauan Otonom: Merawat pengguna di pedesaan atau lokasi lain yang kurang terlayani dimungkinkan oleh robot yang membantu melacak pengguna.

Manfaat Utama:

- Memperluas jangkauan layanan kesehatan dan bantuan.
- Mengatasi disparitas ketersediaan sumber daya.

6.6 ISU DAN KENDALA AI DALAM ROBOTIKA BANTU

Seiring penerapan AI dalam robotika bantu terus menghadirkan pengalaman transformatif bagi masyarakat, beberapa perubahan positif yang menyertai penerapan baru ini telah disadari, di samping beberapa kekurangan dan tantangan. Isu-isu ini bersifat teknis dan nonteknis, termasuk etika, sosial, dan ekonomi, yang tentunya dapat menjadi hambatan

bagi keberhasilan implementasi di berbagai aplikasi sistem ini. Pembahasan mendalam tentang masing-masing tantangan ini disajikan dalam teks berikut.

Tantangan Teknis

Kompleksitas Lingkungan Dunia Nyata

Lingkungan nyata, dalam hal ini, tidak terstruktur dan terus berubah, sehingga robot tidak dapat dengan mudah mengikutinya. Sulit bagi robot untuk beradaptasi dengan mulus.

Contoh: Robot bantu dapat mengalami kesulitan dalam mengelola rumah yang berantakan atau dalam merespons perubahan tak terduga dalam kebutuhan penggunanya.

Keandalan dan Ketahanan

Sistem AI harus berfungsi dengan andal di berbagai kondisi, tetapi masalah seperti malfungsi sensor, gangguan perangkat lunak, atau keausan perangkat keras dapat menyebabkan kegagalan.

Contoh: Robot pendeteksi jatuh gagal memperingatkan pengasuh karena kesalahan sensor.

Kelangkaan dan Kualitas Data

Sistem AI membutuhkan kumpulan data berkualitas tinggi dan beragam untuk pelatihan, tetapi memperoleh data tersebut untuk aplikasi khusus seperti robotika bantu dapat menjadi tantangan.

Contoh: Karena kami memiliki informasi terbatas tentang anak-anak penyandang disabilitas langka, efisiensi robot yang bertujuan untuk membantu anak-anak tersebut agak terpengaruh.

Kebutuhan Energi dan Komputasi

Robot yang digerakkan oleh AI seringkali membutuhkan energi dan sumber daya komputasi yang signifikan untuk pemrosesan dan pengambilan keputusan secara real-time, sehingga membatasi mobilitas dan otonominya.

Contoh: Robot yang bergantung pada cloud mungkin membutuhkan waktu untuk beroperasi, terutama di wilayah dengan konektivitas internet yang lambat.

Permasalahan Etika

Bias dan Keadilan

Model AI dapat mewarisi bias yang terdapat dalam data pelatihan, yang menyebabkan perlakuan tidak adil atau penurunan akurasi untuk kelompok pengguna tertentu.

Contoh: Sistem pengenalan suara berkinerja buruk bagi pengguna dengan pola bicara atipikal.

Otonomi vs. Kontrol

Menemukan keseimbangan antara otonomi robot dan kontrol pengguna merupakan tantangan, karena otonomi yang berlebihan dapat mengurangi kepercayaan pengguna atau menyebabkan tindakan yang tidak diinginkan.

Contoh: Tindakan robot yang dilakukan sebelum persetujuan pengguna dapat dianggap sebagai campur tangan seseorang.

Tantangan Sosial dan Psikologis

Risiko Ketergantungan

Ketergantungan yang berlebihan pada robot asisten dapat mengurangi motivasi pengguna untuk melakukan tugas secara mandiri atau mengembangkan mekanisme koping.

Contoh: Seorang pengguna terjebak dengan lengan robot yang melakukan tugas dan terjebak dalam situasi yang tidak mereka coba atasi sendiri.

Hambatan Budaya dan Sosial

Penerimaan robot bantu bervariasi di berbagai budaya dan masyarakat, yang memengaruhi adopsinya di wilayah tertentu.

Contoh: Perlu diakui lebih lanjut bahwa budaya yang memiliki permintaan lebih tinggi dan lebih langsung terhadap pengasuh manusia mungkin menantang pendekatan robotik.

Biaya dan Aksesibilitas

Ketersediaan Terbatas

Aksesibilitas terhadap teknologi ini mungkin terbatas pada wilayah perkotaan atau makmur, sehingga daerah pedesaan dan berpenghasilan rendah kurang terlayani.

Contoh: Robot bantu mungkin langka di negara berkembang karena kurangnya infrastruktur atau pendanaan.

Ketimpangan Ekonomi

Hambatan biaya memperburuk ketimpangan, karena hanya individu atau lembaga yang lebih kaya yang mampu membeli robot bantu canggih.

Contoh: Ketersediaan prostetik robotik untuk orang-orang yang kurang mampu secara ekonomi tidak memadai.

Isu Regulasi dan Standardisasi

Tantangan Regulasi

Pemerintah dan badan regulasi seringkali tertinggal dalam menetapkan pedoman penggunaan AI yang aman dan etis dalam robotika bantu.

Contoh: Persetujuan yang tertunda untuk robot terapeutik karena proses sertifikasi yang tidak jelas.

Tanggung Jawab dan Akuntabilitas

Menentukan tanggung jawab jika terjadi malfungsi, kesalahan, atau kerugian yang disebabkan oleh robot bantu masih menjadi tantangan yang signifikan.

Contoh: Siapa yang harus disalahkan ketika robot listrik tidak dapat mengidentifikasi keadaan darurat medis yang sedang berlangsung?

6.7 KETERBATASAN TEKNOLOGI AI SAAT INI

Generalisasi Terbatas

Kemampuan sebagian besar model AI terbatas pada tugas tertentu, dan kinerjanya buruk ketika dicoba pada tugas lain atau digunakan oleh orang yang berbeda, skenario yang berbeda, atau pengguna yang berbeda.

Contoh: Robot yang dilatih di perkotaan mungkin tidak berkinerja baik di lingkungan pedesaan saat mengajarkan navigasi jalan.

Kurangnya Kecerdasan Emosional

Meskipun terdapat kemajuan dalam analisis sentimen, robot seringkali kesulitan untuk benar-benar memahami dan merespons emosi manusia yang kompleks.

Contoh: Robot yang salah mengartikan sarkasme atau isyarat emosional halus selama interaksi.

Ketergantungan pada Intervensi Manusia

Robot bertenaga AI masih membutuhkan intervensi manusia untuk pemecahan masalah, pembaruan, dan pengambilan keputusan yang kompleks.

Contoh: Pasien yang memerlukan pemrograman ulang robot rehabilitasi setiap kali robot diserahkan kepada perawat baru.

Namun, masih terdapat tantangan dan keterbatasan berikut untuk penggunaan AI lainnya dalam robotika bantu. Semua kesulitan dan kekurangan ini harus dipertimbangkan untuk mencapai penerimaan robotika bantu yang sukses di masyarakat. Penghapusan hambatan ini akan memerlukan perancangan kolaborasi antara teknolog, ahli etika, pembuat kebijakan, dan pengguna akhir dengan cara yang meningkatkan terciptanya sistem yang andal, etis, mudah diakses, serta bermanfaat.

6.8 STUDI KASUS: AI DALAM ROBOTIKA BANTU

ReWalk Robotics—Eksoskeleton untuk Bantuan Mobilitas

Domain: Rehabilitasi fisik

Ikhtisar: ReWalk Robotics mengembangkan eksoskeleton bertenaga AI untuk membantu individu dengan cedera tulang belakang dalam berjalan. Sistem ini menggunakan sensor dan algoritma AI untuk menginterpretasikan intensi pengguna dan memberikan bantuan gerakan.

Fitur Utama:

- Sensor mendeteksi pergeseran berat badan dan keseimbangan untuk memfasilitasi berjalan.
- Pembelajaran mesin beradaptasi dengan pola gaya berjalan unik pengguna seiring waktu.

Hasil:

- Mobilitas parsial pengguna kembali pulih, kesehatan fisik meningkat, dan kemandirian meningkat.
- Tantangannya meliputi biaya tinggi dan kebutuhan akan pelatihan pengguna.

Robot Terapi PARO—Dukungan Emosional untuk Pasien Demensia

Domain: Perawatan lansia

Ikhtisar: PARO adalah robot layanan cerdas yang dirancang khusus berbentuk anjing laut robotik. Tujuannya adalah untuk membantu pasien demensia yang merindukan pengasuh mereka, menawarkan pendampingan dan kenyamanan, serta melepaskan stres.

Fitur Utama:

- Sensor untuk sentuhan, cahaya, dan suara memungkinkan PARO untuk merespons interaksi pengguna.

- Algoritma AI meniru perilaku hewan, seperti berkedip dan bersuara, untuk membina hubungan emosional.

Hasil:

- Penurunan kecemasan dan kesepian yang signifikan di antara pasien.
- Diadopsi secara luas di panti jompo di berbagai negara.

Tobii Dynavox—Teknologi Pelacakan Mata untuk Komunikasi

Domain: Bantuan Disabilitas

Ikhtisar: Tobii Dynavox meluncurkan perangkat bantu komunikasi yang menggabungkan sistem pelacakan mata berkemampuan AI untuk penyandang disabilitas bicara.

Fitur Utama:

- Sensor pelacakan mata mendeteksi tatapan untuk memilih kata atau frasa.
- Model prediksi berbasis AI mempercepat penyusunan kalimat.

Hasil:

- Memungkinkan pengguna berkomunikasi secara efektif, meningkatkan inklusi sosial.
- Tantangannya meliputi perlunya penyempurnaan untuk memperhitungkan pola gerakan mata yang unik.

Robot NAO—Terapi Autisme untuk Anak

Domain: Pendidikan dan terapi

Tinjauan Umum: Terapi autisme melibatkan penggunaan robot android dengan kecerdasan buatan bernama NAO yang menanamkan keterampilan sosial dan komunikasi kepada anak-anak.

Fitur Utama:

- Pemrosesan bahasa alami memungkinkan NAO untuk terlibat dalam percakapan sederhana.
- Pembelajaran mesin membantu robot beradaptasi dengan gaya interaksi setiap anak.

Hasil:

- Peningkatan keterlibatan sosial dan hasil belajar pada anak-anak dengan gangguan spektrum autisme (ASD).
- Diadopsi secara luas di sekolah dan lingkungan terapi di seluruh dunia.

Cyberdyne HAL—Rehabilitasi untuk Gangguan Neurologis

Domain: Layanan Kesehatan

Ikhtisar: HAL dari Cyberdyne adalah eksoskeleton yang dikendalikan oleh AI canggih, yang dirancang untuk mendukung pergerakan pasien dengan gangguan neurologis dan membantu mereka selama proses rehabilitasi.

Fitur Utama:

- Sensor Elektroensefalografi (EEG) mendeteksi sinyal saraf untuk membantu pergerakan.
- Algoritma AI menganalisis data pengguna untuk menyesuaikan latihan rehabilitasi.

Hasil:

- Pasien menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam fungsi motorik dan kekuatan otot.
- Tantangan yang dihadapi meliputi aksesibilitas yang terbatas karena tingginya biaya dan kebutuhan infrastruktur.

ElliQ—Pendamping Sosial untuk Lansia

Domain: Perawatan Lansia

Ikhtisar: ElliQ adalah teknologi robotik bertenaga AI yang pada dasarnya dirancang untuk lansia guna memberikan dukungan emosional dan kognitif.

Fitur Utama:

- AI percakapan berinteraksi dengan pengguna melalui suara dan teks.
- Terintegrasi dengan IoT untuk mengontrol perangkat rumah pintar dan memberikan pengingat.

Hasil:

- Peningkatan kesejahteraan mental dan berkurangnya isolasi di kalangan pengguna lansia.
- Beberapa pengguna melaporkan keengganan awal untuk mengadopsi pendampingan robotik.

Robear—Robot Pengangkat untuk Perawatan Lansia

Domain: Kesehatan dan perawatan lansia

Ikhtisar: Robear yang dirancang di Jepang adalah robot asisten yang digunakan untuk memindahkan pasien lansia di tempat tinggal atau fasilitas perawatan.

Fitur Utama:

- Kontrol gerak bertenaga AI memastikan penanganan pasien yang aman dan lembut.
- Sensor mendeteksi berat dan postur pengguna untuk meminimalkan risiko cedera.

Hasil:

- Mengurangi beban fisik pada pengasuh dan meningkatkan keselamatan pasien.
- Adopsi dibatasi oleh biaya pengembangan yang tinggi dan kekhawatiran etis tentang penggantian pengasuh manusia.

LUKE Arm—Prostesis Berbasis AI untuk Penderita Amputasi

Domain: Bantuan Disabilitas

Ikhtisar: LUKE Arm diciptakan oleh DEKA Research dan menawarkan prostetik fleksibel melalui bantuan kecerdasan buatan bagi penyandang disabilitas anggota tubuh bagian atas.

Fitur Utama:

- Sensor mendeteksi sinyal listrik dari otot untuk mengontrol gerakan prostetik.
- AI mempelajari dan beradaptasi dengan pola pengguna, memungkinkan genggamannya dan manipulasi yang presisi.

Hasil:

- Pengguna mendapatkan kembali kemampuan fungsional yang signifikan, termasuk keterampilan motorik halus.
- Biaya tinggi tetap menjadi hambatan bagi aksesibilitas yang luas.

Pepper Robot—Asisten Interaktif untuk Ruang Publik

Domain: Bantuan publik

Ikhtisar: Pepper adalah robot navigasi AI yang digunakan di beberapa rumah sakit, mal, dan panti jompo untuk membantu orang-orang dalam hal pergerakan, informasi, dan kontak sosial.

Fitur Utama:

- Pengenalan wajah dan NLP memungkinkan Pepper untuk melibatkan pengguna dalam percakapan.
- AI berbasis cloud menyediakan akses ke informasi waktu nyata.

Hasil:

- Peningkatan pengalaman pengguna dan efisiensi operasional dalam layanan publik.
- Terbatas oleh ketergantungan pada konektivitas cloud dan lokalisasi bahasa.

Robot BIONIK InMotion—Rehabilitasi Stroke

Domain: Rehabilitasi

Tinjauan Umum: Untuk digunakan dalam terapi fisik pasien stroke oleh BIONIK, robot InMotion dirancang untuk menawarkan pemulihan keterampilan motorik melalui kecerdasan buatan.

Fitur Utama:

- Algoritma pembelajaran mesin mempersonalisasi sesi terapi berdasarkan kemajuan pengguna.
- Umpan balik waktu nyata mendorong pasien untuk menyempurnakan gerakan.

Hasil:

- Pemulihan yang lebih cepat dan peningkatan fungsi motorik pada pasien stroke.
- Membutuhkan perawatan rutin dan pengawasan profesional untuk hasil yang optimal.

6.9 CAKUPAN AI DI MASA DEPAN DALAM ROBOTIKA BANTU

Masa depan tampak cerah karena bentuk baru teknologi canggih dan bentuk platform robotika bantu berbasis kecerdasan buatan yang lebih baik dan progresif diproyeksikan dalam hal cakupan, interoperabilitas, dan penerapan. Pada bagian berikut, masa depan AI dalam robotika bantu mengenai peluangnya dibahas berdasarkan domain spesialisasi yang penting.

Pengembangan Personalisasi Lanjutan

Generasi baru robot asisten akan menggunakan algoritma AI yang lebih baik dan lebih kompleks untuk menawarkan tingkat bantuan yang lebih baik. Hal ini dimungkinkan dengan bantuan kecerdasan buatan tingkat lanjut yang memungkinkan robot tersebut untuk menyelidiki lebih dalam kebiasaan, preferensi, dan perilaku pengguna guna menawarkan pengalaman yang lebih personal untuk panduan pencocokan.

Aplikasi

- Sistem yang mampu mengenali suara-suara baru dan berbeda, beraksen, dialektis, atau berinfleksi berbeda.
- Mengontrol rencana terapi rehabilitasi fisik secara fleksibel dengan mengacu pada perkembangan waktu nyata.

Dampak Potensial

Meningkatkan kepuasan pelanggan, sehingga meningkatkan penggunaan teknologi dan hasil perawatan yang lebih baik secara keseluruhan.

Interaksi Multimoda

Pengembangan

AI akan menggabungkan semua bentuk komunikasi, suara, gerakan, ekspresi wajah, dan bahkan antarmuka otak-mesin untuk memungkinkan sinergi manusia-dan-mesin.

Aplikasi

- Gabungan pengenalan suara dan gestur, dengan umpan balik sentuhan untuk membantu penyandang disabilitas berat.
- BCI yang memungkinkan pasien sindrom terkunci untuk mengoperasikan robot bantu dengan bantuan sinyal saraf.

Dampak Potensial

Dukungan bantu untuk digunakan oleh klien yang memiliki beberapa gangguan komunikasi atau mobilitas.

Kecerdasan Emosional dan Kognisi Sosial

Pengembangan

Artinya, robot ini akan mampu merespons berbagai emosi seperti kemarahan, humor, sarkasme, sinyal, dan tanda-tanda lain dari tubuh kita.

Aplikasi

- Ini termasuk robot pendamping di rumah untuk lansia atau orang yang kesepian, atau siapa pun yang terkadang merasa kesepian. Robot pendamping harus cukup pintar untuk memahami suasana hati pemiliknya, lalu menghibur atau menyemangatnya, tergantung situasinya.
- Versi robot terapi autisme yang dipromosikan dirancang khusus untuk mengajarkan responden cara mengenali dan menampilkan emosi.

Dampak Potensial

Meningkatkan kondisi mental dan emosional pengguna dengan pengembangan hubungan manusia-robot yang lebih efektif.

Integrasi dengan Lingkungan Cerdas

Pengembangan

Rumah dan kota pintar akan mengadopsi robot asisten dengan IoT dan komputasi awan untuk meningkatkan efisiensinya.

Aplikasi

- Mesin yang bekerja sama dengan sistem otomasi rumah lainnya untuk memudahkan pekerjaan rumah tangga (misalnya, pengaturan pencahayaan, pengaturan panas, kontrol peralatan, danlainnya.).
- Sistem pintar yang bekerja sama dengan sistem transportasi cerdas untuk menyediakan solusi mobilitas di lingkungan kota pintar.

Dampak Potensial

Cara yang lebih baik bagi pengguna untuk mengelola rumah dan tempat umum mereka, menjadikan lingkungan lebih kondusif.

Solusi Terjangkau dan Skalabel

Pengembangan

Kemajuan dalam material, teknik manufaktur, dan teknologi komputasi akan menurunkan biaya robot bantu sehingga lebih banyak orang mampu membelinya. Lebih lanjut, kerangka kerja AI canggih sumber terbuka dan desain struktur modular juga akan memfasilitasi skalabilitas.

Aplikasi

- Prostetik robotik terjangkau bagi populasi yang tidak mampu membeli prostetik mahal namun berteknologi canggih.
- Layanan berbagi robotik yang berpusat pada komunitas untuk distribusi sumber daya langka yang dibutuhkan.

Dampak Potensial

Peningkatan utilitas solusi robotika bantu, dan distribusi yang lebih baik di seluruh populasi, baik secara ekonomi maupun geografis.

Aplikasi Layanan Kesehatan yang Disempurnakan

Pengembangan

Pertama, kecerdasan buatan akan menjadi elemen penting dalam integrasi robotika bantu ke dalam konsep pengobatan preventif dan diagnosis dini penyakit kronis, serta dalam manajemen jangka panjang pasien.

Aplikasi

- Robot pintar dengan kemampuan canggih untuk memeriksa status kesehatan dan memberikan notifikasi langsung.
- AI mengidentifikasi stadium awal kondisi neurologis seperti penyakit Parkinson atau Alzheimer dari biomekanika dasar dan perubahan gerakan atau perilaku.

Dampak Potensial

Prognosis pasien yang lebih baik dan penghematan biaya layanan medis karena orientasi pada diagnosis dan pengobatan dini.

Solusi Mobilitas Otonom

Pengembangan

Dalam robotika bantu, meskipun peningkatan AI akan mengarah pada pengembangan alat bantu mobilitas generasi baru termasuk kursi roda yang dioperasikan secara otomatis, eksoskeleton manusia yang sangat efisien dengan fleksibilitas yang ditingkatkan merupakan paradigma lain yang sedang berkembang berkat kecerdasan buatan yang semakin canggih.

Aplikasi

- Platform self-driving yang diprogram untuk mengandalkan kecerdasan buatan dan visi komputer, misalnya untuk berkendara dengan aman di jalanan yang padat.
- Eksoskeleton pintar dengan kontrol prediksi kecerdasan buatan untuk mobilitas parsial bagi penyandang disabilitas.

Dampak Potensial

Peningkatan kepuasan, jangkauan dinamis, dan peningkatan kualitas hidup pelanggan disabilitas.

Tim Kolaboratif Manusia-Robot

Pengembangan

AI akan membantu robot asisten untuk berinteraksi dengan pasien, pengasuh, penyedia layanan kesehatan, dan bahkan sistem robotik lainnya dengan lebih baik.

Aplikasi

- Dukungan teknis dari robot untuk melakukan pekerjaan sederhana, sehingga membebaskan para ahli untuk menangani pasien.
- Beberapa robot melakukan aktivitas di panti jompo atau tugas rumah sakit dengan saling membantu.

Dampak Potensial

Kualitas, efektivitas, dan efisiensi yang optimal dalam memberikan layanan kesehatan dan pengasuhan.

AI yang Etis dan Transparan

Pengembangan

Fokus pada AI yang etis akan menghasilkan robot asisten di masa depan yang akan menghormati keselamatan dan privasi pengguna serta sama-sama tidak memihak. Secara khusus, jika sistem AI transparan, sistem tersebut seharusnya mampu memberikan pertanggungjawaban atas tindakan mereka, sehingga berkontribusi pada kepercayaan.

Aplikasi

- Robot melaporkan kepada pengasuh tentang detail interaksi dan keputusan yang mereka buat.
- Sistem pro-AI dikembangkan untuk mengatasi bias dan memastikan bahwa populasi yang membutuhkan mendapatkan dukungan yang setara.

Dampak Potensial

Dengan demikian, pendorong utamanya mencakup peningkatan kepercayaan pengguna terhadap robot bantu dan penerimaan sosial secara keseluruhan terhadap teknologi ini.

Dampak Global terhadap Populasi Lansia

Pengembangan

Seiring pergeseran demografis yang mengarah ke masyarakat lanjut usia di berbagai belahan dunia, robot bantu berbasis AI akan menjadi semakin penting untuk perawatan lansia mengingat kekurangan pengasuh lansia di seluruh dunia.

Aplikasi

- Robot digunakan dalam sektor aplikasi seperti pendampingan sosial, pendampingan bantuan pribadi, atau pendampingan layanan kesehatan bagi pelanggan lansia.
- Robot tersebut mencakup variasi resep yang diberikan oleh robot, gawai pendeteksi tersandung, dan perangkat bantuan keselamatan.

Dampak Potensial

Untuk mengurangi krisis pengasuh dan meningkatkan perawatan lansia di negara maju dan berkembang.

6.10 KESIMPULAN

AI dalam robotika bantu merupakan salah satu inovasi paling berani di bidang teknologi, yang dapat meningkatkan kualitas hidup penyandang disabilitas, penyakit kronis, dan lansia secara signifikan. Robot asisten telah ditingkatkan kemampuannya melalui integrasi AI untuk menawarkan bantuan yang lebih baik dalam memahami pengguna, memahami kebutuhan individual mereka, dan kemudian merespons dengan cara yang paling tepat.

Dalam bab ini, penulis telah memberikan wawasan tentang sejarah perkembangan, teknologi yang digunakan, aplikasi, keunggulan, dan beberapa isu yang muncul terkait penggunaan AI dalam robotika asisten, serta prediksi masa depan teknologi ini. Robotika asisten, mulai dari peralatan mekanis hingga sistem canggih yang kompleks untuk mendukung fungsi manusia, telah menjadi bidang yang sangat beragam dan kompleks dengan dampak yang luas dalam layanan kesehatan, rehabilitasi, perawatan lansia, dan disabilitas.

BAB 7

TEKNOLOGI 5G DALAM PENINGKATAN KUALITAS HIDUP

7.1 TEKNOLOGI 5G

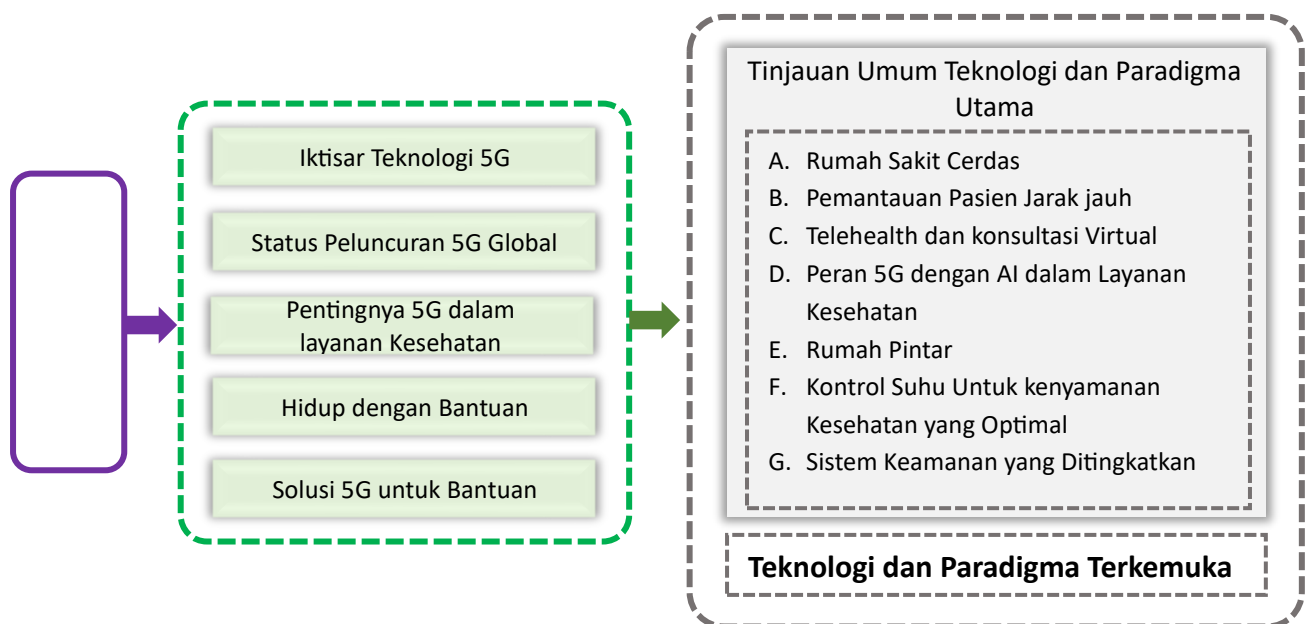
Dunia berada di ambang kebangkitan teknologi dengan munculnya jaringan seluler generasi kelima yang disebut teknologi 5G. Teknologi ini menjanjikan konektivitas dan keandalan yang belum pernah terjadi sebelumnya dengan kecepatan tinggi, latensi minimal, dan kapasitas jaringan yang terukur, membuka berbagai peluang investasi dan inovasi di berbagai sektor.

Dalam beberapa tahun terakhir, standar komunikasi berbasis jaringan telah meningkat secara signifikan. Perangkat teknologi informasi dan komunikasi (TIK), yang dikombinasikan dengan kecerdasan buatan (AI) dalam analisis data, menciptakan ekosistem peluang baru. Revolusi digital ini telah memberikan dampak yang signifikan terhadap bisnis, industri, dan sektor pelayanan kesehatan. Kemajuan terkini dalam perluasan jaringan 5G, teknik AI yang inovatif, perangkat kesehatan yang dapat dikenakan (wearable), dan teknologi keamanan digital seperti blockchain, semuanya berkontribusi pada ekosistem yang lebih terintegrasi dalam pelayanan kesehatan dan di bidang lainnya. Perkembangan ini dapat membantu memecahkan beberapa masalah paling mendesak yang dihadapi pemerintah dan penyedia layanan kesehatan terkait layanan kesehatan berkelanjutan. Sistem terintegrasi berpotensi mentransformasi isu-isu terkait layanan kesehatan seperti skrining, diagnosis, dan pemantauan penyakit, yang memungkinkan pemberian obat yang dipersonalisasi dan konsultasi video secara real-time.

5G akan meningkatkan efisiensi aplikasi berbasis jaringan jarak jauh, seperti demonstrasi penjualan daring dan berbagi berkas berbasis cloud, serta penggunaan keahlian global spesifik domain secara real-time. Bisnis dapat mengharapkan peningkatan produktivitas dan penjualan melalui adopsi teknologi ini. Lebih lanjut, 5G akan mengkatalisasi inovasi di seluruh Internet of Things (IoT), kendaraan otonom, realitas virtual dan ditambah, perangkat yang dioperasikan dari jarak jauh, dan kemajuan lainnya akan menawarkan keuntungan yang layak, menjadikan 5G sebagai pengubah permainan dalam penyediaan layanan real-time. Teknologi transformatif ini siap untuk mengubah berbagai bidang, dengan layanan kesehatan yang akan mendapatkan manfaat yang sangat besar, terutama di bidang kehidupan berbantuan. Layanan kesehatan merupakan domain vital bagi penemuan yang berkelanjutan dan pertumbuhan jangka panjang di sebagian besar negara. Berkat kemajuan teknologi yang signifikan dalam rekayasa dan teknologi komunikasi, layanan kesehatan tidak dapat dibayangkan tanpa pendekatan berbasis 5G dan AI, yang memungkinkan analisis, deteksi dini, dan prediksi penyakit atau kondisi kesehatan apa pun yang lebih baik. Cabang khusus IoT yang disebut Internet of Medical Things (IoMT) telah menarik minat dalam bisnis layanan kesehatan selama dekade terakhir, memanfaatkan keunggulan teknologi tersebut untuk meningkatkan layanan kesehatan kepada pelanggan.

Kemampuan 5G untuk menghubungkan miliaran perangkat secara mulus dan mengirimkan data secara real-time membuka peluang besar untuk pemantauan pasien jarak jauh, konsultasi telehealth, dan integrasi sensor pintar, yang pada akhirnya meningkatkan kualitas hidup jutaan orang. Di negara berkembang, dengan populasi lebih dari 1,4 miliar jiwa dan populasi lansia yang terus meningkat membutuhkan fasilitas dan akses layanan kesehatan yang lebih baik lebih mendesak dari sebelumnya, hal ini sangatlah penting. Terutama di lingkungan hunian berbantuan, teknologi 5G memiliki kemampuan untuk mentransformasi pemberian layanan kesehatan dan membantu memecahkan masalah mendesak dalam menyediakan perawatan berkualitas tinggi bagi semua orang. Memanfaatkan kapabilitas 5G dan penerimaannya yang luas di seluruh basis pengguna seluler yang luas akan membantu kita meminimalkan kesenjangan layanan kesehatan dan memberdayakan masyarakat dengan perawatan medis yang individual, mudah diakses, dan efisien.

Adaptasi inovasi membantu mengurangi beban sistem layanan kesehatan luring tradisional dan meningkatkan kualitas hidup pasien. Struktur artikel dengan tema-tema utama dan area fokus ditunjukkan pada Gambar 7.1.



Gambar 7.1 Struktur Artikel Dengan Tema Utama Dan Area Fokus.

Tinjauan Umum Teknologi 5G

Komunikasi seluler saat ini sebagian besar menggunakan jaringan 4G/Long-Term Evolution (LTE), 3G, dan Wi-Fi. Dengan latensi minimal 20 milidetik, jaringan 4G/(LTE) cocok untuk operasi internet seperti berselancar daring dan streaming film. Untuk integrasi transmisi data berbasis sensor berkelanjutan secara real-time dan analisis, latensi ini kurang tepat. Meskipun Wi-Fi merupakan pilihan, penggunaan frekuensi radio yang tidak terenkripsi dapat menimbulkan gangguan, sehingga membuatnya tidak andal.

Standar 5G secara signifikan melampaui 4G/LTE, memberikan kecepatan transmisi data hingga 10 GB/dtk, 100 kali lebih cepat daripada 4G, dengan latensi sangat rendah di bawah 1

milidetik. 5G juga menyediakan kapasitas bandwidth 1.000 kali lebih besar, memastikan layanan berkualitas tinggi dengan waktu respons minimal dalam aplikasi real-time. 5G adalah antarmuka udara terpadu dan tangguh yang dirancang dengan kapasitas yang ditingkatkan untuk mendukung pengalaman dan layanan pengguna di masa mendatang melalui jaringan yang berkembang lebih cepat. 5G didasarkan pada teknologi gelombang milimeter, yang memungkinkan kecepatan transfer data yang sangat cepat (hingga beberapa gigabit per detik).

Selain itu, 5G diperkirakan akan menggunakan energi hingga 10 kali lebih sedikit daripada 4G, yang menjadikannya teknologi energi hijau berkelanjutan. Meskipun lalu lintas jaringan diproyeksikan meningkat 1.000 kali lipat selama sepuluh tahun ke depan, konsumsi energi infrastruktur 5G akan sekitar setengah dari sistem saat ini. Efisiensi energi ini krusial untuk mengurangi biaya operasional secara keseluruhan dan meminimalkan dampak lingkungan. 5G dapat memproses data dalam jumlah besar secara real-time dengan mendukung inovasi dalam layanan kesehatan. Waktu respons latensinya yang sangat rendah, serendah 1 milidetik, memastikan transfer data yang cepat, memungkinkan operasi jarak jauh secara real-time, pemantauan kondisi kesehatan, dan integrasi perangkat medis pintar.

Lebih lanjut, 5G dapat terintegrasi dengan perangkat kesehatan yang dapat dikenakan untuk mengirimkan data secara real-time, yang memungkinkan penyedia layanan kesehatan untuk terus memantau kesehatan pasien. Hal ini dapat meningkatkan manajemen penyakit secara signifikan untuk kondisi kronis seperti tekanan darah tinggi atau rendah, serangan panik, diabetes, dan penyakit jantung. Lebih lanjut, bagi lansia dan penyandang disabilitas, perangkat hunian berbantuan berkemampuan 5G dapat menawarkan mobilitas dan sistem tanggap darurat yang lebih baik, memastikan intervensi tepat waktu selama situasi kritis dan darurat.

Pengenalan teknologi 5G akan merevolusi banyak sektor, dengan layanan kesehatan menjadi salah satu penerima manfaat paling signifikan. Dalam konteks hunian berbantuan, 5G dapat mentransformasi pemberian layanan kesehatan, memungkinkan pemantauan pasien jarak jauh yang lancar, telemedis, dan diagnostik bertenaga AI. Inovasi-inovasi ini berpotensi menyediakan perawatan berkelanjutan sekaligus mengurangi beban pada sistem layanan kesehatan.

Status Peluncuran 5G Global

Menurut laporan Wall Street Journal dan Ericsson Mobility Report pada tahun 2023, secara global, peluncuran 5G berjalan dengan kecepatan yang berbeda-beda. Tiongkok memimpin dunia dalam penerapan 5G, dengan infrastruktur yang ekstensif telah tersedia. Amerika Serikat menyusul dengan strategi peluncuran yang agresif, sementara Eropa tertinggal karena tantangan regulasi dan kendala investasi. Pada akhir tahun 2021, 5G diperkirakan akan menjangkau lebih dari 2 miliar orang di seluruh dunia dan pada tahun 2027, diperkirakan 75% populasi global akan memiliki akses ke 5G. Peluncuran 5G termasuk yang tercepat di dunia. Per Maret 2023, layanan 5G telah tersedia di 397 kota, dengan rencana perluasan ke 200 kota lagi pada akhir tahun. Adopsi 5G diperkirakan akan tumbuh secara signifikan, dengan proyeksi yang menunjukkan bahwa langganan 5G akan mencapai 130 juta pada akhir tahun 2023 dan 860 juta pada tahun 2029. Adopsi yang pesat ini didorong oleh peningkatan lalu lintas data di

negara tersebut dan kebutuhan akan konektivitas yang lebih baik untuk mendukung transformasi digital di berbagai domain.

Pentingnya 5G dalam Layanan Kesehatan

Seiring dengan terus meningkatnya permintaan di sektor layanan kesehatan, teknologi 5G sedang mentransformasi industri ini. Berbagai data pribadi dan data kesehatan yang aman melalui internet di antara berbagai organisasi layanan kesehatan memungkinkan pasien untuk menerima perawatan yang lebih baik melalui jaringan yang saling terhubung. Jaringan ini memfasilitasi pertukaran informasi kesehatan penting antara dokter, apoteker, pekerja sosial, perawat, dan profesional lainnya. Lebih lanjut, teknologi 5G memberdayakan penyedia layanan kesehatan di lokasi terpencil untuk memanfaatkan alat komunikasi guna meningkatkan perawatan medis pasien. Kemampuan untuk menyediakan perawatan jarak jauh bagi jutaan orang, terutama di negara seperti Indonesia, merupakan suatu keharusan. Sistem layanan kesehatan sangat terbebani oleh populasinya yang mencapai 1,4 miliar jiwa. Konektivitas berkecepatan tinggi 5G membantu menutup kesenjangan tersebut dengan memungkinkan layanan telemedis, di mana masyarakat di daerah terpencil dapat berinteraksi dengan dokter, mendapatkan saran medis, dan mendapatkan diagnosis tanpa harus menempuh jarak jauh karena terbatasnya akses ke fasilitas medis di daerah pedesaan.

Indonesia, dengan jutaan pengguna ponsel pintar, akan mendapatkan manfaat dari aplikasi layanan kesehatan berbasis 5G. Masyarakat dapat segera memperoleh layanan kesehatan yang lebih baik dengan akses ke ponsel pintar dan internet cepat dengan harga terjangkau, sehingga mengurangi beban rumah sakit dan kantor-kantor lainnya yang sudah padat. Dengan solusi untuk populasi yang terus meningkat dengan beragam tuntutan layanan kesehatan, 5G berpotensi menjadikan layanan kesehatan lebih inklusif, efisien, dan mudah diakses dalam kondisi darurat.

Panti Jompo: Landasan Layanan Kesehatan Modern

Bagi mereka yang membutuhkan bantuan untuk aktivitas sehari-hari tetapi tetap menginginkan kemandirian, panti jompo adalah pilihan yang tepat karena menyediakan suasana yang suportif dan memperkaya dalam kehidupan mandiri dan perawatan keperawatan terampil. Akan ada kebutuhan yang semakin meningkat akan fasilitas seperti ini untuk menampung lansia yang membutuhkan bantuan perawatan pribadi dalam aktivitas sehari-hari seperti mandi, berpakaian, dan mengelola obat-obatan, tetapi tidak memerlukan perawatan medis 24 jam seperti yang disediakan panti jompo. Pentingnya hunian berbantuan dalam layanan kesehatan modern adalah:

- **Meningkatkan Kemandirian dan Martabat:** Mendorong kemandirian dan otonomi pribadi memungkinkan seseorang untuk hidup bermartabat dengan menjaga rasa hormat dan harga diri mereka.
- **Meningkatkan Kualitas Hidup:** Meningkatkan kondisi kehidupan sehari-hari, kesehatan, dan kesejahteraan emosional membantu seseorang menjalani kehidupan yang bahagia dan bermakna.
- **Menunda atau Mencegah Institusionalisasi:** Memberikan dukungan yang memadai di rumah atau di komunitas dapat membantu menunda atau menghindari kebutuhan

akan perawatan jangka panjang di institusi, sehingga menjaga lingkungan rumah seseorang.

- **Meringankan Beban Keluarga:** Memberikan solusi perawatan dan bantuan yang tepat akan meringankan beban fisik, mental, dan finansial keluarga dalam memberikan perawatan.
- **Efektivitas biaya:** Perawatan berbasis rumah dan layanan komunitas dapat lebih terjangkau daripada perawatan institusional, sehingga mengurangi beban keuangan bagi keluarga dan sistem layanan kesehatan.

Karena pertumbuhan kondisi ekonomi dan sistem pendukung medis, usia lanjut meningkat, dan seiring bertambahnya usia populasi global, permintaan akan perawatan lansia pun meningkat. Hunian berbantuan menjadi bagian penting dari layanan kesehatan, membantu menyediakan dukungan yang diperlukan bagi lansia untuk hidup nyaman dan aman. Dengan menawarkan suasana yang peduli, empati, dan memberdayakan, fasilitas hunian berbantuan secara signifikan meningkatkan kesejahteraan dan kualitas hidup populasi rentan.

Solusi 5G untuk Tantangan Hunian Berbantuan Modern

Meskipun terdapat perkembangan penting dalam hunian berbantuan dalam beberapa tahun terakhir, beberapa masalah masih ada yang menghambat potensi penuhnya, terutama di bidang layanan kesehatan. Masalah-masalah ini dapat memengaruhi kualitas layanan yang diberikan kepada pasien yang bergantung pada pemantauan berkelanjutan, intervensi cepat, dan dukungan khusus. 5G meningkatkan kualitas hunian berbantuan sekaligus mengurangi biaya dan inefisiensi layanan kesehatan di seluruh sistem dengan mengatasi masalah yang ada. Tabel 7.1 mengkaji bagaimana teknologi 5G dapat memitigasi beberapa tantangan signifikan.

Tabel 7.1 Solusi 5G Untuk Tantangan Hunian Berbantuan Modern.

Masalah	Solusi
Akses terbatas terhadap pemantauan waktu nyata bagi pasien dengan kondisi kronis, yang diperparah di daerah pedesaan dan terpencil akibat kurangnya infrastruktur.	5G memungkinkan pemantauan berkelanjutan secara real-time melalui perangkat pintar, perangkat wearable, dan sensor IoT dengan latensi sangat rendah dan transmisi data berkecepatan tinggi yang memastikan keputusan dan bantuan tepat waktu bagi pasien.
Sistem layanan kesehatan yang kelebihan beban, terutama di daerah padat penduduk dan pedesaan, di mana infrastruktur layanan kesehatan tidak memadai atau sulit diakses.	Sistem layanan kesehatan berkemampuan 5G memfasilitasi diagnostik jarak jauh dan telemedis, meminimalkan kebutuhan kunjungan rumah sakit. Hal ini memungkinkan konsultasi virtual dan prosedur bedah jarak jauh, sehingga mengurangi beban sistem layanan kesehatan.
Sistem komunikasi yang terfragmentasi dan tidak andal menyebabkan keterlambatan,	Teknologi 5G meningkatkan interaksi real-time yang lancar antara tenaga kesehatan dan

kesalahan medis, dan inefisiensi dalam transmisi data medis.	pasien. Teknologi ini membantu mengurangi kesalahan perawatan dan memastikan perawatan yang tepat.
Sistem respons darurat yang tidak memadai di fasilitas hunian berbantuan, mengandalkan teknologi yang sudah ketinggalan zaman, dan mengakibatkan keterlambatan respons terhadap keadaan darurat medis.	Kemampuan 5G yang andal dan berlatensi rendah memungkinkan respons darurat yang lebih cepat dan akurat, dengan perangkat pintar yang mendeteksi keadaan darurat dan segera memberi tahu penyedia layanan kesehatan.
Biaya tinggi dan inefisiensi di fasilitas hunian berbantuan akibat pemantauan tatap muka yang sering, kunjungan rumah sakit, dan penanganan data yang tidak efisien.	5G mengotomatiskan perawatan pasien menggunakan perangkat IoT, mengurangi kebutuhan pemantauan langsung dan kunjungan rumah sakit, menjadikan hunian berbantuan lebih terjangkau dan efisien.
Isolasi dan kurangnya konektivitas sosial bagi individu yang tinggal di panti asuhan, yang menyebabkan masalah kesehatan mental seperti depresi dan kecemasan.	5G meningkatkan interaksi sosial melalui panggilan video berkualitas tinggi, realitas virtual, dan perangkat komunikasi pintar, membantu individu tetap terhubung dengan keluarga dan meningkatkan kesejahteraan mental.

7.2 SISTEM LAYANAN KESEHATAN CANGGIH BERBASIS 5G

Teknologi 5G merepresentasikan kemajuan signifikan dalam hal kecepatan, konektivitas, dan bandwidth, yang meletakkan dasar bagi era baru inovasi layanan kesehatan. Dalam kehidupan berbantuan, 5G memfasilitasi beberapa inovasi teknologi yang berpotensi merevolusi layanan kesehatan, mulai dari pemantauan pasien jarak jauh hingga perawatan individual yang ditingkatkan dengan AI. Perkembangan ini diharapkan dapat meningkatkan hasil pasien sekaligus meringankan beban penyedia layanan kesehatan dan infrastruktur.

Rumah Sakit Pintar

Rumah sakit pintar merepresentasikan garda terdepan masa depan layanan kesehatan, memanfaatkan teknologi mutakhir untuk mentransformasi perawatan pasien dan efisiensi operasional. Fasilitas canggih ini mendorong evolusi sistem layanan kesehatan konvensional menjadi jaringan yang kompleks dan terintegrasi. Pembentukan konektivitas jaringan yang cepat dan andal sangat penting bagi rumah sakit pintar, memfasilitasi transmisi data dan komunikasi secara real-time antar peralatan yang saling terhubung, sehingga memungkinkan telemedicine, konsultasi jarak jauh, dan pemantauan pasien yang berkelanjutan. Fitur 5G dengan bandwidth tinggi dan latensi rendah memungkinkan praktisi kesehatan untuk melakukan tindakan cepat, mengambil informasi penting pasien, dan bekerja secara efisien dengan tim, terlepas dari lokasi geografis mereka. Tujuan rumah sakit pintar adalah untuk meningkatkan proses klinis dan mendorong inovasi berkelanjutan dalam layanan kesehatan untuk menyediakan lingkungan yang nyaman bagi pasien selama rawat inap dan dalam seluruh proses perawatan. Kecerdasan buatan meningkatkan pengambilan keputusan klinis, mengotomatiskan proses berulang dan akurasi diagnostik.

Teknik pemrosesan bahasa alami dapat digunakan untuk mengekstrak informasi dari rekam medis elektronik dan meningkatkan dokumentasi klinis serta fungsi administratif. Asisten virtual dan chatbot bertenaga AI memberikan rekomendasi perawatan awal dan bantuan berkelanjutan untuk pertanyaan yang sering diajukan.

Pemantauan Pasien Jarak Jauh

Perangkat wearable dan IoT berkemampuan 5G memungkinkan pemantauan jarak jauh detak jantung, tekanan darah, kadar glukosa, dan metrik kesehatan penting lainnya. Data ini dapat segera dikirimkan ke dokter, memungkinkan intervensi dan penyesuaian perawatan yang tepat waktu.

5G bermanfaat bagi pasien dengan penyakit kronis seperti penyakit jantung atau diabetes, yang memerlukan pemantauan rutin. Ketika parameter kesehatan pasien mencapai tingkat kritis, 5G menghasilkan peringatan secara real-time, memungkinkan tenaga medis untuk merespons dengan cepat. Pemantauan real-time semacam ini dapat mengurangi kunjungan ke rumah sakit secara signifikan, karena pasien dapat dirawat dari rumah mereka.

Telehealth dan Konsultasi Virtual

Pandemi COVID-19 telah mengungkap potensi transformasi digital. Industri 4.0 menawarkan peluang untuk merestrukturisasi dan menyegarkan sistem ekonomi di dunia pascapandemi melalui pemanfaatan infrastruktur pintar 5G yang menggabungkan IoT dan AI, otomatisasi terintegrasi, dan inovasi berbasis cloud.

Penggunaan telehealth dan konsultasi virtual telah berkembang pesat, terutama selama krisis COVID-19, meskipun banyak sistem layanan kesehatan masih menghadapi masalah terkait kualitas dan keandalan. Implementasi teknologi 5G mengatasi tantangan ini dengan menyediakan bandwidth yang memadai untuk video berkualitas tinggi, audio yang jernih, dan berbagi data secara instan, yang memungkinkan interaksi virtual yang lancar antara pasien dan penyedia layanan kesehatan. Para profesional medis dapat bertukar informasi secara real-time dan mendiskusikannya dengan pasien dan kolega melalui konferensi video. Lebih lanjut, beragam tim ahli kesehatan dapat berkolaborasi dalam konsultasi medis dan perencanaan untuk mengatasi masalah kesehatan yang kompleks. Untuk memastikan penerapan telehealth dan bantuan virtual, jaringan 5G memiliki bandwidth yang diperlukan dan latensi rendah untuk mengirimkan file gambar definisi tinggi yang besar melalui konferensi video.

Di daerah pedesaan dan perbukitan yang tidak memiliki fasilitas kesehatan yang layak, jangkauan yang luas dan jaringan 5G yang andal dapat meningkatkan layanan kesehatan dan respons darurat pada kondisi kritis pasien. Di negara-negara berkembang seperti Indonesia, di mana, karena kondisi geografis yang luas dan ekonomi yang buruk, banyak individu di lokasi terpencil berjuang untuk mengakses perawatan medis yang berkualitas. Para pasien dapat berinteraksi dengan para ahli melalui layanan telehealth tanpa memerlukan perjalanan yang jauh dan tidak nyaman, sehingga mendemokratisasi akses perawatan kesehatan melampaui batas-batas sosial ekonomi dan spasial.

Telemedicine telah mendapatkan daya tarik sebagai komponen penting dari perawatan kesehatan modern, terutama selama pandemi COVID-19. Transmisi data berkecepatan tinggi

dan latensi rendah dari teknologi 5G akan merevolusi praktik telemedicine. 5G memungkinkan pasien dan penyedia layanan kesehatan untuk melakukan konsultasi jarak jauh yang lancar. Misalnya, penggunaan telesurgery dapat membantu menutup kesenjangan akses layanan kesehatan, terutama di daerah-daerah yang kurang terlayani di mana keahlian bedah khusus sulit didapatkan. Dengan memberdayakan ahli bedah untuk melakukan operasi jarak jauh, pasien dapat menerima perawatan tepat waktu yang sangat meningkatkan peluang pemulihan mereka.

Lebih lanjut, kemampuan untuk menyiarkan langsung prosedur bedah meningkatkan kolaborasi antar tim medis di berbagai lokasi.

Peran 5G dan AI dalam Layanan Kesehatan

Teknologi 5G dan AI meningkatkan sistem medis, memodifikasi keputusan medis, dan menawarkan perawatan terbaik bagi setiap individu. Proses pengambilan keputusan dibantu oleh kecepatan jaringan yang tinggi, kemampuan penanganan dan pemrosesan data dari mesin berbasis AI modern, dan algoritma pembelajaran mendalam. AI unggul dalam menganalisis pola kompleks dan mengekstrak informasi yang bermakna dari kumpulan data besar. Dengan menerapkan algoritma AI canggih pada data kesehatan dan fisiologis yang dikumpulkan melalui perangkat sensor yang dapat dikenakan berkemampuan 5G, penyedia layanan kesehatan dapat memperoleh status kesehatan pasien yang komprehensif dan real-time. Oleh karena itu, AI dapat menentukan faktor risiko pasien untuk komplikasi kesehatan di masa mendatang dengan menganalisis data mereka. Misalnya, berdasarkan pola perubahan tekanan darah, kebiasaan tidur, atau aktivitas fisik, sistem berbasis AI dapat mengidentifikasi gejala hipertensi, diabetes, atau penyakit jantung. Pendekatan proaktif ini memungkinkan pasien mengambil langkah pencegahan dan mendapatkan rekomendasi personal dari dokter berdasarkan profil kesehatan unik mereka. Hal ini membantu identifikasi risiko kesehatan sejak dini, sehingga tindakan dapat diambil sedini mungkin dan pengobatan dapat ditentukan sesuai kondisi masing-masing individu.

Sistem layanan kesehatan berbasis AI dapat menyediakan perawatan yang disesuaikan berdasarkan data waktu nyata yang dikumpulkan dari pasien dan lingkungan tempat tinggal mereka. Ketika perawatan dan pengobatan yang dibutuhkan untuk penyakit kritis berpusat pada pasien, sistem layanan kesehatan pintar dapat mengakses dan menganalisis data dengan cepat. Hal ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan perawatan yang lebih akurat. Layanan pemeriksaan kesehatan jarak jauh dan telekonsultasi berbasis AI dengan bantuan teknologi 5G semakin meningkatkan sistem layanan kesehatan saat ini.

Algoritma deep learning mampu menganalisis pencitraan medis, seperti sinar-X dan MRI, menghasilkan gambar kompleks yang memerlukan analisis cermat. Ahli radiologi dapat mengandalkan algoritma AI untuk mengidentifikasi anomali yang mungkin terlewatkan oleh tinjauan manual. Teknik berbasis AI dapat dengan cepat mendeteksi tanda-tanda kecil masalah kritis, seperti tumor atau patah tulang, memastikan diagnosis yang lebih cepat dan kemungkinan hasil yang lebih baik bagi pasien.

AI juga mempercepat penelitian penemuan obat dengan menganalisis data biologis dan kimia untuk memprediksi senyawa obat mana yang mungkin efektif melawan penyakit

tertentu. Hal ini mempercepat proses pengembangan obat baru, yang dapat sangat bermanfaat dalam menanggapi krisis kesehatan masyarakat atau mengembangkan pengobatan untuk kondisi langka seperti epidemi COVID-19.

Sering kali, ketika obat yang diresepkan tidak tersedia di apotek pertama yang dikunjungi, orang harus mencarinya di beberapa toko. Proses ini bisa memakan waktu, terutama ketika obat tertentu langka di pasaran. Pencarian ini bisa sangat menantang dalam keadaan darurat, di mana setiap menit sangat berharga. Untuk mengatasi masalah ini, sebuah konsep baru aplikasi web terintegrasi berbasis cloud dapat diciptakan untuk memungkinkan orang menemukan apotek dengan stok obat yang dibutuhkan. Aplikasi semacam itu akan memungkinkan seseorang untuk mengetahui apakah ada produk tertentu di pasaran tanpa harus berpindah dari satu toko ke toko lain, sebuah proses yang memakan banyak waktu dan juga melelahkan. Lebih lanjut, dengan menggunakan jaringan 5G sebagai teknologi pendukung untuk aplikasi ini, aplikasi ini mampu menerima pembaruan obat atau informasi yang dibutuhkan secara real-time. Hal ini akan menghasilkan peningkatan efisiensi dan kegunaan aplikasi dan akan sangat berguna terutama dalam kasus darurat; aplikasi ini mungkin akan merevolusi cara orang memperoleh obat-obatan yang dibutuhkan.

Rumah Pintar

Hunian berbantuan dapat ditransformasikan melalui 5G yang memungkinkan sistem rumah pintar meningkatkan keamanan dan kenyamanan penghuni. Perangkat pintar terhubung melalui jaringan 5G untuk memantau dan mengontrol berbagai fungsi seperti keamanan, suhu, dan pencahayaan.

Sistem rumah pintar yang didukung oleh 5G dapat dengan cepat menemukan dan merespons masalah keamanan dan keadaan darurat medis, dengan segera memberi tahu anggota keluarga (atau layanan darurat). Pencahayaan yang tepat sangat penting untuk keselamatan dan kesehatan lansia. Pencahayaan yang tidak memadai dapat menyebabkan bahaya, seperti jatuh dan kecelakaan lainnya. Namun, dengan sistem pencahayaan pintar berkemampuan 5G, risiko ini dapat diminimalkan. Sistem ini mampu menyesuaikan kecerahan secara otomatis berdasarkan faktor-faktor seperti waktu atau pergerakan yang terdeteksi dan dapat dihubungkan ke peralatan lain di rumah Anda seperti termostat, sistem keamanan, dan lampu. Selain itu, sistem ini dapat melakukan rutinitas harian secara otomatis dan meningkatkan kenyamanan dan kemudahan ruang tinggal bagi penghuni.

Kontrol Suhu untuk Kenyamanan dan Kesehatan

Perubahan suhu yang tiba-tiba atau kondisi yang tidak nyaman dapat memengaruhi semua orang. Bagi panti wreda, menjaga suhu yang tepat sangatlah penting, terutama bagi lansia dengan masalah jantung atau pernapasan, karena suhu tinggi dapat menimbulkan risiko serius.

Dengan termostat dan monitor suhu berkemampuan 5G, pengaturan suhu dalam ruangan dapat disesuaikan dengan preferensi dan kebutuhan kesehatan setiap penghuni. Perangkat ini menyediakan lingkungan yang nyaman, baik jika kondisi dalam ruangan berubah maupun suhu luar ruangan berubah. Sistem rumah pintar juga memungkinkan pengaturan

suhu jarak jauh di kamar penghuni, sehingga menciptakan lingkungan hidup yang lebih suportif bagi lansia dan pasien.

Sistem Keamanan

Pemantauan dan kontrol yang tepat sangat dibutuhkan untuk memberikan rasa aman di masyarakat kita. Bagi lansia atau pasien yang sebagian besar waktunya terkurung di rumah karena disabilitas, keselamatan merupakan perhatian terpenting dalam panti wreda. Sistem keamanan yang dilengkapi sensor gerak dan kamera definisi tinggi yang terhubung ke jaringan 5G dapat menawarkan pengawasan waktu nyata (real-time). Teknologi ini segera memberi tahu petugas keamanan ketika mereka mendeteksi aktivitas yang tidak biasa, seperti masuk tanpa izin atau pergerakan tak terduga di dalam rumah. Selain itu, kunci pintar dan sistem kontrol akses memastikan hanya orang yang berwenang yang dapat memasuki area tertentu, sehingga menjaga keamanan penghuni lansia dan anak-anak. Integrasi data kesehatan secara real-time dengan lingkungan sekitar memungkinkan perawatan yang lebih personal dan cepat. Misalnya, sistem rumah pintar dapat menurunkan suhu ruangan atau menyetel alarm untuk perawat dokter jika alat pemantau kesehatan penghuni mendeteksi demam. Koneksi dan otomatisasi yang sempurna memastikan kenyamanan dan kesehatan penghuni tetap terjaga, bebas dari penundaan atau kesalahan manusia.

7.3 SISTEM TANGGAP DARURAT DAN BEDAH ROBOTIK

Sistem tanggap darurat dan bedah robotik telah dimungkinkan oleh teknologi komunikasi internet berkecepatan tinggi dalam sistem pelayanan kesehatan. Teknologi berkemampuan 5G memastikan pelaksanaan respons layanan medis yang sensitif terhadap waktu dengan efisiensi, akurasi, dan koordinasi yang ditingkatkan melalui transfer data yang hampir seketika, sehingga mentransformasi layanan kesehatan rutin maupun kejadian yang mengancam nyawa.

Sistem Tanggap Darurat yang Disempurnakan

Di panti wreda dan lingkungan layanan kesehatan lainnya, tindakan darurat yang tepat waktu sangatlah penting. Sistem tanggap darurat konvensional yang ada rentan terhadap keterlambatan dalam pembuatan peringatan medis dan pemrosesan informasi penting oleh staf karena ketergantungan pada jaringan yang tidak andal atau lebih lambat. Pengiriman pesan real-time dari sistem tanggap darurat dapat dicapai dengan latensi yang sangat rendah, sekitar 1 milidetik. Perangkat pintar seperti perangkat yang dapat dikenakan (wearable), sensor IoT, dan alarm medis dapat mengenali jatuh, perubahan mendadak pada tanda-tanda kesehatan vital, atau situasi darurat lainnya secara instan dan memicu peringatan. Transmisi sinyal real-time ini memungkinkan bantuan segera dengan memberi tahu anggota keluarga, layanan darurat, atau dokter. Misalnya, perangkat yang dapat dikenakan (wearable) berkemampuan 5G yang melacak aktivitas jantung dapat mendeteksi seseorang atau pasien di fasilitas panti wreda yang mengalami serangan jantung. Perangkat ini dapat mengirimkan data real-time langsung ke tenaga kesehatan profesional dan petugas tanggap darurat di sekitar, membantu mereka lebih siap bahkan sebelum mereka mencapai pasien. Pada pengaturan yang lebih canggih, sistem ini juga dapat berbagi umpan video dan data kesehatan terperinci

secara bersamaan, memungkinkan tim medis untuk menilai kondisi pasien dari jarak jauh dan memberikan panduan hingga bantuan tiba. Hal ini mengurangi waktu respons dan meningkatkan perawatan pasien.

Kemajuan dalam Bedah Robotik

Integrasi teknologi 5G ke dalam prosedur medis, khususnya operasi, sedang mentransformasi layanan kesehatan. Sistem komunikasi ini membuka kemungkinan baru untuk perawatan pasien, khususnya dalam bedah robotik dan Internet of Medical Things (IoMT).

Bedah robotik cenderung menggunakan konektivitas 5G dengan latensi rendah dan kecepatan tinggi. Keberhasilan bedah robotik bergantung pada kecepatan internet yang cepat, karena penundaan kecil sekalipun dapat memengaruhi akurasi prosedur jarak jauh ini. Teknologi ini memungkinkan ahli bedah untuk melakukan operasi dari jarak jauh. Kecepatan tinggi dan penundaan rendah 5G memungkinkan transmisi video 3D definisi tinggi yang jernih dan data penting lainnya, yang dilaporkan kepada ahli bedah di ruang operasi untuk memberikan mereka gerakan yang presisi dan terkontrol selama operasi.

5G juga mendukung pelatihan ahli bedah melalui perangkat realitas virtual (VR) dan realitas tertambah (AR) yang canggih. Perangkat ini memungkinkan ahli bedah untuk berlatih menggunakan sistem robotik, terkadang dari lokasi yang jauh, dalam simulasi waktu nyata tanpa jeda antara perintah dan respons robotik, sebuah faktor krusial untuk keselamatan pasien.

Penundaan sekecil apa pun dalam operasi robotik dapat membahayakan pasien karena akurasi yang sangat dibutuhkan. Dengan 5G, ahli bedah dapat mengelola sistem robotik dari jarak jauh tanpa mengorbankan akurasi. Berikut cara 5G meningkatkan akurasi operasi robotik:

Komunikasi Latensi Rendah: Salah satu kekuatan terbesar teknologi 5G adalah latensinya yang sangat rendah, terkadang mencapai 1 milidetik. Respons secepat kilat ini penting dalam operasi robotik, di mana penundaan sekecil apa pun dapat menyebabkan komplikasi. Misalnya, dalam sebuah studi, penundaan dalam pengiriman perintah manipulasi selama telesurgery hanya 18 milidetik, yang memungkinkan ahli bedah untuk melakukan operasi secara akurat dari jarak hingga 300 kilometer. Komunikasi yang hampir seketika ini berarti lengan robotik merespons secara sinkron dengan gerakan tangan dokter bedah, memberikan pengalaman yang halus dan presisi yang terasa seolah-olah dokter bedah benar-benar hadir di sana.

Bandwidth Tinggi untuk Transmisi Data Real-Time: Jaringan 5G menyediakan bandwidth yang lebih tinggi daripada teknologi nirkabel sebelumnya, sehingga memungkinkan transmisi umpan video definisi tinggi dan data penting dengan lancar selama operasi. Kemampuan ini memungkinkan dokter bedah menerima pembaruan visual real-time dari ruang operasi, membantu mereka membuat keputusan yang tepat dengan informasi terkini. Dalam satu contoh yang luar biasa, seorang dokter bedah melakukan telesurgery yang kompleks sejauh lebih dari 10.000 kilometer. Dengan bandwidth 5G yang tinggi, dokter bedah dapat beroperasi dengan tingkat presisi yang terasa hampir seolah-olah mereka berada di ruangan tersebut.

Kontrol yang Ditingkatkan Atas Sistem Robotik: Dengan teknologi 5G, dokter bedah dapat mengendalikan lengan robotik dari jarak jauh dengan akurasi yang luar biasa. Kemampuan ini memungkinkan penanganan instrumen bedah yang mudah dan presisi, yang sangat penting dalam prosedur rumit seperti bedah mikro. Misalnya, sistem robotik telah berhasil meniru gerakan ahli bedah secara real-time selama operasi jaringan lunak. Tingkat kontrol yang tinggi ini mengurangi risiko kesalahan manusia, sehingga meningkatkan keamanan dan efektivitas prosedur bedah.

Pelatihan dan Simulasi Dokter Bedah yang Lebih Baik: Teknologi berbasis 5G juga mentransformasi pelatihan bedah dengan mendukung pengalaman realitas virtual (VR) dan realitas tertambah (AR) yang canggih. Teknologi ini menawarkan simulasi realistis di mana peserta pelatihan dapat mempraktikkan prosedur dan mendapatkan umpan balik langsung atas tindakan mereka. Dengan konektivitas berkecepatan tinggi 5G, simulasi ini berjalan lancar, menciptakan lingkungan yang responsif dan realistis yang mencerminkan kondisi bedah sesungguhnya. Pendekatan pelatihan imersif ini membantu dokter bedah membangun keterampilan dan kepercayaan diri mereka sebelum melakukan operasi langsung.

Keamanan dan Keandalan Data yang Tangguh: Enkripsi canggih 5G dan kinerja jaringan yang stabil secara efektif mengatasi kekhawatiran tentang keamanan dan keandalan operasi jarak jauh. Studi terbaru menunjukkan bahwa jaringan 5G dapat menangani potensi gangguan, seperti gangguan sinyal atau serangan siber, tanpa memengaruhi kualitas prosedur bedah. Tingkat keandalan ini krusial untuk memastikan bahwa operasi yang dilakukan dalam jarak jauh tetap aman dan efektif.

Integrasi dengan AI dan Pembelajaran Mesin: Integrasi teknologi 5G dan kecerdasan buatan (AI) semakin meningkatkan presisi bedah. Sistem AI dapat menilai data bedah secara real-time, memberikan wawasan kepada ahli bedah yang memungkinkan mereka membuat keputusan yang cepat dan tepat. Misalnya, AI dapat menghilangkan noise dari data sensor atau memperkirakan potensi masalah berdasarkan tren sebelumnya. Seiring kemajuan AI bersama 5G, kita dapat mengharapkan peningkatan yang lebih besar dalam akurasi diagnostik dan presisi bedah.

Memfasilitasi Akses Jarak Jauh ke Perawatan Spesialis: Dengan 5G, dokter dapat melakukan operasi dari jarak jauh, sehingga memungkinkan perawatan terampil di mana saja. Hal ini sangat berharga bagi pasien di daerah pedesaan atau daerah tertinggal di mana keahlian bedah khusus tidak selalu tersedia. Dengan memungkinkan ahli bedah terampil untuk melakukan operasi dari jarak jauh menggunakan sistem robotik, 5G memungkinkan pasien menerima intervensi tepat waktu yang mengubah hidup dan sangat meningkatkan peluang pemulihan mereka.

Internet of Medical Things (IoMT)

Internet of Medical Things (IoMT) menghubungkan berbagai perangkat medis menggunakan internet untuk mengumpulkan, menganalisis, dan berbagi data dengan tenaga kesehatan profesional. IoMT menyatukan perangkat yang dapat dikenakan (wearable), alat pemantauan jarak jauh, peralatan rumah sakit, dan sistem informasi kesehatan untuk

meningkatkan perawatan pasien dengan biaya lebih rendah dan menyediakan perawatan khusus untuk pasien. Deteksi dini penyakit dapat meningkatkan manajemen penyakit.

Komponen Utama IoMT

- **Perangkat yang Dapat Dikenakan:** Ini termasuk jam tangan pintar, pelacak kebugaran, pelacak EKG yang dapat dikenakan (wearable), monitor oksigen, suhu, dan stres yang mengumpulkan data terkait kesehatan seperti detak jantung, langkah yang dilakukan, dan pola tidur.
- **Perangkat Implan:** Alat pacu jantung yang ditanamkan di dada atau perut untuk mengontrol fungsi jantung.
- **Perangkat Pemantauan Jarak Jauh:** Perangkat yang memungkinkan pemantauan pasien dari jarak jauh, seperti kamera CCTV dan perangkat pintar yang terhubung.
- **Peralatan Medis yang Terhubung:** Di rumah sakit, mesin MRI, ventilator, dan pompa infus terhubung ke sistem pusat untuk pemantauan dan kontrol secara real-time.
- **Perangkat Lunak Layanan Kesehatan:** Perangkat lunak berbasis cloud yang mengumpulkan dan menganalisis data untuk memberikan wawasan yang dapat ditindaklanjuti bagi tenaga kesehatan dan pasien.

Internet of Medical Things (IoMT) menawarkan pemantauan metrik kesehatan secara real-time. Selain itu, data yang dikumpulkan dari perangkat IoMT membantu penyedia layanan kesehatan menyesuaikan rencana perawatan untuk memenuhi kebutuhan spesifik setiap pasien. Teknologi ini juga dapat menghemat biaya dengan meminimalkan kunjungan rumah sakit melalui perawatan jarak jauh dan diagnosis dini; pada akhirnya, mengurangi biaya layanan kesehatan.

7.4 TANTANGAN DAN STRATEGI 5G DI BIDANG KESEHATAN

Beberapa tantangan perlu diatasi untuk sepenuhnya memanfaatkan manfaat layanan kesehatan berbantuan berbasis 5G. Salah satu tantangan utama adalah memastikan perangkat medis kompatibel dengan 5G. Banyak perangkat medis yang ada saat ini beroperasi pada frekuensi radio yang ditentukan untuk pita ISM (Industrial, Scientific, and Medical) dengan teknologi 3G dan LTE, yang berarti diperlukan investasi dan pengujian tambahan untuk memastikan perangkat-perangkat tersebut berfungsi dengan lancar. Tabel 7.2 menguraikan tantangan yang terkait dengan implementasi 5G di sektor layanan kesehatan.

Berbagai kebijakan telah diusulkan untuk meminimalkan potensi risiko dan mendorong implementasi teknologi 5G di bidang layanan kesehatan. Kebijakan ini bertujuan untuk mendorong kolaborasi dengan penyedia layanan 5G guna mengembangkan infrastruktur yang diperlukan, menerapkan langkah-langkah keamanan siber yang kuat untuk melindungi data pasien yang sensitif, dan menyusun rencana terperinci untuk mengintegrasikan 5G dengan sistem TI layanan kesehatan yang ada.

Meneliti sumber pendanaan juga dapat membantu meringankan beban finansial; oleh karena itu, untuk menjamin kelancaran operasional, seseorang harus berinvestasi pada perangkat yang kompatibel. Langkah-langkah penting juga melibatkan legislator untuk

mengubah aturan dan menciptakan solusi cadangan demi keandalan jaringan. Pendekatan khusus untuk mengatasi masalah ini dibahas dalam Tabel 7.3.

Tabel 7.2 Tantangan Utama Dalam Implementasi 5G Di Bidang Layanan Kesehatan.

<i>Tantangan</i>	<i>Deskripsi</i>	<i>Dampak</i>
Pengembangan infrastruktur	Mebutuhkan investasi signifikan dalam infrastruktur baru, termasuk pemasangan menara 5G.	Cakupan terbatas di daerah pedesaan dapat menghambat akses ke layanan kesehatan tingkat lanjut.
Risiko keamanan siber	Peningkatan transmisi data menimbulkan kekhawatiran tentang keamanan informasi pasien yang sensitif.	Potensi kebocoran data dan hilangnya kepercayaan pasien jika langkah-langkah keamanan tidak memadai.
Integrasi dengan sistem yang ada	Kesulitan dalam mengintegrasikan 5G dengan sistem TI layanan kesehatan saat ini dan memastikan interoperabilitas.	Dapat menyebabkan inefisiensi operasional dan peningkatan biaya jika sistem tidak dapat berkomunikasi secara efektif.
Implikasi biaya	Biaya tinggi yang terkait dengan peningkatan peralatan dan pelatihan staf untuk menggunakan teknologi baru.	Keterbatasan anggaran dapat membatasi kemampuan fasilitas kesehatan untuk mengadopsi teknologi 5G sepenuhnya.
Kompatibilitas perangkat	Perangkat yang ada mungkin tidak mendukung 5G, sehingga memerlukan peralatan baru dan pengujian kompatibilitas.	Penundaan implementasi karena penyedia layanan kesehatan menunggu peluncuran perangkat yang kompatibel.
Kepatuhan terhadap peraturan	Perlunya kepatuhan terhadap undang-undang dan peraturan privasi yang ketat, seperti HIPAA, saat menggunakan jaringan 5G.	Ketidakpatuhan dapat mengakibatkan sanksi hukum dan kerusakan reputasi jika data pasien dikompromikan.
Keandalan jaringan	Ketergantungan pada keandalan jaringan untuk layanan medis kritis dapat menimbulkan kekhawatiran tentang kerapuhan sistem.	Pemadaman atau kegagalan dapat membahayakan perawatan pasien dan kemampuan tanggap darurat.

Tabel 7.3 Strategi Untuk Mengatasi Tantangan Dalam Perawatan Kesehatan.

<i>Tantangan</i>	<i>Strategi yang diusulkan</i>
Pengembangan infrastruktur	Berkolaborasi dengan penyedia telekomunikasi untuk memastikan jangkauan yang luas, terutama di wilayah yang kurang terlayani.

Risiko keamanan siber	Menetapkan langkah-langkah keamanan yang kuat dan sistem pengawasan berkelanjutan untuk melindungi informasi rahasia pasien.
Integrasi dengan sistem yang ada	Mengembangkan rencana komprehensif untuk meningkatkan sistem TI, memastikan kompatibilitas dengan standar 5G.
Implikasi biaya	Menjajaki kemitraan dan peluang pendanaan untuk mengimbangi biaya yang terkait dengan adopsi teknologi.
Kompatibilitas perangkat	Berinvestasi dalam penelitian dan pengembangan perangkat yang kompatibel, memastikan perangkat tersebut memenuhi kebutuhan layanan kesehatan.
Kepatuhan terhadap peraturan	Berinteraksi dengan pembuat kebijakan untuk memperbarui peraturan yang mengatasi tantangan unik yang ditimbulkan oleh teknologi 5G.
Keandalan jaringan	Menetapkan sistem dan protokol cadangan untuk menjaga kesinambungan layanan selama gangguan jaringan.

Integrasi teknologi 5G ke dalam layanan kesehatan memungkinkan peningkatan perawatan pasien dan efisiensi operasional sekaligus memitigasi risiko.

7.5 KESIMPULAN DAN PROYEK MASA DEPAN

Jaringan 5G menciptakan peluang baru dalam sistem pendukung layanan kesehatan. Alih-alih pasien mengunjungi dokter secara langsung untuk berobat, teknologi 5G dapat memfasilitasi koneksi global antara pasien dan pakar kesehatan. Dengan menghubungkan perangkat medis melalui internet, dokter dapat memantau, berinteraksi, dan merawat pasien dari jarak jauh, yang dapat membantu menghemat waktu dan biaya yang terkait dengan perawatan pasien. Selain itu, citra medis berkualitas tinggi dan berdefinisi tinggi seperti sinar-X dan MRI dapat dibagikan secara global untuk dianalisis, sehingga meningkatkan akses perawatan bagi pasien. Namun, lingkungan regulasi industri layanan kesehatan yang kompleks dan sistem lama yang tertanam secara mendalam secara historis telah memperlambat adopsi teknologi baru. Penggunaan perangkat yang dapat dikenakan (wearable) yang mentransmisikan data pasien melalui jaringan 5G membutuhkan pengembangan teknologi komunikasi yang aman untuk menjaga privasi data pasien. Sektor medis dapat memperoleh manfaat dari keahlian lintas industri dengan mengadopsi solusi yang telah terbukti efektif di bidang sensitif lainnya, seperti pusat data dan elektronik konsumen.

Studi mendatang akan mengeksplorasi sistem layanan kesehatan pintar berbantuan AI yang memanfaatkan komunikasi 5G untuk meningkatkan kapabilitasnya secara signifikan dan mengatasi potensi tantangan. Penelitian ini mungkin berfokus pada peningkatan transmisi data real-time, pemantauan pasien jarak jauh, dan manajemen sumber daya layanan kesehatan yang lebih efisien.

BAB 8

TEKNOLOGI AAL DENGAN BLOCKCHAIN DAN INSENTIF TOKEN

8.1 PENDAHULUAN

Hunungan berbantuan ambien (*Ambient assisted living / AAL*), yang umum disebut sebagai hunian berbantuan cerdas, menggunakan ide-ide inovatif untuk meningkatkan standar hidup bagi penyandang kondisi kronis. Di bidang kesehatan, kemajuan teknologi telah membuka pintu bagi pendekatan unik untuk hunian berbantuan. Mekanisme ini menggunakan perangkat dan sensor berteknologi tinggi untuk memantau kebugaran dan keselamatan individu di tempat tinggal mereka.

Dengan menggunakan teknologi blockchain, data medis pribadi disimpan secara aman, terbuka, dan tidak dapat diubah, dan privasi selama pemrosesan data dijaga melalui enkripsi homomorfik. Dalam hal peningkatan standar hidup secara keseluruhan, token diberikan kepada penghuni atau pengasuh yang mendorong partisipasi aktif dalam pengobatan dan perawatan dalam sistem hunian cerdas. Metode homomorfik digunakan oleh teknologi blockchain untuk menyimpan informasi kesehatan pribadi secara aman yang memungkinkan perhitungan dilakukan pada data terenkripsi.

Ekosistem Perangkat Terhubung telah menjadi komponen kunci pendekatan AAL, menawarkan fasilitas penting untuk pemantauan, pemrosesan, dan interaksi jarak jauh secara langsung. Hal ini meningkatkan sistem AAL dengan memungkinkan konektivitas dan komunikasi berkelanjutan di berbagai perangkat, sehingga perawat dan tenaga kesehatan dapat memantau pasien dari jarak jauh dan melakukan intervensi sesuai kebutuhan. Koneksi unik ini membuka kemungkinan baru untuk inovasi di berbagai industri seperti transportasi, layanan kesehatan, kota pintar, dan terutama pertanian. Perangkat Internet of Things (IoT) konvensional menyimpan dan mengelola datanya di server cloud. Perangkat IoT yang terhubung ini digunakan dalam sistem AAL untuk mengumpulkan data waktu nyata (*real-time*) tentang lingkungan, perilaku, dan tanda-tanda vital penghuni. Data ini kemudian dianalisis untuk menyediakan bantuan otomatis, pelacakan kesehatan berkelanjutan, dan notifikasi darurat. Hal ini meningkatkan keamanan, kenyamanan, dan kemandirian individu dengan memungkinkan komunikasi yang lancar antara perawat, jaringan blockchain, dan penyedia layanan kesehatan.

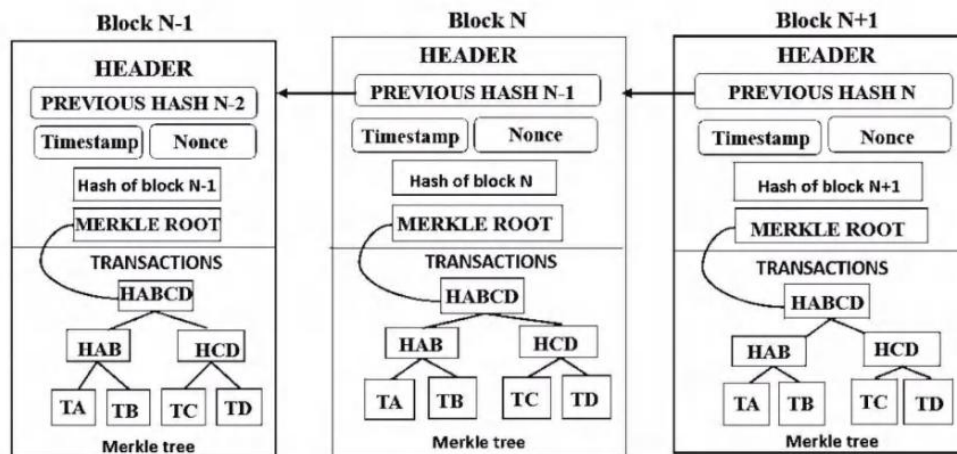
Perangkat IoT ini menyatukan banyak data, yang dapat menjadi sulit jika jatuh ke tangan pengguna yang tidak berwenang. Teknologi Blockchain memiliki kemampuan untuk membantu mengatasi masalah ini. Teknologi ini seperti teknologi di balik Bitcoin. Blockchain adalah pencatatan transaksi yang terdesentralisasi dan aman. Agar proses dalam sistem AAL menjadi otomatis dan aman, kontrak pintar sangat penting. Kontrak pintar adalah program yang memberlakukan perjanjian secara otomatis ketika semua orang menandatangani. Dengan mekanisme konsensus dan kriptografi, blockchain menawarkan cara yang aman untuk mengirimkan dan menyimpan data tanpa manipulasi.

Teknologi blockchain awalnya dikembangkan sebagai solusi untuk masalah konsumsi ganda dalam uang digital. Selain perdagangan mata uang kripto, blockchain digunakan di berbagai industri seperti keamanan, transaksi, integritas, dan konsistensi. Teknologi blockchain dapat menyimpan informasi pribadi apa pun tentang seseorang di cloud menggunakan blok. Pengelolaan identitas, manajemen rantai pasokan, kendaraan swakemudi, pengumpulan data nirkabel, otomatisasi industri, layanan medis, jaringan listrik cerdas, pertanian, dan keamanan untuk sistem misi kritis adalah beberapa aplikasi teknologi blockchain.

Blockchain adalah teknologi yang mendasari mata uang kripto digital Bitcoin. Blok adalah catatan permanen data transaksi yang disimpan dalam berkas di blockchain. Blok itu sendiri merupakan kumpulan transaksi yang diunggah ke blockchain sebagai satu unit. Gambar 8.1 menunjukkan struktur blockchain. Setiap blok dalam struktur ini menggabungkan metadata dan area transaksi. Metadata blockchain terutama terdiri dari hash kriptografi, stempel waktu, angka acak, dan akar Merkle. Data dalam blok diidentifikasi menggunakan teknik hash. Nilai hash akan selalu mengembalikan nilai yang sama ketika diberikan data tertentu. Ini berarti jika kita mengubah satu karakter saja dalam dokumen, hash-nya tidak akan cocok. Penambang memilih nonce untuk memecahkan masalah kriptografi. Akar Merkle dari sebuah blok blockchain dihitung dengan menjumlahkan semua nilai hash.

Dalam hal ini, nilai hash saat ini akan menjadi tidak valid setelah penyerang mencoba mengubah isi blok sebelumnya. Efek berjenjang mengubah nilai hash untuk blok yang mengikuti akses ilegal. Namun, untuk mencapai konsensus, penyerang yang ingin mengubah isi blok juga harus mengubah nilai hash di header setiap blok setelahnya dan membuat perubahan serupa pada sebagian besar node. Hal ini membuatnya sangat aman. Transaksi blok validasi node merupakan komponen integral dari protokol perjanjian. Setiap transaksi di dalam node berisi nilai identifikasi, yang menunjukkan kode hash dari bagian transaksi yang cocok di dalam blok. Blok header biasanya berisi akar pohon hash. Akibatnya, verifikasi dapat dilakukan menggunakan salinan lokal transaksi dengan menggunakan cabang pohon Merkle yang berisi transaksi tersebut. Untuk mengidentifikasi transaksi yang dimodifikasi, setiap manipulasi akan mengubah kode hash di cabang terkaitnya.

Pertimbangkan skenario IoT dalam layanan kesehatan. Adopsi teknologi IoT di bidang medis melibatkan pengawasan otonom terhadap pasien. Perangkat nirkabel telah terintegrasi ke dalam perangkat yang dapat dikenakan untuk mengumpulkan dan menyampaikan berbagai jenis informasi kesehatan pasien secara waktu nyata. Masyarakat di seluruh dunia mungkin terdorong untuk membagikan data mereka dengan institusi kesehatan untuk penelitian terpusat karena meningkatnya penggunaan teknologi yang dapat dikenakan. Orang-orang yang membagikan informasi kesehatan mereka seharusnya mendapatkan kompensasi.



Gambar 8.1 Struktur Blockchain.

Teknologi Blockchain menggunakan algoritma konsensus untuk membuat data tidak dapat dipecahkan dan mencapai anonimitas pengguna. Metode yang dikenal sebagai konsensus adalah teknik yang memungkinkan setiap rekan jaringan blockchain untuk menyetujui catatan transaksi yang terdistribusi. Penggunaan blockchain dipermudah dengan teknik kontrak pintar. Perjanjian kontrak ini mengarsipkan ketentuan-ketentuan transaksi antara para pihak dan secara otomatis menjalankan transaksi sebagai kode yang dapat dieksekusi sesuai dengan ketentuan perjanjian.

Di sisi lain, blockchain membuat data masukan dan keluaran kontrak pintar transparan. Jika informasi tersebut mengandung nilai sensitif, teknologi blockchain saat ini akan dengan mudah mengungkap privasi pengguna. Untuk menjaga integritas dan keamanan data pada kontrak pintar, lingkungan eksekusi tepercaya (TEE) menyembunyikan lingkungan eksternal dan memungkinkan node blockchain untuk melakukan operasi rahasia pada kontrak pintar.

Dalam teknologi blockchain, selama transfer data, data perlu dienkripsi. Untuk itu, enkripsi homomorfik digunakan. Enkripsi ini dapat mendeteksi dan memodifikasi data sambil mempertahankan tingkat keamanannya melalui enkripsi. Homomorfisme penuh adalah proses enkripsi yang unik. Berbeda dengan homomorfisme konvensional, homomorfisme penuh memungkinkan orang lain mengakses materi terenkripsi dan menjalankan semua tindakan canggih di atasnya tanpa harus menunggu dekripsi. Dengan enkripsi homomorfik, informasi yang tersimpan di blockchain telah diubah menjadi ciphertext. Kontrak pintar blockchain memiliki kemampuan untuk memproses ciphertext tanpa mengakses data yang tidak terenkripsi, yang secara signifikan meningkatkan perlindungan privasi data pengguna.

Kami berfokus pada skenario layanan kesehatan IoT yang terperinci: Perangkat pintar dan sensor di rumah terus memantau aktivitas fisik penghuni, indikator kesehatan, dan kondisi mereka. Informasi seperti tekanan darah, detak jantung, kebiasaan aktivitas, dan suhu lingkungan penghuni dikirim dengan aman ke jaringan blockchain. Data ini dienkripsi dan disimpan di blockchain. Perhitungan seperti rata-rata tekanan darah atau detak jantung untuk suatu populasi dapat dilakukan oleh penyedia layanan kesehatan menggunakan data terenkripsi. Keluarga dan pengasuh juga dapat memperoleh token atas keterlibatan aktif

mereka. Token adalah bentuk mata uang digital yang dapat ditukar untuk membeli barang-barang medis, mengakses layanan kesehatan premium, atau menerima diskon obat-obatan.

8.2 SISTEM BLOKCHAIN DALAM PERTUKARAN DATA

Sistem blockchain berbasis imbalan untuk pertukaran informasi pribadi diajukan oleh Tian Li dan rekan-rekan. Atribut keamanan ganda, yaitu kerahasiaan dan keandalan, dipenuhi oleh sebagian besar skema berbagi data yang aman. Skema yang diusulkan, BPRPDS (Blockchain-based Privacy-preserving and Rewarding Private Data-Sharing), memenuhi atribut keamanan nonframeability dan pencegahan pembentukan profil perilaku. Blockchain memastikan bahwa kedua belah pihak dalam perjanjian berbagi data pribadi tetap anonim. Perjanjian yang dihasilkan oleh kontrak pintar memungkinkan pemilik data untuk menetapkan kebijakan yang mengatur akses. Dalam tanda tangan cincin, tanda tangan cincin yang dapat disangkal digunakan untuk mengatasi masalah penanda tangan yang tidak ada yang dibingkai karena privasinya yang absolut. Dengan kata lain, penanda tangan dapat memverifikasi apakah tanda tangan tersebut sah atau tidak melalui prosedur konfirmasi. Non-penanda tangan dapat menyangkal bahwa tanda tangan tersebut terkait dengan mereka melalui algoritma penyangkalan. Menurut studi kinerja, BPRPDS berharga dan bermanfaat.

Nima Afraz dan rekan-rekan melakukan analisis riset yang berfokus pada distribusi solusi berbasis blockchain untuk jaringan telepon, estimasi tarif, konektivitas alternatif teknologi seperti lokasi lokal, IaaS, dan SaaS, serta pemilihan sistem blockchain yang tepat. Di sini, batasan kinerja dicatat dalam dua skenario: salah satu skenario adalah solusi pasar terdistribusi untuk perantara irisan 5G, sementara skenario lainnya adalah desentralisasi pembelajaran terfederasi (FL) menggunakan blockchain. Aitizaz Ali dan rekan-rekan memproyeksikan konstruksi berbasis blockchain yang aman untuk melindungi informasi pribadi dalam industri kesehatan, menggunakan IoT. Kombinasi data terenkripsi dan teknologi pembelajaran mesin canggih telah digunakan untuk penggunaan keamanan yang kuat dalam industri kesehatan. Data dilindungi oleh enkripsi sebelum ditempatkan di blockchain, yang menjamin kerahasiaannya. Dekripsi dilakukan hanya ketika pemilik data tertentu memberikan izin untuk mengakses rekam medis. Selain itu, data yang didekode ini digunakan dalam konteks prediksi terkait kesehatan. ODDN-GRU dibuat untuk mencapai prediksi yang presisi melalui integrasi karakteristik GRU dan DNN. Hasil prediksi yang dihasilkan oleh model ini lebih akurat.

Rajendran dan rekan-rekan menyatakan bahwa skalabilitas dan kerahasiaan merupakan isu utama dalam layanan kesehatan. Privasi pasien dapat terancam jika perlindungan dilanggar oleh serangan berbahaya pada blockchain layanan kesehatan, baik melalui akses ilegal maupun oleh petugas administrasi. Studi ini berfokus pada perlindungan kunci unik blockchain, yang digunakan untuk mengenkripsi dan mendekripsi data, dari akses yang tidak diinginkan.

Aysha Alnuaimi dan rekan-rekan menciptakan buku besar Ethereum privat. Pengembangan kontrak pintar, yang dikenal sebagai kontrak registrasi dan persetujuan, memberikan legitimasi dan transparansi pada sistem. Pengguna yang berwenang dapat dengan mudah mengakses informasi pasien yang terkonsolidasi dengan integrasi sistem IPFS

dan aplikasi terdesentralisasi front-end (DApps). Hafida Saidi dan rekan-rekan mengembangkan DSMAC, sebuah sistem kontrol akses terdesentralisasi untuk bukti kesehatan privat yang didasarkan pada perpaduan DID, blockchain, ABAC, RBAC, dan VC. Teknologi seperti identifikasi berdaulat mandiri (SSI) dan kontrak digital digunakan. Paradigma SSI mengelola identitas pengguna. Saat berbagi data pasien, sistem ini dikembangkan secara terdistribusi dan andal untuk memastikan keamanan dan privasi. Dalam studi ini, perbandingan dilakukan antara model kontrol akses, DSMAC, dan contoh kerangka kerja yang diusulkan dalam situasi darurat dan rutin. Hasil kinerja menunjukkan bahwa metode yang direncanakan sangat skalabel dan efektif dalam hal pengiriman dan pemrosesan, throughput, pemrosesan kriptografi, dan latensi.

Kategori teknologi blockchain disajikan oleh Alzhrani dan rekan-rekan yang mencakup aspek-aspek seperti arsitektur blockchain, teknik konsensus, kode hash, dan model kerjanya. Pendekatan ini menunjukkan kebutuhan unik dari tiga jenis blockchain yang disebut blockchain publik, privat, dan konsorsium serta berbagai aplikasinya. Teknik yang disarankan menjelaskan pemahaman mendalam tentang bagaimana blockchain dapat disesuaikan dengan berbagai pengaturan aplikasi, yang terutama berfokus pada transmisi data yang aman dan privat di bidang-bidang seperti sistem perawatan kesehatan dan kehidupan cerdas.

Tinjauan ekstensif tentang aplikasi teknologi blockchain untuk meningkatkan keamanan dalam manajemen rantai pasokan diusulkan oleh Agarwal dan rekan. Studi ini menyoroti bagaimana kontrak pintar dapat mengotomatiskan prosedur, mengurangi penundaan, dan menjamin tanggung jawab operasional. Selain itu, evaluasi tersebut menilai masalah seperti skalabilitas, interoperabilitas, dan kepatuhan regulasi yang membatasi penggunaan blockchain dalam rantai pasokan sambil memberikan informasi tentang perkembangan baru seperti sidechain dan sharding.

Teknik transfer data berbasis blockchain yang aman menggunakan homomorfisme diusulkan oleh Sheng Peng dan rekan. Homomorfisme tidak hanya melindungi data asli tetapi juga memastikan bahwa, setelah dekripsi, data tersebut identik dengan data asli. Perangkat IoT mengumpulkan kredensial publik yang dienkripsi secara asimetris untuk memungkinkan transmisi aman melalui enkripsi homomorfik, dan hasilnya menunjukkan bahwa metode ini mencapai akurasi 88%.

Vikas Jaiman dan rekan-rekan menyajikan kerangka kerja berbagi data berbasis blockchain yang diberi insentif. Dalam penelitian ini, kontrak digital menyesuaikan insentif dan biaya partisipasi secara dinamis. Strategi monetisasi data diimplementasikan menggunakan beberapa skenario biaya. Biaya berbagi data dengan cepat ditutupi oleh model insentif kompensasi biaya dalam kasus ini, yang memberi insentif kepada pemilik data untuk bertukar data lintas platform. Yong Wang dan rekan-rekan mengembangkan protokol berbagi rekam medis elektronik berbasis blockchain yang menjaga privasi. Pemohon data dapat mengirimkan permintaan ke penyedia data dengan menggunakan kata kunci pencarian untuk menemukan rekam medis elektronik yang berlaku pada blockchain komunitas EHR. Pemohon kemudian dapat memperoleh ciphertext enkripsi ulang dari server cloud hanya setelah mendapatkan izin dari pemilik data. Selain itu, bukti persetujuan dibuat sebagai mekanisme konsensus dalam

blockchain konsorsium untuk memastikan ketersediaan sistem. Teknik yang diusulkan berhasil mencapai tujuan keamanan menggunakan blockchain konsorsium EHR.

Metode berbasis blockchain menjadi fokus utama Hao Jin dan rekan-rekan. Penelitian mereka menerapkan studi skema berteknologi tinggi untuk transmisi statistik medis yang aman dan privat. Ia menyarankan pentingnya memilih jenis blockchain yang paling tepat (baik yang diizinkan maupun tanpa izin) untuk pertukaran informasi kesehatan. Paper ini juga menyarankan solusi untuk pendekatan berbasis blockchain, pendekatan berbasis SDN, dan pendekatan berbasis cloud.

Jingwei Liu dan rekan-rekan mengusulkan pertukaran data berbasis blockchain untuk preservasi privat rekam medis elektronik yang disebut BPDS. Dengan metode ini, dokumen medis elektronik disimpan dengan aman di cloud, dan berkas-berkasnya disimpan dalam blockchain konsorsium yang anti-rusak. Dengan metode ini, penggunaan data terkait kesehatan oleh orang yang tidak berwenang akan sangat berkurang. Indeks blockchain memastikan bahwa rekam medis elektronik (RME) tidak dapat diubah sama sekali. Melalui kontrak pintar dalam blockchain, pembagian data medis yang aman dapat dilakukan secara dinamis sesuai dengan kebijakan akses pasien yang telah ditentukan sebelumnya.

Yue dan rekan-rekan mengusulkan sistem HGD yang disebut Healthcare Data Gateway. Mereka mengembangkan platform terdistribusi berbasis blockchain untuk pengumpulan, pertukaran, dan pengemasan informasi kesehatan pasien. Kebijakan akses yang disarankan memastikan bahwa pasien dapat memiliki kepemilikan dan kendali atas informasi medis mereka dengan menetapkan izin akses. Masalahnya terletak pada ukuran blok. Hal ini diatasi dengan memperluas ukuran blok melalui teknik optimasi untuk menyimpan informasi terkait kesehatan pasien di blockchain.

Vora dan rekan-rekan memproyeksikan arsitektur konsensus berdasarkan beberapa perjanjian kontraktual. Kontrol akses diposisikan melalui protokol konsensus Proof of Vote (PoV) untuk memungkinkan EHR yang aman, sehingga privasi pasien tetap terjaga. Meskipun demikian, terdapat overhead biaya komputasi yang signifikan di blockchain ketika teknik privasi diferensial diterapkan. Madine dan rekan-rekan menciptakan metode berbagi informasi terdistribusi yang menyediakan praktik akses rekam medis elektronik melalui dekripsi proksi node Oracle. Namun, pendekatan ini tidak layak dalam situasi mendesak di mana pasien tidak dapat memberikan akses kepada dokter.

Menggunakan sistem blockchain hibrida, Xu dan rekan-rekan mendemonstrasikan sistem rantai kesehatan, yang mendukung mekanisme kontrol akses dan perlindungan saat menyimpan data dalam sistem penyimpanan Interplanetary File System (IPFS). Dalam kasus ini, dokter masih dapat melihat data meskipun pasien menonaktifkan izin dengan memberikan kunci pribadi baru kepada dokter. Untuk membuat kebijakan kontrol akses aktif, Kumar dan rekan-rekan menggunakan perjanjian kontrak pintar. Ia memperkenalkan Ancile, sebuah sistem blockchain yang memungkinkan rekam medis diakses oleh pasien dan pihak lain. Sistem ini menggunakan metode kriptografi progresif untuk keamanan dan blockchain berbasis kontrak pintar untuk menyediakan mekanisme kontrol akses yang lebih baik. Namun, pendekatan ini rentan terhadap serangan penolakan layanan.

Teknik berbagi data kesehatan berbasis blockchain yang layak menggunakan enkripsi berbasis atribut terdesentralisasi diperkenalkan oleh Tao dan Ling. Di sini, izin diberikan dan data dikelola melalui sistem blockchain. Metode enkripsi berbasis atribut terdesentralisasi digunakan untuk kontrol akses yang sangat rinci untuk mencapai privasi dan keamanan. Namun, untuk penyederhanaan manajemen data terkait kesehatan dan untuk meningkatkan perlindungan privasi, penulis menggunakan enkripsi ulang proksi dan metode zero-knowledge proof. Haritha dan rekan-rekan menyarankan solusi dengan menerapkan keamanan multi-level dalam sistem e-kesehatan melalui kombinasi kontrak pintar berbasis blockchain dan model Lattice-Based Access Control (LBAC). Prosedur-prosedur ini memberikan tingkat keamanan yang sesuai dengan kebijakan akses data antar pasien dan sumber daya, sekaligus mempertahankan batasan. Pengguna dapat memberikan perlindungan bertingkat untuk pembatasan kontrol akses melalui model LBAC, sementara kontrak pintar dapat menyediakan proses transfer dalam sistem terdistribusi melalui pengaturan kontraktual antar pihak. Konsep yang diusulkan menerapkan Ethereum Virtual Machine (EVM) untuk menjalankan prosedur autentikasi dan validasi setiap pasien. Detail e-health pasien dapat diakses dan disimpan sebagai blok yang tidak dapat diubah di jaringan blockchain. Dengan demikian, kontrol akses berbasis kisi meningkatkan keamanan pengelolaan rekam medis digital.

8.3 FUNDAMENTAL TEKNOLOGI BLOCKCHAIN

Blockchain sebagai Sistem Terdistribusi

Blockchain adalah sistem dokumentasi berkas terdistribusi. Blockchain terdiri dari blok-blok transaksi yang terhubung, yang diverifikasi dan disediakan oleh node jaringan. Sebuah blok baru dihubungkan dengan blok yang telah dikonfirmasi sebelumnya dan diunggah ke blockchain. Untuk melakukannya, sebuah blok baru dibuat dan nilai hash kriptografi blok sebelumnya dimasukkan ke dalamnya untuk menghasilkan nilai hash yang diperbarui. Untuk memperbarui buku besar (ledger), blockchain menggunakan node validasi, yang umumnya disebut sebagai penambang. Algoritma untuk mencapai konsensus yang menetapkan blok yang valid akan menentukan validasi sebelumnya. Biaya transaksi melekat dalam jaringan blockchain. Biaya ini merupakan biaya komputasi yang dapat dinyatakan dalam satuan gas untuk Ethereum. Upaya komputasi suatu operasi diukur dalam satuan "gas", yang diberi nilai ether. Gas memiliki nilai Ether, dinyatakan dalam Wei, dan merupakan pengukuran jumlah daya komputasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu tugas. Denominasi Ether terkecil disebut Wei.

Algoritma untuk Konsensus

Protokol konsensus merupakan bagian penting dari jaringan blockchain. Protokol ini membangun kepercayaan di antara para peserta dengan memeriksa dan menyetujui perjanjian tanpa satu titik kontak pun. Pada jaringan Ethereum, metode konsensus terdistribusi memutuskan blok mana yang dapat diterima dan menambahkannya ke buku besar. Tujuan utamanya adalah memperbarui status jaringan dengan aman. Dalam sistem blockchain yang berjalan pada "salinan mesin status", mekanisme konsensus menjamin bahwa semua status salinan selalu kompatibel dan konsisten.

Persyaratan utama untuk membuat algoritma konsensus adalah keamanan, keberlangsungan, dan toleransi kesalahan. Model matematika algoritma konsensus adalah PoW, PoS, dan PBFT. Pemilihan prosedur konsensus didasarkan pada persyaratan dan batasan spesifik sistem. Setiap algoritma memiliki kelebihan dan kekurangannya sendiri. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan hal ini saat membuat atau memilih mekanisme konsensus untuk kasus penggunaan tertentu.

Kontrak Cerdas

Kontrak cerdas adalah perjanjian digital yang tergabung dalam kode yang secara otomatis menegakkannya. Kode tersebut tidak memerlukan pemantauan atau komunikasi buatan yang mahal karena dijalankan secara otomatis ketika suatu kondisi terpenuhi.

Kontrak seperti ini secara otomatis memberlakukan dan memenuhi syarat dan ketentuan yang ditentukan melalui pihak-pihak yang terlibat, sehingga menghilangkan kebutuhan akan mediator. Kontrak pintar Blockchain merepresentasikan kekekalan, transparansi, dan keamanan. Kontrak tersebut secara otomatis menjalankan aktivitas yang telah disepakati, termasuk transfer uang atau pendaftaran aset ketika kondisi spesifik telah ditetapkan. Efisiensi ditingkatkan dengan menghilangkan kebutuhan akan keterlibatan pihak lain dalam penegakan kontrak dan proses otomatis ini mengurangi kemungkinan kesalahan dan penipuan, serta menurunkan biaya transaksi. Setiap kali perjanjian kontraktual terpenuhi, transaksi dicatat di blockchain melalui penggunaan kontrak pintar. Adopsi kontrak pintar memfasilitasi pembagian, pemantauan, dan audit rekam medis. Transfer data antara pasien dan peneliti dicapai melalui kontrak pintar.

Tanda Tangan Cincin

Seorang peserta dapat menandatangani dokumen atas nama tim tanpa perlu memberikan informasi pribadi mereka. Ini disebut tanda tangan cincin atau tanda tangan digital. Sebelumnya, penanda tangan asli perlu diidentifikasi dengan jelas, tetapi saat ini, identitas penanda tangan asli dapat disembunyikan dengan menggabungkan tanda tangan mereka dengan tanda tangan anggota lain yang tersedia dalam grup.

Untuk mengakses informasi kesehatan residen, peneliti atau penyedia layanan kesehatan dapat membuat tanda tangan cincin yang menggabungkan kunci publik pasien dengan kunci publik entitas jaringan lainnya. Tanda tangan bersama ini melindungi identitas asli pemohon, sehingga menjaga privasi pasien. Ketika pasien menerima izin untuk melihat rekam medis, kontrak pintarnya akan memvalidasi tanda tangan cincin untuk memastikan bahwa tanda tangan tersebut berasal dari grup yang diizinkan tanpa mengungkapkan identitas masing-masing penanda tangan. Sistem memberikan akses ke data terenkripsi tanpa melanggar kerahasiaan pasien jika permintaan tersebut sesuai dengan ketentuan akses yang ditetapkan oleh pasien. Dengan demikian, verifikasi keabsahan tanda tangan tidak memerlukan identitas pasti penanda tangan, yang meningkatkan privasi dan anonimitas.

8.4 STANDAR ENKRIPSI HOMOMORFIK

Komputasi yang sangat kompleks dapat dilakukan pada data yang dikodekan tanpa perlu didekodekan, menghasilkan hasil yang identik dengan perhitungan pada data yang didekodekan, yang disebut enkripsi homomorfik. Fitur luar biasa ini memungkinkan perhitungan dilakukan pada data yang dikodekan tanpa perlu didekodekan, sehingga menjaga privasi data. Terdapat tiga jenis enkripsi homomorfik. Masing-masing menyediakan berbagai kemampuan komputasi sekaligus melindungi keamanan data: enkripsi homomorfik sebagian, agak homomorfik, dan sepenuhnya homomorfik.

Informasi perilaku penghuni ditangkap melalui perangkat IoT dan dienkripsi menggunakan enkripsi homomorfik sebelum ditransmisikan ke jaringan blockchain. Metode ini memastikan bahwa bahkan pengguna yang berwenang, seperti peneliti atau penyedia layanan kesehatan, hanya dapat mengakses data terenkripsi, yang tetap tidak dapat dibaca tanpa kunci dekripsi pasien. Setelah dienkripsi, informasi tersebut disiarkan di jaringan. Untuk memastikan integritas dan kekekalannya di jaringan blockchain, node di jaringan mengonfirmasi transaksi mereka melalui metode konsensus seperti POW (Proof of Work) atau POS (Proof of Stake). Ketika peserta terdaftar perlu mengakses data pasien untuk keperluan investigasi atau penelitian medis, mereka harus mengajukan permintaan akses melalui jaringan blockchain. Permintaan ini kemudian diuji dan divalidasi melalui kontrak pintar, yang hanya memberikan akses jika pemohon memenuhi persyaratan akses yang ditetapkan oleh individu tersebut. Data terenkripsi dapat diambil dari jaringan blockchain dan dapat dipelajari menggunakan metode enkripsi homomorfik berdasarkan persetujuan, sehingga menjaga privasi selama proses berlangsung. Operasi enkripsi homomorfik dikategorikan menjadi tiga jenis:

1. **Enkripsi Homomorfik Sebagian (PHE):** Jumlah operasi tertentu yang tak terbatas dapat dilakukan pada data yang diacak. Umumnya, jenis ini hanya mendukung penjumlahan atau perkalian, tetapi tidak keduanya. Jenis enkripsi ini terbatas pada komputasi yang lebih canggih yang membutuhkan beberapa jenis operasi.
2. **Enkripsi Homomorfik Sebagian (SHE):** Metode enkripsi ini mengizinkan serangkaian operasi penjumlahan dan perkalian yang terbatas dan juga memperluas fitur kemampuan PHE.
3. **Enkripsi Homomorfik Penuh (FHE):** Dengan homomorfisme penuh ini, semua jenis komputasi pada ciphertext dapat dilakukan, yang berarti komputasi plaintext dapat dilakukan pada digit yang sesuai.

8.5 ENKRIPSI HOMOMORFIK DALAM SMART ASSISTED LIVING

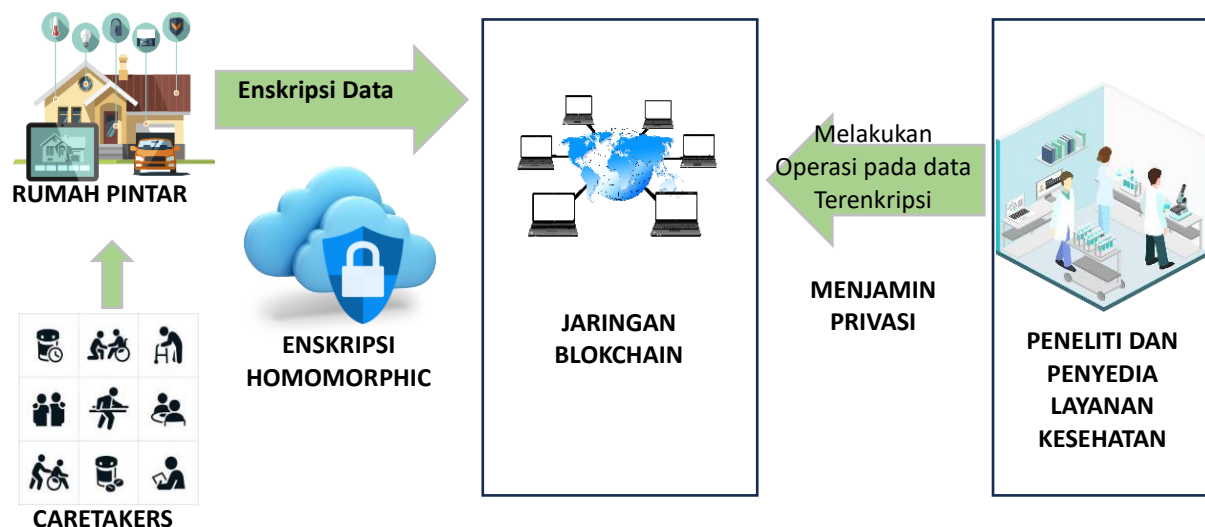
Enkripsi homomorfik baru-baru ini memungkinkan komputasi yang menjaga privasi langsung pada data kesehatan terenkripsi, memungkinkan peringatan waktu nyata dan tindakan pencegahan kepada pasien melalui perangkat pemantauan berkelanjutan seperti sensor kesehatan, pemanas pintar, dan kamera CCTV. Fitur ini tidak hanya melindungi kerahasiaan pasien tetapi juga memungkinkan perawat dan tenaga medis untuk memantau tren kesehatan, menemukan anomali, dan bahkan memprediksi keadaan darurat penghuni

tanpa memiliki akses langsung ke data mentah. Mengidentifikasi kadar gula darah normal pasien dapat membantu peneliti dalam memprediksi frekuensi diabetes dalam suatu populasi, mencatat perubahan dari waktu ke waktu, dan mengakses keberhasilan pengobatan. Kadar gula darah rata-rata merupakan alat yang berguna bagi para ahli kesehatan masyarakat untuk melacak dan mengatasi masalah kesehatan masyarakat. Nilai-nilai ini dapat berfungsi sebagai metrik kesehatan yang penting untuk memantau kondisi kesehatan masyarakat secara keseluruhan dan mengidentifikasi area yang membutuhkan lebih banyak sumber daya medis atau program kesehatan yang ditargetkan. Dengan memahami situasi ini, penyedia layanan kesehatan dapat mengidentifikasi kelompok berisiko dan mengambil tindakan pencegahan untuk mengurangi diabetes dan komplikasi terkait. Prosesnya adalah sebagai berikut:

1. **Enkripsi Data oleh Pasien:** Untuk keperluan penelitian, setiap individu dapat membagikan data medis mereka dengan jaringan blockchain. Dalam hal ini, mereka harus mengenkripsi semua data mereka menggunakan enkripsi homomorfik. Kombinasi kunci publik dan privat akan dihasilkan selama proses ini. Enkripsi harus dilakukan menggunakan kunci publik, sementara penghuni dapat menjaga keamanan kunci privat mereka. Pasien kemudian menggunakan mekanisme tanda tangan cincin untuk menandatangani pengiriman data terenkripsi. Kunci publik digunakan untuk mengenkripsi informasi kesehatan seperti jumlah darah, jumlah diabetes, dan lainnya.
2. **Enkripsi dan Penyimpanan:** Pada langkah selanjutnya, jaringan blockchain menyimpan informasi kesehatan terenkripsi dari pasien sebagai blok terpisah yang terhubung dalam sebuah rantai. Tidak seorang pun dapat mengubah blok individual karena jika seseorang ingin mengubah, maka mereka harus mengubah semua blok berikutnya. Karena kompleksitas ini, blockchain menjaga integritasnya.
3. **Ekstraksi Data oleh Peneliti atau Tenaga Kesehatan:** Untuk melakukan komputasi, peneliti tidak perlu lagi mendekode data terenkripsi. Misalnya, mereka dapat melakukan komputasi apa pun secara langsung pada data terenkripsi. Keluaran dari komputasi ini juga dalam bentuk terenkripsi.

Hanya keluarga yang memiliki kunci privat yang dapat mendekripsi hasil ini untuk menyelesaikan temuan. Hasil komputasi ini tetap terenkripsi. Peneliti dapat membagikan hasil terenkripsi ini dengan pemilik data, yang dapat mendekripsi hasil tersebut menggunakan kunci privat mereka hanya jika diperlukan. Proses ini menjaga privasi pasien selama proses penelitian dengan memastikan bahwa data pasien tidak pernah diungkapkan.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.2, komputasi dapat diterapkan langsung pada data terenkripsi melalui homomorfisme komputasional tanpa memerlukan dekripsi. Hal ini memungkinkan peneliti dan tenaga kesehatan profesional untuk mengevaluasi data, mendapatkan wawasan, dan membuat pilihan yang tepat sambil menjaga privasi dan kerahasiaan data pasien.

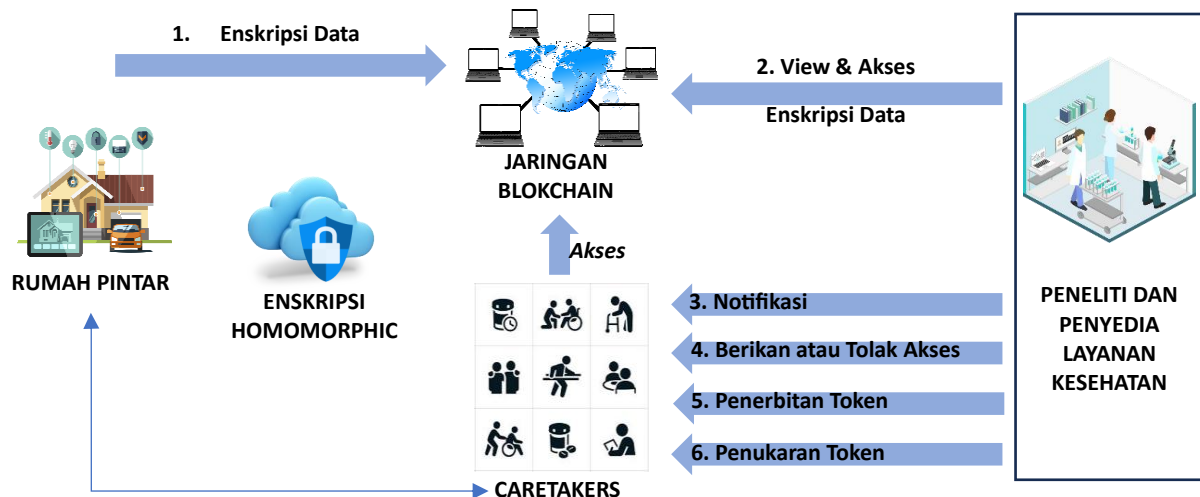


Gambar 8.2 Transmisi aman berdasarkan enkripsi homomorfik.

8.6 TEKNIK PELESTARIAN PRIVASI DALAM DATA MEDIS

Melindungi privasi dalam sistem AAL penting karena sistem ini mengumpulkan dan menganalisis data penghuni untuk mendukung kebutuhan sehari-hari lansia atau individu rentan. Informasi sensitif tersebut mencakup riwayat medis, metrik kesehatan harian, dan rutinitas pribadi. Keamanan yang tidak memadai dapat menyebabkan masalah privasi yang serius. Jika ada penyusup yang menyerang data ini, hal tersebut menimbulkan risiko seperti pencurian identitas, diskriminasi, atau hilangnya martabat penghuni atau pengasuh, yang akan merusak kerahasiaan dalam sistem AAL. Melalui teknik pelestarian privasi, sistem AAL dapat memastikan bahwa data pribadi ini tetap rahasia dan hanya mengizinkan akses kepada pengguna yang berwenang, sehingga melindungi kerahasiaan dan otonomi individu. Hal ini tidak hanya membantu memenuhi standar peraturan tetapi juga membangun kepercayaan, memungkinkan berbagi data yang aman dan etis untuk meningkatkan wawasan kesehatan. Jadi, ini tentang memungkinkan individu merasa aman dan didukung dalam lingkungan untuk meningkatkan kesejahteraan mereka.

Teknologi blockchain dalam praktik pelayanan kesehatan memberikan keamanan, keterbukaan, dan imbalan yang lebih baik atas pembagian data. Artikel ini mengusulkan metode komprehensif untuk membagikan informasi medis pasien dan memberikan imbalan berupa token untuk mendorong pembagian tersebut. Dengan bantuan kontrak pintar, sistem ini menjamin penyimpanan data yang aman, akses terbatas, dan distribusi token otomatis. Arsitektur yang disarankan diverifikasi dengan alur kerja yang terperinci, yang berfokus pada pendaftaran pasien, pengunggahan data pasien, pengaturan persetujuan, permintaan data, dan distribusi imbalan. Setiap komponen berinteraksi dengan jaringan blockchain untuk memverifikasi keamanan dan transparansi data. Diagram arsitektur pada Gambar 8.3 menjelaskan sistem yang kami usulkan.



Gambar 8.3 Kerangka Kerja Yang Diusulkan Menggunakan Enkripsi Homomorfik.

Berbagai elemen:

1. **Registrasi:** Langkah pertama mencakup pendaftaran peserta (misalnya, pengasuh, residen, dokter) secara aman ke dalam sistem AAL dengan memberikan mereka identitas individu yang unik dan memastikan interaksi mereka dicatat secara transparan di blockchain. Dengan registrasi, hanya pengasuh dan penyedia layanan kesehatan yang disetujui yang dapat melihat data pengguna.
2. **Pengunggahan Data:** Proses ini mentransfer atau mengunggah informasi residen seperti status kesehatan, tindakan, dan kondisi atmosfer ke jaringan blockchain. Di sini, enkripsi homomorfik digunakan. Proses ini dilakukan melalui prosedur yang aman di mana informasi terenkripsi berupa data kesehatan dari sensor atau perangkat wearable ditransmisikan ke jaringan blockchain.
3. **Pengaturan Otorisasi:** Sebelum memberikan akses ke data, identitas pemohon divalidasi. Izin dapat diatur untuk akses data melalui kontrak pintar yang menentukan siapa yang dapat mengakses apa dan dalam kondisi apa. Autentikasi dapat dilakukan melalui metode seperti kata sandi, biometrik, atau autentikasi dua faktor (2FA) sebelum mengakses jaringan blockchain.
4. **Mencari Akses Data:** Untuk mengakses data, peneliti atau penyedia layanan kesehatan harus mengajukan permintaan kepada residen. Residen dapat mengabulkan atau menolak permintaan berdasarkan keinginan mereka. Hanya peneliti atau dokter yang dapat melihat data jika permintaan disetujui.
5. **Tokenisasi dan Penukaran:** Tokenisasi dan penukaran menciptakan sistem insentif terorganisir yang menginspirasi peneliti untuk terlibat secara etis dengan data residen sambil memberikan kontribusi untuk penelitian kesehatan yang berharga. Token secara otomatis diberikan kepada basis data keluarga atau pengasuh oleh peneliti berdasarkan luas atau dampak data yang digunakan. Peneliti memulai proses distribusi token dengan menentukan berapa banyak token yang harus diterima setiap residen. Hal ini dapat bervariasi tergantung pada berbagai faktor, seperti jenis data kesehatan yang diberikan atau durasi partisipasi dalam penelitian. Distribusi token

didokumentasikan di blockchain, memastikan transparansi dan ketertelusuran. Residen dapat menggunakan ini untuk memverifikasi saldo token mereka dan setiap transaksi yang terkait dengan data mereka. Token dapat ditukar dengan layanan kesehatan, produk kebugaran, atau manfaat lain dalam ekosistem AAL, atau ditukar dengan uang tunai jika berlaku.

Registrasi

Pengguna resmi seperti pengasuh atau anggota keluarga harus mendaftarkan informasi pribadi penghuni di bawah perlindungan mereka, memastikan bahwa mereka memiliki akses ke sumber daya dan dukungan yang diperlukan dalam sistem hunian berbantuan pintar. Informasi tersebut harus mencakup informasi utama seperti detail resep pasien, jadwal perawatan, dan kebutuhan bantuan khusus.

Dalam proses ini, registrasi melibatkan identifikasi dan otorisasi yang aman bagi penghuni atau pengguna berdasarkan data yang dikumpulkan oleh sensor. Selama registrasi, detail tersebut dapat dikumpulkan menggunakan metode biometrik (misalnya, pengenalan suara atau sidik jari) atau melalui pengenalan unik (misalnya, tag RFID). Dokter dan tenaga kesehatan profesional juga mendapatkan identitas registrasi mereka. Konsep sistem ini dimulai dengan pengumpulan dan enkripsi informasi medis dari pasien. Dengan menggunakan berbagai sensor dan perangkat IoT seperti perangkat yang dapat dikenakan, obat pintar, monitor glukosa darah, sensor lingkungan, dan pelacak lokasi GPS, informasi ini mudah dikumpulkan. Data medis merupakan penanda penting termasuk tekanan, denyut nadi, kadar glukosa darah, suhu ruangan penghuni. Data asli yang dikumpulkan oleh perangkat ini dienkripsi dengan menggunakan kunci publik penghuni sebelum transmisi.

Langkah ini menjamin bahwa data tetap rahasia dan pribadi selama transmisi, mencegah akses tidak sah. Kredensial pribadi disimpan dengan aman oleh pasien, berpotensi dalam dompet perangkat keras atau penyimpanan digital terenkripsi sementara kunci publik terdaftar di blockchain, mengaitkannya dengan identitas pasien untuk transaksi data selanjutnya. Kunci pribadi harus bersifat rahasia dan harus disimpan dengan aman oleh pemilik data (kerabat atau pengasuh), sementara kunci publik digunakan untuk enkripsi dan verifikasi. Di bawah ini adalah contoh kontrak pintar dalam kode soliditas untuk mendaftarkan penghuni dalam sistem AAL.

```
pragma solidity ^0.8.0;
contract AAL_Registration {
    struct A_Resident {
        string A_name;
        uint A_age;
        string A_medicalInfo;
        bool isRegistered;
    }
    mapping(address => A_Resident) public residents;
    function registerResident(address residentAddr, string memory name, uint age,
```

```

string memory medicalInfo) public {
    require(!residents[residentAddr].isRegistered, "Resident details already registered.");
    residents[residentAddr] = A_Resident(name, age, medicalInfo, true);
}
function getResident(address residentAddr) public view returns (string memory, uint,
string memory) {
    require(residents[residentAddr].isRegistered, "Resident data not found.");
    Resident memory res = residents[residentAddr];
    return (res.name, res.age, res.medicalInfo);
}
}

```

Pengunggahan Data

Pasien mendapatkan hasil medis mereka, seperti hasil lab, pemindaian, dan resep medis, dari dokter masing-masing atau langsung dari platform EHR. Sebelum diunggah, data harus dienkripsi oleh pasien secara lokal di sistem atau gawai mereka menggunakan algoritma enkripsi homomorfik. Data medis terenkripsi kemudian diunggah ke blockchain, dengan metadata disimpan secara eksternal dan data sebenarnya mungkin disimpan secara internal dalam sistem penyimpanan terdesentralisasi seperti IPFS. Perawat, termasuk anggota keluarga atau tenaga kesehatan profesional, dapat mengunggah data tambahan seperti evaluasi, catatan resep, dan rekaman aktivitas harian.

Untuk memastikan privasi, keamanan, dan kerahasiaan, data kesehatan yang dikumpulkan dienkripsi dengan memanfaatkan homomorfisme komputasional (seperti BGV atau Paillier). Manfaat enkripsi homomorfik adalah menjaga kerahasiaan sepanjang masa pakainya dengan memungkinkan perhitungan dilakukan pada data terenkripsi tanpa dekripsi. Setelah itu, data terenkripsi kemudian disusun menjadi transaksi beserta stempel waktu dan ID pasien, dan transaksi ini ditransfer ke jaringan blockchain. Dengan menggunakan metode ini, data akan terlindungi dengan baik. Berikut adalah contoh kontrak pintar dalam Solidity untuk mengunggah data penduduk ke sistem AAL.

```

pragma solidity ^0.8.0;
contract Resident_DataUpload {
    struct Resident_Data {
        string dataHash; // Encrypted data stored as a hash
        uint timestamp;
        bool exists;
    }
    mapping(address => Resident_Data) public residentData;

    function uploadData(address residentAddr, string memory dataHash) public {
        resident_Data[resident_Addr] = Resident_Data(dataHash, block.time_stamp, true);
    }
}

```

```
}  
  
function getData(address residentAddr) public view returns (string memory, uint) {  
    require(residentData[residentAddr].exists, "No data found for this resident.");  
    Resident_Data memory data = resident_Data[residentAddr];  
    return (data.dataHash, data.timestamp);  
}  
}
```

Pengaturan Otorisasi

Pasien atau pengasuh mengontrol aplikasi dengan menetapkan hak akses bagi siapa saja yang dapat mengakses data mereka. Hak istimewa dapat diberikan kepada penyedia layanan kesehatan, peneliti, atau entitas tertentu. Pasien dapat menentukan berbagai tingkat akses (misalnya, akses hanya lihat, unduh, dan akses terbatas waktu). Tingkat akses ini dikodekan ke dalam kontrak pintar untuk manajemen hak akses secara otomatis. Kode di bawah ini digunakan untuk pengaturan izin. Perjanjian kontraktual memungkinkan pasien untuk menentukan secara tepat siapa yang dapat mengakses data mereka dengan mengkodekan aturan dan batasan akses. Prosedur ini menguraikan kapan dan sejauh mana pengguna tertentu, seperti dokter atau peneliti, diizinkan untuk mengakses data.

Pasien memiliki opsi untuk membatasi akses ke data mereka hanya kepada spesialis medis tertentu untuk tujuan penelitian. Hal ini akan dimungkinkan dengan menetapkan kontrak pintar yang menetapkan penegakan kebijakan akses ini, memastikan bahwa hanya pihak yang berwenang yang dapat memperoleh dan menggunakan data yang dikumpulkan. Di bawah ini adalah kode yang disederhanakan untuk menetapkan hak akses.

```
pragma solidity ^0.8.0;  
contract Authorized_setting {  
    enum Role {None, Caretaker, Researcher }  
    mapping(address => Role) public authorizedRoles;  
    address public administrator;  
    modifier onlyAdmin() {  
        require(msg.sender == admin, "Only admin can authorize.");  
    }  
    constructor() {  
        administrator = msg.sender;  
    }  
    function authorized_User(address user, Role role) public onlyAdmin {  
        require(role != Role.None, "Invalid role.");  
        authorized_Roles[user] = role;  
    }  
    function get_role(address user) public view returns (Role) {
```

```
        return authorized_Roles[user];
    }
    function is_authorized(address user, Role role) public view returns (bool) {
        return authorized_Roles[user] == role;
    }
}
```

Di sini, Authorized_User menetapkan peran seperti perawat atau peneliti. Get_role mengembalikan peran yang ditetapkan untuk pengguna. Peran tersebut diperiksa menggunakan is_authorized.

Mencari Akses Data

Seorang peneliti atau penyedia layanan kesehatan mengirimkan permintaan untuk mengakses data tertentu. Permintaan ini mencakup tujuan, jenis data yang dibutuhkan, dan waktu akses. Partisipan (misalnya, perawat, pasien) menerima notifikasi permintaan tersebut di aplikasi mereka.

Di bawah ini adalah kode untuk Solidity (kontrak pintar) untuk permintaan data.

```
pragma solidity ^0.8.0;
contract Data_Permission {
    struct permission_req {
        address requester;
        bool approved;
        bool exists;
    }
    mapping(address => permission_req) public permissions;

    modifier onlyResident(address residentAddr) {
        require(msg.sender == residentAddr, "only resident will approve.");
    }

    function requestAccess(address residentAddr) public {
        permissions[residentAddr] = permission_req (msg.sender, false, true);
    }

    function approveAccess(address requesterAddr) public onlyResident(msg.sender) {
        require(permissions[msg.sender].exists, "No such access request.");
        permissions[msg.sender].approved = true;
    }

    function checkAccess(address residentAddr) public view returns (bool) {
        return permissions[residentAddr].approved && permissions[residentAddr].
            requester == msg.sender;
    }
}
```


}

}

Peneliti atau praktisi kesehatan mengajukan permintaan formal untuk akses data ketika mereka membutuhkan akses ke data medis pasien untuk penelitian, perencanaan, atau aktivitas relevan lainnya. Biasanya, pemohon mengirimkan pertanyaan melalui interaksi pribadi, yang menyebutkan kategori data yang dibutuhkan, tujuan permintaan, dan informasi relevan lainnya. Setelah menerima permintaan, kontrak pintar pasien mengatur izin akses bagi pemohon.

Permintaan tersebut diperiksa secara cermat oleh kontrak pintar dibandingkan dengan kebijakan akses pasien yang telah ditetapkan sebelumnya. Kebijakan ini menguraikan keadaan di mana akses data dapat diberikan, seperti proyek penelitian tertentu, rencana asuransi, atau kasus perawatan lainnya. Kontrak pintar memvalidasi permintaan dan mengizinkan akses ke data medis terenkripsi hanya jika permintaan tersebut memenuhi kriteria dan standar akses. Namun, jika permintaan tidak sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan atau melanggar kebijakan privasi pasien, kontrak pintar menolak akses ke permintaan tersebut. Mekanisme yang tangguh akan memastikan bahwa hanya permintaan yang sah dan disetujui yang akan diproses, sehingga menjaga keterbukaan dan keamanan pasien. Demikian pula, sistem ini juga menyediakan jalur pemeriksaan yang jelas untuk pengaturan akses data pengguna melalui perekaman lengkap proses permintaan dan persetujuan yang bersifat permanen. Dengan demikian, kepercayaan dan privasi antara peneliti dan pasien terjaga oleh sistem berbasis blockchain ini secara keseluruhan.

Privasi residen semakin diperkuat oleh blockchain melalui penggabungan tanda tangan cincin dalam prosedur kesepakatan konsensus. Hal ini juga memberi pasien otoritas lebih besar atas informasi medis mereka. Pendekatan ini konsisten dengan tujuan utama sistem layanan kesehatan berbasis blockchain untuk memprioritaskan kerahasiaan dan keamanan data pasien. Ketika seorang peneliti atau penyedia layanan kesehatan meminta akses ke data medis pasien, mereka dapat menggunakan tanda tangan cincin untuk menyembunyikan identitas mereka. Alih-alih mengungkapkan kunci publik mereka secara langsung, pemohon membuat tanda tangan cincin yang mencakup kunci publik mereka beserta kunci publik beberapa pengguna atau entitas lain dalam jaringan.

Tokenisasi dan Penukaran

Setelah data diakses, kontrak pintar memicu transfer token dari kumpulan hadiah yang telah ditentukan sebelumnya ke dompet pasien. Pasien menerima notifikasi tentang hadiah token yang dikreditkan ke akun mereka. Untuk memberi insentif kepada pasien agar membagikan data medis mereka, jaringan blockchain secara otomatis mentransfer token ke dompet pasien setiap kali data mereka diakses oleh peneliti yang berwenang. Peserta dan petugas menerima token atas pencapaian tujuan kesehatan dan partisipasi aktif mereka. Token dapat digunakan untuk melakukan pembayaran untuk janji temu medis, terapi, atau tes diagnostik. Strategi ini berupaya meningkatkan kualitas perawatan secara keseluruhan dalam

lingkungan AAL dengan mempromosikan manajemen kesehatan proaktif dan memberikan penghargaan atas hasil positif bagi residen dan pengasuh.

Ringkasan Singkat Pekerjaan

- Proses registrasi dapat dilakukan melalui perangkat IoT. Informasi medis dan lingkungan dari residen dikumpulkan menggunakan sensor yang dapat dikenakan.
- Sensor yang dapat dikenakan dan perangkat lain secara otomatis mengirimkan data kesehatan terenkripsi ke blockchain. Informasi terenkripsi disimpan di blockchain.
- Menerapkan pengaturan izin untuk akses data melalui kontrak pintar yang mengontrol permintaan akses dari peneliti dan tenaga kesehatan profesional.
- Peneliti, tenaga medis, atau dokter dapat meminta akses data, yang harus disetujui oleh residen.
- Permintaan dapat disetujui atau ditolak melalui kontrak pintar.
- Dengan memberikan data pribadi atau terlibat dalam aktivitas yang berfokus pada kesehatan, pengasuh atau penghuni akan mendapatkan token. Token ini dapat ditukarkan untuk memanfaatkan hal-hal seperti pemeriksaan kesehatan, diskon untuk produk kesehatan, atau alat bantu yang tersedia di ekosistem AAL.

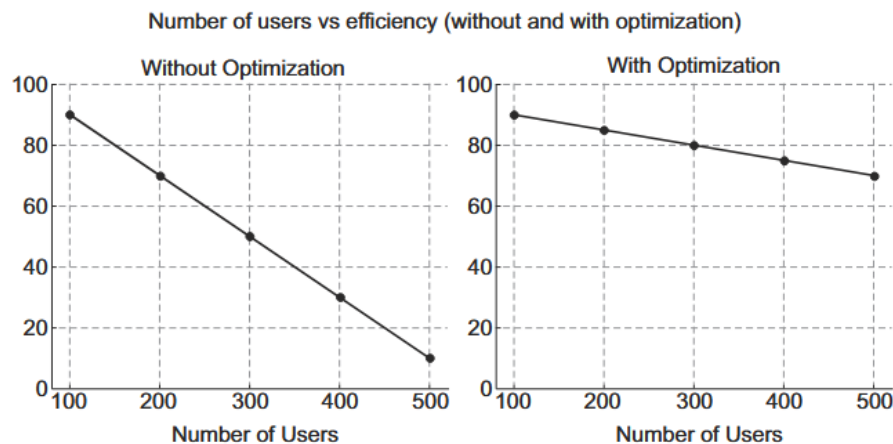
8.7 KINERJA BLOKCHAIN DALAM KESEHATAN

Sistem ini memungkinkan dokter dan pihak lain untuk mengumpulkan data kesehatan dari penghuni secara aman dan real-time menggunakan sensor IoT, sehingga memungkinkan mereka untuk menawarkan perawatan medis yang dipersonalisasi ketika diperlukan.

Privasi penghuni dan peningkatan kualitas perawatan terjamin. Melalui enkripsi homomorfik, peneliti dapat melakukan komputasi data medis pada data terenkripsi itu sendiri, yang merupakan keuntungan tambahan dari model ini. Model pemberian insentif dengan token ini mendorong pembagian data yang etis. Di sini, peneliti dan tenaga kesehatan profesional diberi imbalan berupa token atas penggunaan informasi pasien yang etis. Pendekatan yang menjaga privasi ini mewakili transparansi dan keamanan bagi penghuni, yang mengontrol siapa yang dapat mengakses data mereka. Selain integrasi ke dalam lingkungan rumah pintar, sistem ini melacak hal-hal penting seperti kelembapan dan iklim, yang membantu meningkatkan kesejahteraan penghuni secara keseluruhan dalam situasi hunian berbantuan. Gagasan untuk menggabungkan enkripsi homomorfik, teknologi blockchain, dan insentif token dalam sistem AAL memiliki beberapa aplikasi. Sistem AAL mengamankan dan memantau kondisi kronis seperti obesitas dan tekanan darah tinggi dengan memproses data kesehatan terenkripsi dan menyediakan perawatan individual serta pengingat untuk pengobatan. Perangkat elektronik seperti sensor dan perangkat IoT dapat digunakan untuk pemantauan kesehatan berkelanjutan yang memungkinkan diagnosis dini masalah kesehatan dan perawatan pencegahan. Dengan informasi rahasia pada blockchain, privasi pasien terjaga dengan andal. Studi skala besar dapat dilakukan menggunakan data pribadi dan terenkripsi, yang memungkinkan kemajuan dalam penelitian medis.

Efisiensi akses dan pembaruan informasi kesehatan pada jaringan blockchain dapat menurun seiring bertambahnya jumlah pasien akibat volume transaksi yang tinggi. Dengan

menerapkan strategi optimasi seperti sharding, solusi off-chain, dan proses konsensus yang efisien, teknologi blockchain dapat menangani transaksi dan volume pengguna yang lebih besar secara lebih efektif. Ilustrasi sederhana efisiensi jaringan blockchain dengan dan tanpa metode mitigasi seiring bertambahnya jumlah pengguna ditunjukkan pada Gambar 8.4.



Gambar 8.4 Kinerja Blockchain Tanpa Dan Dengan Optimasi.

Bagan garis di atas mengilustrasikan bagaimana efisiensi berubah seiring bertambahnya jumlah pengguna, baik dengan maupun tanpa optimasi:

Tanpa Optimasi: Seiring bertambahnya jumlah pengguna, efisiensi menurun drastis. Dengan

Optimalisasi: Optimalisasi seperti sharding dan solusi off-chain memungkinkan efisiensi tetap tinggi dan rendah secara bertahap.

8.8 KESIMPULAN DAN PENINGKATAN DI MASA MENDATANG

Kombinasi tanda tangan cincin, kontrak pintar, enkripsi homomorfik, dan perangkat IoT memberikan solusi yang menjanjikan untuk transfer data yang aman dan terjamin dalam sistem berbasis blockchain. Strategi ini mengutamakan privasi pasien sekaligus memungkinkan pertukaran dan analisis data yang aman. Di sini, kerahasiaan dijamin melalui enkripsi, anonimitas dicapai dengan menggunakan tanda tangan cincin, dan kontrol akses transparan dicapai melalui kontrak pintar. Kemajuan teknis ini berpotensi meningkatkan perawatan yang dipersonalisasi, menyediakan telemedis yang aman, dan meningkatkan pemantauan jarak jauh pasien di bidang kesehatan. Dengan demikian, kerja sama data yang aman dapat mempercepat penemuan obat untuk penelitian dan pengembangan farmasi. Platform berbasis blockchain ini melindungi privasi pasien dan prosedur asuransi.

Peningkatan sistem AAL di masa mendatang akan menggabungkan berbagai teknik dan alat enkripsi mutakhir untuk meningkatkan privasi dan kerahasiaan. Selain penerapan homomorfisme, integrasi pembelajaran terfederasi dan bukti pengetahuan nol (ZKP) akan menyediakan mekanisme untuk memvalidasi kerahasiaan dan integritas.

Membangun antarmuka dan aplikasi seluler yang lebih ramah pengguna akan meningkatkan konektivitas bagi penghuni dan pengasuh. Lebih lanjut, penambahan alat

visualisasi data yang canggih dan sistem tanggap darurat waktu nyata dapat meningkatkan pemantauan kesehatan penghuni dalam sistem AAL.

BAB 9

MANAJEMEN DIET UNTUK PASIEN DIABETES MENGGUNAKAN AI

9.1 PENDAHULUAN

Perubahan teknologi, dalam banyak hal, telah menjadi faktor utama dalam berbagai bidang seperti kesehatan dan hunian berbantuan. Di antara perkembangan ini, lingkungan hunian berbantuan ambien (AAL) telah menjadi yang terdepan. Sistem tersebut akan menerapkan teknologi baru seperti perangkat pintar, kecerdasan buatan (AI), dan Internet of Things (IoT) dalam menciptakan ruang adaptif dan suportif yang akan beradaptasi dengan kebutuhan individu. AAL ditujukan dan dirancang untuk meningkatkan kualitas hidup lansia, penyandang disabilitas, dan orang-orang yang membutuhkan perawatan berkelanjutan. AAL juga merupakan cara praktis dan non-invasif untuk memperpanjang otonomi dan meningkatkan kesejahteraan kelompok-kelompok ini. Karena banyak populasi di seluruh dunia menua pada tingkat yang belum pernah terjadi sebelumnya, kebutuhan terkait AAL juga meningkat secara proporsional. Menurut WHO, proporsi populasi dunia yang berusia 60 tahun ke atas akan melampaui 20% pada tahun 2050. Hal ini memberikan beban yang cukup besar pada sistem layanan kesehatan dan struktur pengasuhan.

AAL merupakan alternatif berwawasan ke depan dengan memungkinkan lansia untuk tetap mandiri lebih lama dan tinggal lebih lama di rumah mereka melalui kehidupan yang dibantu teknologi. Sistem ini juga lebih jauh membantu orang-orang dengan kondisi kronis, mereka yang sedang dalam pemulihan dari penyakit, dan penyandang disabilitas fisik atau kognitif. Filosofi umum AAL melibatkan integrasi bantuan ke dalam lingkungan hidup sehari-hari secara mulus. Istilah "ambient" menggambarkan: teknologi menjadi sistem pendukung yang tak terlihat namun selalu ada, yang diadaptasi secara real-time sesuai kebutuhan pengguna. Dilengkapi dengan perangkat canggih seperti perangkat yang dapat dikenakan (wearable), sensor, dan sistem berbasis cloud, solusi AAL terus memantau, menganalisis data pengguna, dan merespons secara otomatis dengan intervensi manual minimal sambil menjaga privasi pengguna. Terobosan teknologi merupakan salah satu alasan utama pertumbuhan AAL yang fenomenal. Misalnya, IoT dan sensor pintar sangat penting dalam memantau tanda-tanda vital, mendeteksi jatuh, dan melacak pergerakan di dalam rumah.

Perangkat-perangkat ini mengumpulkan data waktu nyata untuk memastikan keadaan darurat ditanggapi tepat waktu. Sistem AI semakin menyempurnakan lingkungan AAL dengan menginterpretasikan pola data untuk memprediksi masalah kesehatan, memberikan rekomendasi yang dipersonalisasi, dan membantu pengambilan keputusan. Lebih penting lagi, dukungan robotika akan mencakup berbagai perangkat bantu hingga pendamping interaktif dalam memberikan dukungan fisik dan emosional kepada pengguna.

Selain layanan kesehatan, sistem AAL menyediakan solusi untuk kesejahteraan emosional dan keterhubungan sosial. Realitas virtual, platform pembelajaran adaptif, dan perangkat komunikasi pintar memungkinkan pengguna untuk berpartisipasi dalam berbagai

aspek lingkungan mereka, menjaga hubungan, dan bahkan menikmati hobi. Selain itu, kemajuan dalam NLP telah membuat interaksi dengan sistem AAL lebih mudah. Asisten suara membuat interaksi dengan mereka menjadi mudah karena seseorang dapat mengendalikan lingkungan di sekitarnya dengan suara mereka. Namun, terlepas dari prospek yang menjanjikan, penyebaran umum AAL menghadapi sejumlah kendala: keamanan data, keterjangkauan, masalah etika, dan kompleksitas dalam integrasi berbagai teknologi.

Lebih lanjut, sistem harus dirancang agar dapat secara organik sesuai dengan kehidupan pengguna dan, oleh karena itu, memerlukan perhatian khusus terhadap preferensi pengguna dan prinsip-prinsip desain praktis. Hal ini membahas kekuatan transformatif lingkungan AAL dan menggarisbawahi peran teknologi dalam memenuhi berbagai kebutuhan yang ditimbulkan oleh tantangan sosial. Eksplorasi teknologi utama, tantangan, manfaat, dan peluang masa depan menunjukkan bahwa AAL bukan sekadar inovasi teknologi, melainkan inovasi yang esensial bagi kehidupan manusia agar dapat tetap mandiri dan bermartabat, tanpa memandang usia atau kemampuan fisik. Teknologi AAL pada dasarnya dirancang untuk meningkatkan kualitas hidup lansia dan mereka yang menderita masalah kesehatan jangka panjang dengan mengintegrasikan perubahan dalam layanan kesehatan, teknologi informasi, dan perawatan personal ke dalam lingkungan tempat tinggal mereka. AAL mencakup perangkat dan sistem yang dirancang dengan tujuan untuk mempermudah hidup individu dengan memberikan dukungan dalam aktivitas sehari-hari dan memastikan keselamatan, kemandirian, serta meningkatkan kesejahteraan umum.

Teknologi AAL menangani berbagai aspek kehidupan sehari-hari dan layanan kesehatan, seperti mobilitas dan aksesibilitas, telehealth dan perawatan jarak jauh, dukungan kebutuhan nutrisi dan diet, otomatisasi dan keamanan rumah, serta dukungan kognitif dan emosional. Sistem hunian berbantuan aktif menerapkan perangkat dan sensor yang dapat dikenakan untuk memantau parameter kesehatan dasar seperti tekanan darah, kadar glukosa, dan detak jantung. Setiap anomali segera dideteksi, dan pengasuh atau profesional perawatan kesehatan diberitahu untuk mengurangi kemungkinan komplikasi dan dengan demikian memungkinkan intervensi tepat waktu. Pencahayaan otomatis terintegrasi, kontrol iklim, deteksi jatuh, dan rumah pintar tanggap darurat dapat lebih memfasilitasi kenyamanan dan keamanan pengguna. Alat bantu jalan bertenaga, kursi roda pintar, dan rangka luar akan membuat orang yang bergantung pada perangkat ini lebih mandiri dan fleksibel dengan bantuan teknologi AAL. Sistem AAL menawarkan bantuan dengan keterlibatan sosial, dukungan memori, dan stimulasi kognitif untuk meningkatkan kesejahteraan kognitif. Chatbot bertenaga AI dan asisten virtual berperan dalam memberikan dukungan emosional dan membina koneksi, yang dapat mengurangi perasaan terisolasi dan kesepian. Selain itu, program manajemen diet yang dijalankan AI dan dapur pintar sangat membantu orang dengan kondisi seperti diabetes untuk memantau masukan nutrisi, perencanaan makan, persiapan, dan manajemen kebutuhan diet dengan mudah.

Dengan layanan telehealth, pertemuan di tempat yang sering dilakukan telah ditiadakan, dan hal ini membuat layanan kesehatan modern menjadi lebih dekat dengan lebih mudah dan nyaman melalui konsultasi virtual dengan dokter spesialis medis. Pengembangan

teknologi layanan kesehatan modern, seperti AAL, menjadi sangat penting, mengingat peningkatan permintaan yang sangat besar akan perangkat yang dimaksudkan untuk mendukung orang lanjut usia untuk hidup dengan aman dan mandiri di rumah mereka. Teknologi AAL juga membantu menjaga kualitas hidup pasien lanjut usia pada tingkat yang tinggi dan dengan risiko kecelakaan yang lebih sedikit saat merawat penyakit kronis seperti diabetes, penyakit jantung, dan gangguan pernapasan yang memerlukan perawatan jangka panjang.

Sistem AAL memfasilitasi pemantauan kesehatan berkelanjutan yang memungkinkan kondisi tersebut dikelola secara efektif melalui intervensi tepat waktu yang mencegah komplikasi. Meningkatnya permintaan akan perawatan di antara orang lanjut usia, belakangan ini, mengakibatkan kekurangan tenaga kerja di antara para profesional layanan kesehatan di beberapa wilayah dan negara. Teknologi AAL dapat meringankan beban ini dengan mengotomatiskan tugas, memungkinkan pemantauan jarak jauh, dan membebaskan petugas layanan kesehatan untuk menangani aspek yang lebih penting dari perawatan pasien. Penggunaan teknologi AAL menjanjikan pengurangan biaya layanan kesehatan yang signifikan. Mengurangi rawat inap, mengurangi kebutuhan akan fasilitas perawatan jangka panjang, dan mencegah bencana medis adalah beberapa cara teknologi AAL dapat menghemat pengeluaran, baik bagi pasien maupun sistem layanan kesehatan. Keunggulan penting lainnya dari teknologi AAL adalah kemampuannya untuk menyediakan perawatan individual yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan preferensi spesifik setiap pengguna. Karena memanfaatkan algoritma AI dan ML untuk menganalisis informasi yang berasal dari berbagai sumber, mengembangkan rencana perawatan yang dipersonalisasi demi kepentingan terbaik setiap individu, setiap orang dapat yakin bahwa mereka akan menerima bantuan terbaik. Tujuan umum teknologi AAL adalah peningkatan kualitas hidup dan hasil pengobatan. Ini adalah pendekatan modern yang memungkinkan warga negara untuk mandiri, memiliki kesejahteraan dan martabat dengan meningkatkan hubungan sosial, serta memastikan dukungan psikososial dan emosional. Healthcare 5.0 telah membawa perubahan dalam layanan perawatan dibandingkan dengan Healthcare 4.0. Healthcare 4.0 telah membuka pintu menuju sistem layanan kesehatan yang terhubung dan lebih efisien berkat integrasinya dengan teknologi digital, IoT, dan analitik data.

Dalam hal ini, teknologi AAL telah meningkatkan perawatan pasien jarak jauh dan telemedis. Bagian ini akan menguraikan algoritma AI yang dapat digunakan individu untuk membantu mengontrol kadar gula darah dan membuat pilihan makanan yang lebih sehat. Algoritma ini memberikan rekomendasi personal terkait kebiasaan makan dan memantau kepatuhan secara real-time. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menguatkan temuan ini dan menyelidiki efek jangka panjang teknologi AAL berbasis AI terhadap manajemen diabetes.

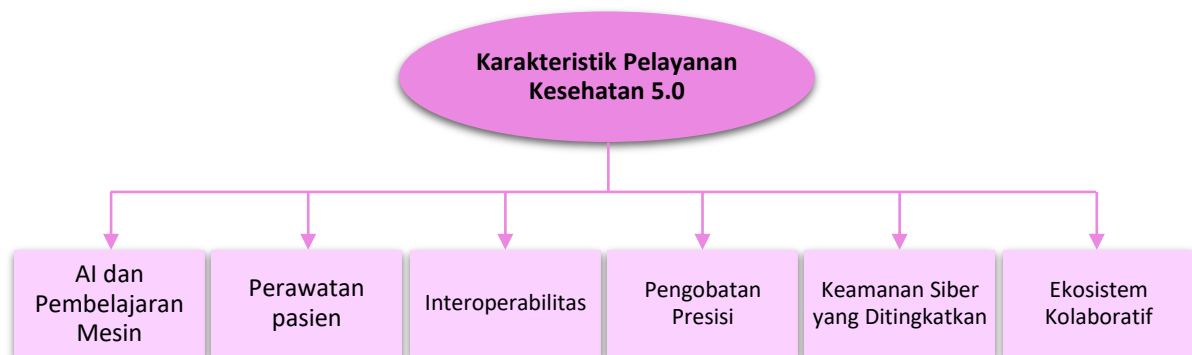
Evolusi dari Layanan Kesehatan 4.0 ke Layanan Kesehatan 5.0

Dengan demikian, seiring perkembangan Layanan Kesehatan 4.0 ke 5.0, sistem hunian berbantuan lingkungan juga akan berkontribusi signifikan terhadap fasilitas medis.

Tinjauan Umum Layanan Kesehatan 4.0: Layanan Kesehatan 4.0—atau dengan kata lain, revolusi industri keempat dalam layanan kesehatan—mewakili lompatan dari layanan

kesehatan tradisional dengan mengintegrasikan teknologi digital, IoT, dan analitik data. Pergeseran paradigma yang diciptakannya semakin menghubungkan sistem layanan kesehatan yang efisien dan personal. Fitur utama Layanan Kesehatan 4.0 meliputi digitalisasi rekam medis, Perangkat Berbasis IoT, Analitik Data, dan Telemedicine.

Karakteristik Layanan Kesehatan 5.0: Layanan Kesehatan 5.0 menggambarkan langkah evolusi selanjutnya, yang dibangun di atas fondasi yang telah diletakkan oleh Layanan Kesehatan 4.0. Ini menandakan jalur bagi kesehatan untuk dilihat dan diupayakan dari perspektif yang lebih holistik, cerdas, dan adaptif. Gambar 9.1 akan menunjukkan karakteristik utama Layanan Kesehatan 5.0.



Gambar 9.1 Karakteristik Utama Layanan Kesehatan 5.0.

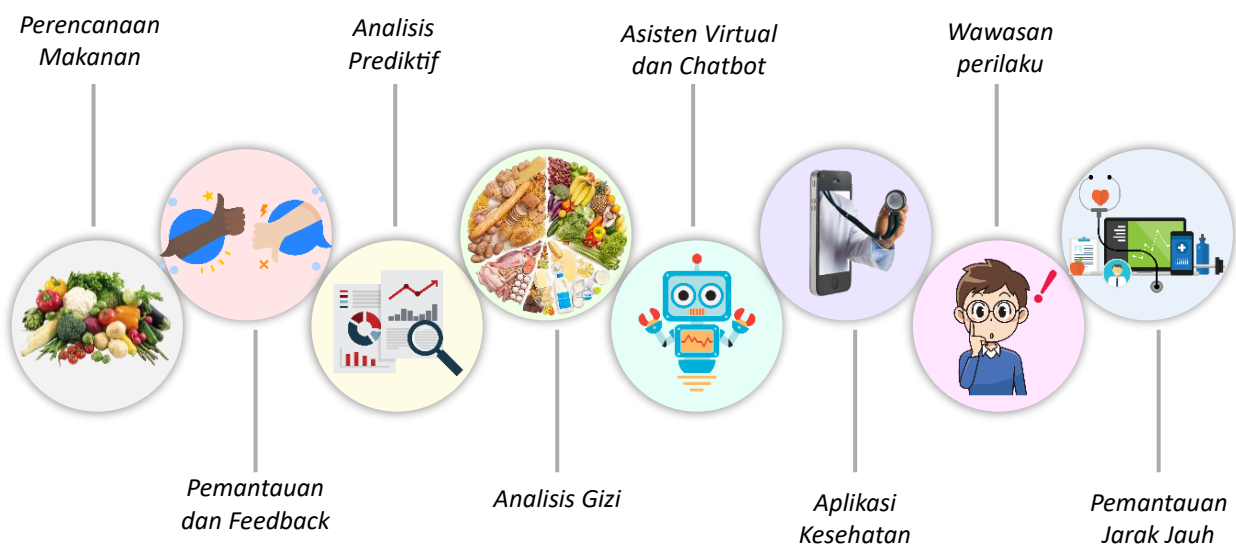
- **AI dan Pembelajaran Mesin:** Algoritma AI dan pembelajaran mesin yang canggih menganalisis data kesehatan yang kompleks untuk memberikan wawasan prediktif, rencana perawatan yang dipersonalisasi, dan dukungan pengambilan keputusan bagi penyedia layanan kesehatan.
- **Perawatan yang Berpusat pada Pasien:** Penekanan pada perawatan individual yang memenuhi kebutuhan dan preferensi khusus setiap pasien, meningkatkan keterlibatan dan kepuasan pasien.
- **Interoperabilitas:** Interoperabilitas berarti kemudahan integrasi informasi dari berbagai sistem, teknik, dan platform kesehatan untuk memungkinkan wawasan komprehensif yang kohesif ke dalam data terkait kesehatan pasien.
- **Pengobatan Presisi:** Ini adalah penggunaan informasi gaya hidup, lingkungan, dan genetik untuk menyesuaikan perawatan dan hasil perawatan demi efektivitas yang lebih baik bagi pasien.
- **Keamanan Siber yang Tangguh:** Ini melibatkan langkah-langkah untuk mencegah pelanggaran dan akses tidak sah ke informasi kesehatan sensitif, yang menjaga privasi dan keamanan data. Fokusnya adalah pada praktik layanan kesehatan berkelanjutan yang mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya, mengurangi limbah, dan meminimalkan dampak lingkungan untuk memastikan stabilitas jangka panjang sistem layanan kesehatan.

- **Kolaborasi Ekosistem:** Hal ini membutuhkan kolaborasi antara pasien, pakar TI, peneliti, dan tenaga kesehatan profesional untuk berinovasi dan meningkatkan standar perawatan.

Kemajuan lain yang lebih lanjut di bidang layanan kesehatan dapat dilihat: transformasi dari Layanan Kesehatan 4.0 menjadi Layanan Kesehatan 5.0. Layanan Kesehatan 5.0 berpusat pada pasien dan merupakan sistem layanan kesehatan yang lebih efisien, memanfaatkan teknologi terkini untuk memberikan perawatan yang personal, preventif, dan prediktif. Ini merupakan langkah yang, selain memecahkan masalah yang ada, membuka perspektif terhadap langkah-langkah di masa mendatang yang pada gilirannya juga akan meningkatkan layanan kesehatan.

9.2 PERAN AI DALAM MANAJEMEN DATA UNTUK PASIEN DIABETES

AI memiliki peran penting dalam mengelola pola makan pasien diabetes dalam kerangka AAL. AAL menggabungkan teknologi ke dalam lingkungan sehari-hari seseorang dengan tujuan untuk mendukung kesehatan dan kesejahteraan mereka, sehingga sangat sesuai untuk manajemen diabetes. Gambar 9.2 akan menunjukkan bagaimana AI berkontribusi pada proses diet ini.



Gambar 9.2 Manajemen Diabetes Berbantuan AI Melalui Proses Diet Pada Pasien Diabetes.

- **Perencanaan Makan yang Disesuaikan:** Selain itu, rencana makan yang dipersonalisasi juga dapat mempertimbangkan algoritma AI untuk pengukuran glukosa darah, pola olahraga yang dilakukan seseorang, preferensi makanan, bahkan riwayat medis saat melakukan perhitungan. Hal ini akan menjamin bahwa resep diet akan sesuai dengan kebutuhan masing-masing pasien dan oleh karena itu lebih efektif dan dipatuhi.
- **Pemantauan Konsisten dan Respons Cepat:** CGM dan perangkat bertenaga AI lainnya dapat terus memantau kadar glukosa darah secara real-time saat ini. Perangkat tersebut dapat memberikan umpan balik langsung, beserta saran diet berdasarkan

kadar glukosa darah saat ini, yang memungkinkan individu untuk membuat pilihan yang sangat tepat tentang makanan mereka.

- **Memprediksi Tren Masa Depan:** AI dapat memprediksi tren glukosa darah berdasarkan data masa lalu yang dikombinasikan dengan variabel terkini seperti insulin yang dikonsumsi, olahraga yang dilakukan, dan makanan yang dikonsumsi. Kekuatan prediktif ini dapat membantu untuk membuat perubahan proaktif pada insulin dan diet.
- **Analisis Nutrisi:** Dengan kemampuannya menganalisis kandungan nutrisi, aplikasi AI dapat memberikan informasi terperinci tentang protein, lemak, karbohidrat, dan nutrisi penting lainnya. Hal ini membantu penderita diabetes memahami implikasi dari pilihan makanan yang berbeda terhadap kondisi gula darah dan kesehatan mereka secara umum.
- **Asisten Virtual dan Chatbot:** Chatbot dan asisten virtual yang didukung AI dapat memberikan dukungan 24/7 dengan menjawab pertanyaan tentang kebutuhan diet, mengingatkan pengguna tentang waktu makan, dan menyarankan pilihan makanan sehat. Selain itu, mereka juga dilengkapi untuk memberikan panduan dalam mengendalikan ukuran porsi dan mendorong perilaku makan yang baik.
- **Integrasi Perangkat Wearable dan Aplikasi Kesehatan:** Data agregat dari AI yang dihasilkan oleh berbagai perangkat wearable dan aplikasi kesehatan, seperti timbangan pintar dan pelacak aktivitas, dapat memberikan penilaian komprehensif tentang kesehatan seseorang. Pendekatan holistik ini memudahkan penerapan kebiasaan gaya hidup dan kebutuhan nutrisi baru.
- **Wawasan dan Motivasi Perilaku:** Studi pola perilaku akan memungkinkan AI memberikan wawasan tentang kebiasaan makan pasien, karena dapat menemukan asal-usul pola makan negatif dan memberikan dukungan untuk membentuk rutinitas yang lebih sehat.
- **Telehealth dan Pemantauan Jarak Jauh:** Mengintegrasikan AI dalam sistem telehealth untuk pemantauan pasien jarak jauh dan pembinaan nutrisi membantu penyedia layanan kesehatan memastikan bahwa pasien selalu menerima perawatan dan dukungan tepat waktu dalam perubahan pola makan yang diperlukan.

Pentingnya Manajemen Diet pada Diabetes

AI akan sangat membantu dalam kasus AAL untuk manajemen diet pada pasien diabetes karena mereka akan mendapatkan dukungan diet yang dipersonalisasi, ADL secara langsung, serta dukungan diet prediktif, yang pada akhirnya meningkatkan hasil kesehatan dan kualitas hidup. Tujuan utama manajemen diet pada individu diabetes: Kontrol Glukosa Darah, Pencegahan Komplikasi, Manajemen Berat Badan, dan Keseimbangan Nutrisi.

Tantangan Saat Ini dan Peran AI untuk Mengatasinya

Manajemen diet tradisional dalam AAL menghadapi tantangan yang signifikan, termasuk kurangnya rencana makan yang dipersonalisasi, pemantauan waktu nyata (real-time), dan integrasi data kesehatan yang beragam. Keterbatasan ini mengakibatkan luaran yang kurang optimal, keterlibatan pasien yang buruk, dan wawasan perilaku yang tidak

memadai. Melalui AI, pasien menerima dukungan yang dinamis dan adaptif, yang mengarah pada peningkatan luaran kesehatan dan kualitas hidup yang lebih baik. Tabel 9.1 akan menunjukkan tantangan manajemen diet dan cara mengatasinya melalui peran AI.

Tabel 9.1 Tantangan Manajemen Diet Saat Ini Dan Metode Untuk Mengatasinya.

<i>Judul</i>	<i>Tantangan</i>	<i>Untuk mengatasi tantangan – tantangan</i>
Personalisasi rencana diet	Manajemen diet tradisional seringkali bergantung pada saran diet generik yang mungkin tidak disesuaikan dengan kebutuhan individu, sehingga menghasilkan hasil yang kurang optimal.	Dengan penggunaan algoritma AI, rencana makan yang dipersonalisasi yang memenuhi kebutuhan dan preferensi diet unik seseorang dapat dibuat, sehingga meningkatkan kepatuhan dan menghasilkan hasil yang lebih baik.
Pemantauan waktu nyata	Metode tradisional tidak memiliki pemantauan dan umpan balik secara langsung, sehingga sulit untuk melakukan penyesuaian diet secara langsung berdasarkan kadar glukosa darah saat ini.	Perangkat dan aplikasi bertenaga AI dapat menyediakan pemantauan kadar glukosa darah secara real-time dan menawarkan rekomendasi diet langsung berdasarkan data terkini.
Integrasi data	Mengintegrasikan data dari berbagai sumber (misalnya, monitor glukosa, pelacak kebugaran) secara manual dapat merepotkan dan rawan kesalahan, sehingga membatasi kemampuan untuk memberikan rekomendasi diet yang komprehensif.	AI dapat mengintegrasikan data dari berbagai perangkat dan aplikasi kesehatan secara mulus, memberikan gambaran komprehensif tentang kesehatan pasien dan memungkinkan pengambilan keputusan diet yang lebih tepat.
Keterlibatan pasien	Mempertahankan keterlibatan dan kepatuhan pasien terhadap rencana diet merupakan tantangan tanpa dukungan dan motivasi yang berkelanjutan, yang seringkali mengakibatkan kepatuhan yang buruk.	Alat AI interaktif, seperti asisten virtual dan chatbot, dapat menjaga pasien tetap terlibat dan termotivasi dengan memberikan dukungan berkelanjutan dan umpan balik yang dipersonalisasi.
Wawasan perilaku	Metode tradisional tidak efektif dalam menangkap dan menganalisis pola perilaku, sehingga sulit untuk menangani aspek psikologis dan emosional dari manajemen diet.	AI dapat menganalisis pola perilaku dan memberikan wawasan tentang kebiasaan makan, membantu pasien dan penyedia layanan kesehatan mengatasi faktor psikologis dan pemicu pola makan tidak sehat.

9.3 AI UNTUK DIET PERSONAL: SOLUSI CERDAS

AI telah berkembang pesat akhir-akhir ini, merevolusi beberapa aspek layanan kesehatan, termasuk nutrisi yang disesuaikan. Solusi bertenaga AI untuk rejimen diet yang disesuaikan memeriksa sejumlah besar informasi diet, indikator kesehatan pribadi, dan variabel gaya hidup menggunakan algoritma kompleks dan pendekatan pembelajaran mesin. Teknologi ini bertujuan untuk memberikan rekomendasi diet yang disesuaikan yang meningkatkan kesehatan dan kesejahteraan secara keseluruhan. Rencana diet yang dipersonalisasi sangat penting untuk mengelola kondisi kesehatan, mencapai tujuan kebugaran, dan mempromosikan kesehatan umum, kontrol, serta rekomendasi diet secara real-time. Algoritma pembelajaran mesin dapat mengidentifikasi pola rumit dalam data diet, memungkinkan pembuatan rencana nutrisi yang sangat disesuaikan. Analisis prediktif menggunakan data historis dan real-time untuk memperkirakan hasil kesehatan di masa mendatang, terutama dalam mengelola kondisi seperti diabetes melalui kontrol glikemik. Secara keseluruhan, rencana diet yang dipersonalisasi bertenaga AI merupakan kemajuan besar dalam bidang nutrisi, panduan diet yang disesuaikan dan berbasis data yang mendorong hasil kesehatan yang optimal.

Algoritma Pembelajaran Mesin untuk Analisis Nutrisi

Kumpulan data nutrisi yang besar dapat dianalisis oleh algoritma pembelajaran mesin untuk menemukan hubungan dan pola yang tidak langsung terlihat oleh mata manusia. Algoritma ini dapat mempertimbangkan berbagai faktor seperti usia, jenis kelamin, kondisi kesehatan, preferensi diet, dan kebiasaan gaya hidup untuk memberikan saran nutrisi yang dipersonalisasi. Gambar 9.3 akan menunjukkan teknik pembelajaran mesin untuk Analisis Nutrisi.

- **Pembelajaran Terawasi:** Algoritma regresi linier, pohon keputusan, dan mesin vektor pendukung dapat dilatih pada data diet berlabel untuk memprediksi kebutuhan dan hasil nutrisi.
- **Pembelajaran Tak Terawasi:** Algoritma pengelompokan seperti K-means dan pengelompokan hierarkis dapat mengelompokkan individu dengan pola diet yang serupa, membantu menyesuaikan rencana diet untuk kelompok tertentu.
- **Pembelajaran Penguatan:** Pendekatan ini dapat mengoptimalkan rencana diet dengan terus belajar dari umpan balik, sehingga rekomendasi dapat ditingkatkan seiring waktu.

Rekomendasi Diet Real-Time

Rekomendasi diet real-time mengacu pada saran yang dapat ditindaklanjuti yang tersedia berdasarkan masukan data terbaru dan diberikan secara langsung. Rekomendasi ini dapat diimplementasikan melalui:

- **Aplikasi Kesehatan Seluler:** Aplikasi bertenaga AI melacak dan memantau asupan makanan, aktivitas fisik, dan metrik kesehatan saat bepergian, lalu memberikan umpan balik dan saran.
- **Perangkat yang Dapat Dikenakan:** Perangkat ini melacak sinyal fisiologis, seperti detak jantung atau kadar gula, dan memberikan saran untuk penyesuaian pola makan sepanjang hari.

- **Asisten Suara:** Dengan integrasi asisten suara bertenaga AI, saran dan pengingat diet yang dipersonalisasi dapat diberikan kepada individu untuk kepatuhan yang lebih baik terhadap program diet.



Gambar 9.3 Teknik Pembelajaran Mesin Dalam Analisis Nutrisi.

9.4 INTEGRASI IoT DAN PERANGKAT YANG DAPAT DIKENAKAN UNTUK AAL

Berkat integrasinya dengan IoT, perangkat yang dapat dikenakan akhir-akhir ini dianggap telah menyebabkan revolusi dalam nutrisi yang dipersonalisasi, terutama dalam sistem AAL. Ini berarti perubahan dari model manajemen kesehatan reaktif dari layanan kesehatan 4.0 ke versi Layanan Kesehatan 5.0 yang proaktif dan berpusat pada pengguna. Dengan mengintegrasikan wawasan berbasis data dengan teknologi canggih, sistem AAL memungkinkan individu untuk menjaga kesehatan mereka dengan lebih baik, terutama terkait kebiasaan makan dan pengelolaan kondisi kronis. Pergeseran ini sangat berharga bagi lansia dan mereka yang memiliki penyakit kronis, yang memperoleh manfaat yang cukup signifikan dari intervensi khusus yang dimungkinkan oleh sistem ini. Contoh yang sangat baik dari transformasi ini adalah sistem Pemantauan Glukosa Berkelanjutan (Continuous Glucose Monitoring), di mana sensor kecil yang tertanam di bawah kulit mengukur kadar gula darah secara real-time. Tidak seperti metode tradisional yang memerlukan tes tusuk jari intermiten, perangkat CGM menyediakan data berkelanjutan dan detail menit fluktuasi glukosa seseorang sepanjang hari. Semakin sering seseorang memantau, semakin baik pemahaman tentang bagaimana tubuh bereaksi terhadap berbagai makanan, aktivitas, dan faktor gaya hidup lainnya. Hal ini juga akan memungkinkan dilakukannya perubahan langsung dalam pola makan dan pemberian insulin, sehingga meningkatkan kontrol glikemik sekaligus meminimalkan komplikasi diabetes, seperti masalah kardiovaskular atau bahkan kerusakan saraf.

Ini bukan hanya perangkat pemantauan, tetapi juga memberikan wawasan fungsional dengan menyoroti pola dan tren variasi glukosa. Misalnya, pengguna akan dapat melihat makanan mana yang menyebabkan peningkatan tajam gula darah dan dengan demikian menyesuaikan menu. Umpan balik yang dipersonalisasi ini akan sangat membantu dalam meningkatkan manajemen glukosa harian dan membina kesehatan jangka panjang melalui pola makan yang lebih sehat. Lebih lanjut, tenaga kesehatan profesional dapat menggunakan data yang berasal dari CGM untuk memberikan saran yang lebih spesifik kepada pasien itu

sendiri; oleh karena itu, manajemen kondisi kronis dilakukan secara terinformasi dan kolaboratif. Nilainya semakin ditingkatkan ketika diintegrasikan ke dalam aplikasi pelacakan kebugaran dan kesehatan. Sistem ini akan mengintegrasikan data glukosa bersama dengan parameter seperti olahraga, tidur, dan konsumsi kalori untuk menciptakan model terintegrasi dari kondisi pasien. Perspektif holistik ini akan memungkinkan pengguna untuk lebih memahami bagaimana berbagai faktor dalam kehidupan mereka saling berhubungan dan memengaruhi kesejahteraan secara keseluruhan. Orang tersebut mungkin merasa bahwa olahraga sedang menjaga kadar glukosa mereka lebih stabil dan oleh karena itu memotivasi mereka untuk menambahkan beberapa aktivitas fisik ke dalam jadwal mereka.

Agar teknologi ini ramah pengguna, dasbor intuitif dan aplikasi seluler dikembangkan, menyajikan informasi dengan cara yang sangat jelas dan mudah ditindaklanjuti. Grafik dan peringatan adalah beberapa alat visual yang digunakan untuk membantu pengguna menafsirkan data dengan lebih baik dan menindaklanjutinya tepat waktu. Misalnya, bagan berkode warna dapat menunjukkan apakah gula darah berada dalam kisaran yang dibutuhkan, sementara notifikasi akan mengingatkan kapan harus makan, minum obat, atau melakukan penyesuaian lain yang diperlukan. Aplikasi lain akan mencakup saran makanan, resep yang disesuaikan untuk kebutuhan spesifik, dan bahkan fungsi prediktif bertenaga AI untuk memungkinkan pengguna melihat ke depan dan mempersiapkan hasil kesehatan di masa mendatang. Ini merupakan faktor yang sangat penting, terutama bagi lansia atau mereka yang tidak terbiasa dengan perangkat digital. Sistem seperti ini lebih mudah diakses karena kontrolnya yang dapat diaktifkan melalui suara, navigasi yang lebih sederhana, dan font yang lebih besar. Sebagian besar platform ini memungkinkan data untuk dilihat oleh pengasuh atau anggota keluarga untuk dukungan tambahan bagi mereka yang mungkin membutuhkan bantuan dalam mengelola kesehatan mereka. Sistem AAL melangkah lebih jauh dengan mengintegrasikan perangkat yang dapat dikenakan seperti CGM ke dalam lingkungan rumah pintar. Sistem semacam itu dapat menawarkan pemantauan kesehatan berkelanjutan dan deteksi dini anomali apa pun, sehingga memungkinkan intervensi tepat waktu.

CGM dapat mendeteksi ketika pengguna mencapai kondisi hipoglikemia yang berbahaya dan segera mengirimkan notifikasi alarm langsung kepada pengguna itu sendiri atau pengasuh lainnya; bahkan secara otomatis memodulasi lingkungan sekitar—menyalakan lampu di sekitar tempat tinggal—untuk membantu individu menavigasi dan mendapatkan makanan cepat saji atau perangkat lain yang meminta informasi dengan aman. Langkah-langkah prediktif semacam itu akan menghemat respons darurat dan lebih lanjut memungkinkan keselamatan umum, terutama bagi lansia yang berusaha tetap mandiri. Hal ini, misalnya, dapat terjadi dalam lingkungan AAL: integrasi yang mulus diperlukan di antara teknologi yang terlibat, mulai dari perangkat yang dapat dikenakan hingga platform analitik canggih, hingga sistem rumah pintar. Sebagai contoh yang sangat konkret, hal ini dapat berupa pelacak aktivitas fisik yang berbagi data dengan CGM untuk memahami implikasi olahraga terhadap glukosa darah.

Demikian pula, lemari es pintar dapat menilai isinya dan memberikan rekomendasi makanan yang sesuai dengan kebutuhan diet pengguna. Hal ini memungkinkan penggabungan

data yang berasal dari berbagai sensor untuk menyediakan, dalam sistem terintegrasi, pendekatan yang harmonis dan berpusat pada pengguna terhadap manajemen kesehatan. Di sini, sekali lagi, dalam proses integrasi ini, analitik canggih juga akan menjadi bagian dari segmen yang sangat penting. Platform analitik akan menemukan korelasi dan menghasilkan wawasan dengan memproses sejumlah besar data, yang dapat mengindikasikan rekomendasi untuk tidak memilih kategori makanan tertentu karena selalu meningkatkan kadar glukosa pengguna. Umpan balik berbasis data yang disediakan oleh teknologi tersebut tidak hanya akan membantu kontrol glikemik yang lebih baik, tetapi juga memungkinkan optimalisasi kesehatan secara umum. Ini merupakan bagian penting dari apa sebenarnya nutrisi personalisasi yang berkaitan dengan Layanan Kesehatan 5.0. Nutrisi personalisasi lebih dari sekadar resep diet umum; nutrisi personalisasi sebenarnya akan berfokus pada pelatihan profil metabolisme, pola gaya hidup, dan kondisi yang unik. Personalisasi semacam itu dimungkinkan dalam perangkat wearable atau IoT melalui pengamatan konstan terhadap setiap metrik utama yang berkaitan dengan kadar glukosa darah, detak jantung, aktivitas, dan setiap potensi bio-indikasi lainnya. Hal ini dapat memungkinkan saran yang sangat spesifik, disesuaikan dengan kebutuhan individu, dan membuat rencana diet jauh lebih efektif dan tahan lama.

Selain mengelola penyakit kronis seperti diabetes, nutrisi yang dipersonalisasi dapat sangat membantu dalam meningkatkan kesejahteraan umum melalui optimalisasi tingkat energi, peningkatan kualitas tidur, dan dukungan kesehatan mental. Beberapa makanan diketahui memengaruhi suasana hati dan fungsi kognitif, yang dapat dengan mudah dimasukkan ke dalam menu harian berdasarkan rekomendasi pribadi. Sistem AAL memainkan peran menyeluruh dalam menjaga kesejahteraan dengan menangani masalah kesehatan mental dan fisik.

Namun, semua potensi keuntungan ini juga menghadirkan beberapa tantangan kritis bagi implementasi teknologi tersebut. Privasi dan keamanan data masih menjadi perhatian besar karena data sensitif yang dikumpulkan melalui perangkat wearable dan IoT harus dilindungi dari akses yang tidak sah. Sangat penting untuk memastikan bahwa enkripsi tersebut kuat dan metode autentikasi aman. Dengan cara ini, kepercayaan pengguna akan terbangun dan kepatuhan terhadap peraturan perlindungan akan ditegakkan. Biaya juga menjadi masalah lain karena perangkat wearable dan teknologi rumah pintar dapat mencapai harga yang tinggi, sehingga sulit diakses oleh masyarakat berpenghasilan rendah. Subsidi atau kemitraan publik-swasta dapat menjadi sangat penting untuk membuat inovasi tersebut terjangkau.

Selain itu, beberapa sistem yang rumit mungkin membuat orang merasa tidak nyaman, seperti pada kasus warga lanjut usia yang mungkin sulit memahami cara menggunakan perangkat digital. Hal ini dapat ditingkatkan dengan antarmuka yang sederhana dan prinsip desain yang berpusat pada pengguna untuk memastikan aksesibilitas demi kemudahan penggunaan dengan teknologi AAL. Masa depan untuk teknologi AAL dan nutrisi yang dipersonalisasi sangat menjanjikan. Karena pengembangan berkelanjutan sedang berlangsung di bidang AI, pembelajaran mesin, dan bioteknologi, sistem ini terus berkembang. Misalnya, perangkat wearable generasi berikutnya dapat memantau biomarker tambahan, seperti

hormon stres atau komposisi mikrobioma usus, yang memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang kesehatan individu.

Lebih lanjut, ini akan meningkatkan responsivitas dan keandalan sistem tersebut juga dalam skenario kehidupan nyata setelah jaringan 5G meluas. Kemajuan tersebut menandai langkah penting menuju paradigma perawatan kesehatan yang bergerak menuju pencegahan, personalisasi, dan proaktivitas manajemen perawatan kesehatan. Sistem AAL ini merupakan bagian dari Healthcare 5.0 untuk memberdayakan individu dalam masalah kesehatan sambil menyediakan sarana pemantauan dan intervensi berkelanjutan yang diperlukan.

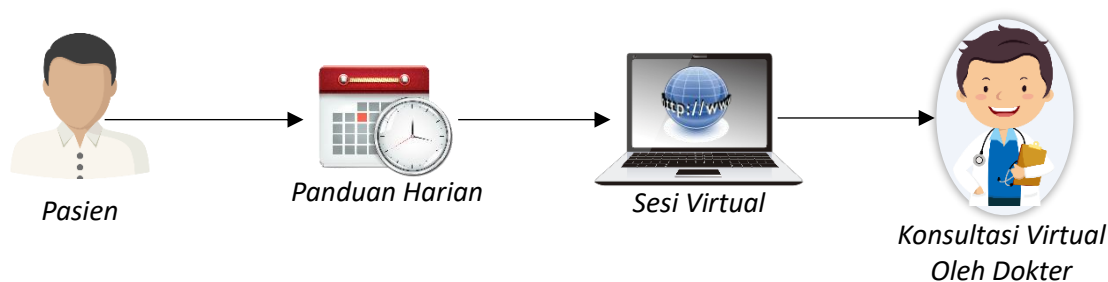
Dengan perkembangan teknologi dan desain yang berpusat pada manusia yang berjalan beriringan, inovasi akan menjanjikan kualitas hidup yang lebih baik untuk semua usia dan kondisi kesehatan menuju masa depan di mana perawatan kesehatan akan lebih efektif dan penuh kasih sayang.

9.5 TELEMEDICINE DAN PEMANTAUAN JARAK JAUH

Telemedicine dan pemantauan jarak jauh dalam segala aspek akan diterapkan pada teknologi AAL yang pasti akan mendorong evolusi dari Healthcare 4.0 ke Healthcare 5.0. Inovasi-inovasi ini memberikan banyak manfaat untuk manajemen diet yang dipersonalisasi, terutama bagi pasien diabetes, dengan memanfaatkan AI untuk menawarkan perawatan yang disesuaikan dan dukungan berkelanjutan.

Konseling Nutrisi Virtual

Dengan menggunakan teknologi telekomunikasi, para ahli medis dapat memberikan saran nutrisi individual kepada pasien dari jarak jauh. Hal ini menghilangkan kebutuhan akan pertemuan tatap muka dan memungkinkan ahli gizi dan pasien untuk berkonsultasi secara berkala. Gambar 9.4 akan menunjukkan konseling nutrisi virtual.



Gambar 9.4 Konseling Nutrisi Virtual Untuk Pasien Diabetes.

- **Aksesibilitas:** Konseling nutrisi khusus dapat diakses dari rumah oleh pasien mana pun di dunia, kapan pun mereka mau.
- **Kenyamanan:** Penjadwalan sesi virtual tentu akan menghemat waktu mereka, sehingga memungkinkan pasien mendapatkan saran yang tepat waktu.
- **Personalisasi:** Melalui analisis perangkat AI, dengan pola makan dan indikasi kesehatan umum atau elemen gaya hidup, setiap pasien dapat diberikan bagan nutrisi yang disesuaikan selama kunjungan virtual.

Sistem Pemantauan Pasien Jarak Jauh

Teknologi yang dapat dikenakan dan perangkat IoT memantau pasien di daerah terpencil untuk evaluasi tanda-tanda vital terkait kadar glukosa darah, aktivitas fisik, dan perilaku makan. Beberapa keunggulan sistem ini adalah sebagai berikut:

- **Pemantauan Pasien Jarak Jauh (RPM):** Perangkat RPM mengumpulkan data secara berkala. Hal ini membantu dokter mendapatkan gambaran lengkap tentang kondisi kesehatan umum pasien dan pola kepatuhan diet.
- **Deteksi Dini:** Sistem dapat mengidentifikasi masalah apa pun dengan menganalisis data menggunakan bantuan AI, yang kemudian dapat digunakan oleh tenaga medis untuk mengambil tindakan yang diperlukan dan menyesuaikan rencana diet jika diperlukan.
- **Peningkatan Kepatuhan Pasien:** Pasien dilibatkan dalam kepatuhan diet melalui umpan balik langsung dan pengingat mengenai status kesehatan mereka.

9.6 INTERVENSI PERILAKU DAN GAYA HIDUP MELALUI AI

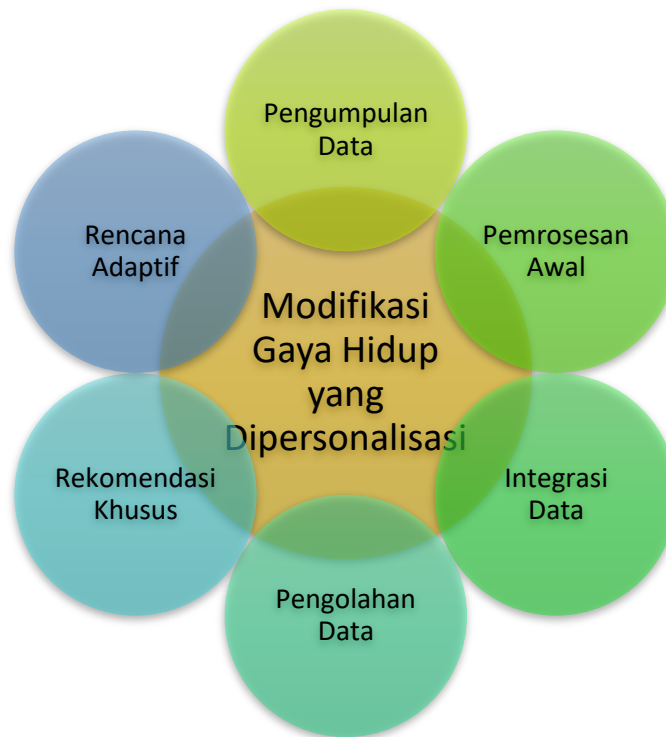
Perawatan perilaku dan gaya hidup berbasis AI bertujuan untuk mencapai perilaku yang lebih baik dan kesejahteraan secara keseluruhan melalui algoritma canggih. Algoritma ini menggunakan wawasan berbasis data untuk memahami perilaku unik setiap orang, menyusun program yang sangat spesifik untuk peningkatan gaya hidup, dan memantau keberhasilan secara waktu nyata (real-time). Penyelarasan semua faktor ini akan memungkinkan AI untuk memberikan rekomendasi yang cukup tepat terkait tidur, manajemen stres, olahraga, dan nutrisi.

Rencana yang Adaptif: Sistem AI terus meningkatkan rencana gaya hidup menggunakan umpan balik pengguna dan data waktu nyata (real-time) mengenai efektivitas dan kesesuaiannya dari waktu ke waktu. Sistem AI kemungkinan besar akan mengidentifikasi pola dan tren yang, tanpanya, mungkin tidak mudah disorot bahkan dalam penelitian yang dapat dilakukan manusia. Oleh karena itu, hal-hal berikut dapat memiliki potensi yang cukup besar untuk sejumlah aplikasi, termasuk:

- **Memahami Pola Perilaku:** Analisis data AI dapat mengidentifikasi pola dalam variabel perilaku yang berkaitan dengan nutrisi, olahraga, tidur, dan kesejahteraan mental.
- **Prediksi Hasil Perilaku:** Dengan menggunakan pembelajaran mesin, model dapat memprediksi kemungkinan perilaku tertentu, seperti mengikuti program olahraga atau kerentanan terhadap stres, dan memungkinkan intervensi dini.
- **Mengidentifikasi Faktor Risiko:** Melalui AI, kami dapat menargetkan orang-orang yang berisiko terkena penyakit terkait gaya hidup seperti obesitas, diabetes, dan penyakit jantung melalui analisis perilaku mereka.

Rencana Modifikasi Gaya Hidup yang Dipersonalisasi

AI kemudian dapat membuat rencana modifikasi gaya hidup yang sangat personal yang benar-benar unik dan penting bagi individu. Gambar 9.5 menunjukkan modifikasi gaya hidup yang dipersonalisasi.



Gambar. 9.5 Modifikasi Gaya Hidup Yang Dipersonalisasi.

- **Integrasi Data:** Integrasi data perangkat wearable, rekam medis, informasi genetik, dan data yang dilaporkan sendiri, semuanya disatukan untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang kesehatan dan gaya hidup setiap individu.
- **Saran:** Menyelaraskan semua faktor ini memungkinkan AI untuk merekomendasikan rekomendasi yang sangat tepat terkait tidur, manajemen stres, olahraga, dan nutrisi.
- **Rencana Adaptif:** Sistem AI terus meningkatkan rencana gaya hidup menggunakan umpan balik pengguna dan data waktu nyata tentang efektivitas dan kesesuaiannya dari waktu ke waktu.

9.7 PERTIMBANGAN ETIS DAN PRIVASI DATA

Pertimbangan etis dan privasi data merupakan hal utama dalam layanan kesehatan berbasis AI. Pengumpulan dan penggunaan data kesehatan sensitif memerlukan perlindungan yang ketat dan praktik yang transparan. Persetujuan berdasarkan informasi, bias, akuntabilitas, dan akses yang adil adalah beberapa isu etika yang perlu ditangani untuk menjamin kepercayaan dan perlindungan hak pasien dalam aplikasi layanan kesehatan AI.

Tantangan Etika dalam Aplikasi AI di Layanan Kesehatan

Integritas etika didasarkan pada persetujuan berdasarkan informasi, objektivitas, akuntabilitas, dan kesetaraan; hal-hal ini cukup penting dalam mencapai kemajuan di bidang kesehatan AI, di mana kepercayaan dibangun atas dasar perlindungan hak-hak pasien. Kekhawatiran etika dan keamanan data terkait penggunaan AI dalam layanan kesehatan sangat tinggi di kalangan pasien dengan gangguan intervensi perilaku dan gaya hidup. Semakin sistem AI bergantung pada data kesehatan pribadi yang berlimpah untuk memutuskan

berbagai hal dan menafsirkan dunia, semakin kuat perlindungan terkait privasi dan etika yang dibutuhkan. Salah satu yang terpenting adalah persetujuan berdasarkan informasi.

Jika AI akan berhasil, setiap orang berhak atas akses penuh ke data kesehatan mereka. Setiap orang harus diberi tahu tentang tujuan penggunaan data mereka dan manfaat atau risikonya. Namun, isu-isu yang disebabkan oleh kompleksitas sistem AI dan penggunaan data mungkin agak sulit dipahami. Penerapan etika dalam layanan kesehatan dapat didasarkan pada implikasi izin yang dipahami dan dijelaskan secara jelas. Masalah lainnya adalah privasi data, karena data kesehatan mengandung informasi sensitif yang perlu dilindungi dari penyalahgunaan, akses tidak sah, dan pelanggaran menggunakan sistem AI keamanan yang ketat, penggunaan enkripsi, anonimisasi, dan peraturan penyimpanan data lainnya yang melarang akses ke pihak yang tidak berwenang.

Untuk melindungi informasi pasien, penting untuk mendistribusikan dan menggunakan data ini di bawah pedoman yang ketat, seragam, dan masuk akal yang harus diikuti oleh penegak hukum. Hal ini menimbulkan kekhawatiran etis tentang algoritma AI yang bias yang dapat melanggengkan bias berdasarkan ras, gender, dan kelas sosial, di antara masalah lainnya. Jika bias ini tidak dikenali dan ditindaklanjuti melalui algoritma AI, hal itu akan memperburuk disparitas kesehatan yang sudah ada hingga perlakuan yang tidak adil. Intervensi perubahan gaya hidup yang didukung AI mungkin tidak akan berhasil dengan baik untuk populasi minoritas jika data pelatihan utamanya terdiri dari satu kelompok demografis. Insinyur harus terus-menerus melakukan iterasi AI. Keterbukaan dan akuntabilitas sangat penting bagi sistem pengambilan keputusan AI untuk menghormati standar moral. Algoritma AI yang transparan dapat mempersulit pemahaman beberapa rekomendasi atau keputusan, yang mengikis kepercayaan dan akuntabilitas. Teknik untuk menangani tantangan ini, oleh karena itu, harus didasarkan pada AI yang dapat dijelaskan untuk memungkinkan pasien dan profesional medis membuat keputusan yang tepat dengan memahami logika nyata di balik rekomendasi yang diberikan melalui AI. AI hanya akan memberikan analisis dan rekomendasi yang cerdas, tidak merusak otonomi tenaga medis dan pasien yang selalu memiliki kata terakhir tentang kesehatan mereka.

Yang terakhir cenderung mempertahankan nilai penilaian dan pengalaman manusia dalam pengaturan perawatan kesehatan dengan keuntungan AI yang dioptimalkan. Akhirnya, ia harus mempertimbangkan konsekuensi masyarakat umum dari penggunaan AI yang berkaitan dengan masalah kesehatan yang etis. Dalam hal ini, ia juga bertujuan untuk mengatasi masalah inklusi dan akses ke perawatan. AI di sektor kesehatan datang dengan masalah khusus dan pelik yang terkait dengan etika tentang privasi data. Ini akan dibantu oleh komitmen terhadap transparansi nyata, keadilan, dan keamanan data yang kuat.

Memastikan Keamanan Data dan Privasi Pasien

AI dalam layanan kesehatan berkaitan dengan jaminan kerahasiaan dan integritas pasien. Misalnya, perlindungan yang kuat harus mencegah penyalahgunaan, kompromi, atau peretasan data kesehatan sensitif. Keamanan data pribadi diperlukan dan melibatkan teknik anonimisasi yang menghilangkan informasi identitas pribadi, perlindungan kerahasiaan dalam transmisi dan penyimpanan, keamanan informasi, dan protokol penyimpanan data untuk

menghindari akses tidak sah. Persetujuan yang diberikan merupakan salah satu langkah kunci dalam perlindungan privasi pasien. Pasien harus dijelaskan secara jelas tentang konsekuensi dari pemberian informasi dan bagaimana informasi ini atau informasi lainnya akan digunakan. Penggunaan informasi kesehatan pribadi yang tidak sah untuk menyelidiki hak kekayaan intelektual dapat merusak kepercayaan dan melanggar hak privasi.

Selain itu, institusi layanan kesehatan harus mengembangkan pedoman tentang penggunaan dan pembagian informasi. Kebijakan tersebut harus diterapkan terkait pembagian informasi dengan pihak ketiga, dan harus dilakukan sesuai dengan standar etika. Bias algoritmik dalam AI dapat memperburuk disparitas kesehatan dan menciptakan ketidakadilan; Oleh karena itu, penting untuk mengambil langkah-langkah guna mengurangi bias dan mengurangi risiko guna memastikan sistem AI memperlakukan semua pasien secara adil. Untuk memastikan keadilan dan imparsialitas tetap terjaga, sistem AI harus dipantau dan diperbarui secara berkala untuk mengidentifikasi dan mengoreksi bias tersebut.

Selain itu, untuk memastikan kerahasiaan pasien, sistem AI kesehatan ini dapat menyediakan fitur keamanan, yang mencakup proses hukum yang kuat dan autentik, pedoman penanganan data sensitif, dan pencegahan bias. Program semacam itu akan memastikan penegakan etika, perlindungan hak pasien, dan pada akhirnya membangun kepercayaan terhadap teknologi medis AI.

Studi Kasus dan Aplikasi di Dunia Nyata

Banyak studi dan aplikasi praktis menunjukkan bagaimana AI dapat mentransformasi layanan kesehatan. Teknologi memainkan peran yang sangat penting dalam mendorong hidup mandiri dan memerangi penyakit kronis. Bab ini mengkaji kinerja AI dalam manajemen diet diabetes, di mana perawatan yang dipersonalisasi secara signifikan meningkatkan luaran pasien. Kami juga melihat pelajaran yang dapat diterapkan pada implementasi teknologi AI dan menyoroti nilai privasi, data waktu nyata, dan desain yang ramah pengguna. Contoh-contoh ini menunjukkan bagaimana AI dapat meningkatkan layanan kesehatan, mendukung gaya hidup sehat, dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat dalam berbagai konteks. Beberapa kisah sukses AI dalam Manajemen Diet Diabetes adalah sebagai berikut:

Kesehatan Digital: Sebagian besar pasien dalam Program Kesehatan Virta mengalami penurunan kadar gula darah yang signifikan dan, dalam beberapa kasus, diabetes mereka kembali normal. Proses ini berhasil. Keberhasilan mereka sebagian besar berkat kemampuan AI untuk memberikan rekomendasi yang dipersonalisasi berdasarkan reaksi spesifik terhadap berbagai makanan.

Kesehatan Buruk: Lark Health menggunakan AI untuk memberikan rekomendasi nutrisi yang dipersonalisasi secara real-time kepada penderita diabetes. Aplikasi bertenaga AI ini melacak pola makan dan kadar glukosa pengguna dengan menggabungkan data dari perangkat wearable dan label makanan. AI kemudian memberikan umpan balik dan rekomendasi cepat untuk membantu pengguna memilih makanan sehat.

Blue Mesa Health: Perangkat lunak ini memberikan rekomendasi berdasarkan analisis AI terhadap kebiasaan dan aktivitas makan pengguna. AI sering digunakan untuk memungkinkan peserta berkomunikasi dengan profesor sungguhan. Konsekuensi yang tidak

diinginkan dari program kesehatan Blue Mesa adalah kadar gula darah peserta terlalu tinggi atau terlalu rendah. AI telah membuat rekomendasi nutrisi menjadi lebih akurat dan lebih baik. Gambar 9.6 menunjukkan platform kesehatan Blue Mesa melalui AI.



Gambar 9.6 Platform Kesehatan Blue Mesa Melalui AI.

9.8 IMPLEMENTASI DALAM TEKNOLOGI AAL

Teknologi AAL mewakili batas baru dalam penyediaan layanan kesehatan dan sosial, terutama bagi lansia dan mereka yang memiliki penyakit kronis atau disabilitas. Sistem tersebut mengintegrasikan perangkat canggih seperti sensor, perangkat IoT, teknologi yang dapat dikenakan (wearable), dan AI untuk menyediakan lingkungan cerdas sesuai kebutuhan individu. Tujuan utamanya adalah meningkatkan kemandirian, keamanan, dan kualitas hidup sekaligus mengurangi beban bagi pengasuh dan penyedia layanan kesehatan. Fitur-fitur tersebut mencakup pemanfaatan isu-isu teknis, sosial, etika, dan ekonomi yang bertujuan untuk membuat sistem berfungsi dan mudah dioperasikan. Beberapa elemen kunci ini meliputi pemantauan kondisi lingkungan dan fisiologis menggunakan sensor. Sensor dapat ditanamkan pada benda-benda rumah tangga atau ditempatkan secara strategis untuk memantau variabel seperti gerakan, suhu, dan kualitas udara. Intinya, sensor gerak mengumpulkan informasi tentang pola aktivitas untuk mengidentifikasi anomali—jatuh atau tidak bergerak dalam waktu lama—yang dapat mengindikasikan keadaan darurat kesehatan.

Namun, perangkat yang dapat dikenakan (wearable) dengan sensor bawaan memantau detak jantung, tekanan darah, dan saturasi oksigen darah. Perangkat semacam itu memberikan wawasan langsung tentang situasi, sehingga memungkinkan respons segera dalam kondisi yang berpotensi menimbulkan risiko kesehatan—misalnya, mendeteksi gangguan pada fungsi jantung dan memberi tahu perawat atau dokter. IoT merupakan bagian yang sangat intrinsik dari sistem AAL, tempat sensor dan perangkat ini berkomunikasi dengan lancar. IoT memungkinkan berbagi, analisis, dan tindakan berdasarkan data yang telah dikumpulkan dari berbagai perangkat dalam ekosistem yang terhubung. Hal ini juga dapat berarti bahwa perangkat yang dapat dikenakan, termostat, dan sistem pencahayaan bersama-sama menghasilkan lingkungan hidup yang disetel sempurna untuk memenuhi preferensi

penggunanya, serta kebutuhan kesehatan. Jika perangkat yang dapat dikenakan mendeteksi peningkatan tekanan darah pemakainya, sistem akan secara otomatis meredupkan suhu atau mengubah warna pencahayaan ke kondisi sekitar yang menenangkan. Selain kenyamanan, pendekatan yang terhubung memastikan bahwa setiap informasi kesehatan penting tersedia bagi siapa pun yang membutuhkannya, baik anggota keluarga maupun tenaga medis profesional.

Dengan AI, sistem AAL kini dapat memproses dan menganalisis data dalam jumlah besar dari sensor dan perangkat IoT untuk menemukan tren dan memprediksi kemungkinan masalah kesehatan. Misalnya, tinjauan pola tidur dapat menghasilkan rekomendasi untuk memperbaiki kebiasaan tidur atau perubahan nutrisi. Sistem bertenaga AI menerapkan pembelajaran mesin untuk meningkatkan rekomendasi seiring waktu melalui analisis perilaku dan hasil pengguna. Analisis prediktif bertenaga AI memungkinkan seseorang untuk membayangkan potensi masalah kesehatan sehingga pencegahan, alih-alih terapi, dapat dipertimbangkan. Komponen vital lain dari teknologi AAL mencakup dukungan bagi penyandang disabilitas fisik dan kognitif; hal ini diwakili oleh alat bantu dan robotika utama lainnya. Contoh dukungan robotika antara lain kursi roda otomatis dan lengan robotika, yang membantu orang-orang memanipulasi barang-barang untuk mereka makan, berpakaian, dan mengambil barang. Selain itu, robot interaktif yang dapat menemani akan berperan penting dalam isolasi sosial untuk menjaga kesejahteraan mental. Robot-robot ini dapat berbicara dengan pengguna, mengingatkan mereka tentang pengobatan, atau bahkan menantang mereka secara mental melalui permainan dan latihan. Otomatisasi rumah pintar juga berperan dalam semua sistem AAL. Berbagai fungsi rumah tangga—pencahayaan, peralatan, dan keamanan—berubah secara dinamis sesuai dengan kebutuhan pengguna yang terus berubah, berkat banyaknya teknologi otomatis. Misalnya, suatu sistem dapat mengunci pintu, mematikan perangkat yang tidak digunakan, atau membuka tirai jendela tergantung pada kondisi luar. Asisten virtual yang dikendalikan suara semakin memudahkan interaksi sehingga pengguna dengan masalah mobilitas atau pengetahuan teknis terbatas dapat mengelola lingkungan mereka melalui perintah suara sederhana. Interoperabilitas diperlukan untuk memastikan bahwa berbagai komponen sistem AAL bekerja sama dengan lancar. Perangkat dari berbagai produsen harus dapat berkomunikasi dan terintegrasi dalam kerangka kerja terpadu.

Protokol komunikasi dan format data yang terstandarisasi memungkinkan hal ini, sehingga memungkinkan kohesi dalam sistem. Misalnya, pelacak kesehatan yang dapat dikenakan dapat berbagi data dengan EHR untuk memberikan riwayat lengkap latar belakang medis pengguna, yang selanjutnya akan meningkatkan koordinasi perawatan dan pengambilan keputusan klinis. Teknologi AAL harus berpusat pada pengguna agar memiliki daya tarik yang luas. Sistem harus intuitif dan mudah diakses, terutama bagi lansia yang mungkin memiliki pengalaman terbatas dengan perangkat digital. Layar yang besar dan jernih, kemudahan navigasi, dan interaksi panduan suara adalah beberapa fitur yang memungkinkan penanganan teknologi ini lebih mudah. Pengguna harus dilibatkan dalam perancangan dan pengujian sistem untuk memastikan sistem sesuai dengan keinginan dan kepuasan mereka. Berdasarkan

saran dari lansia, pengingat yang dipersonalisasi atau pengaturan lampu yang dapat diubah yang akan memberikan utilitas dan kepuasan tambahan dapat direkomendasikan.

Masalah privasi dan keamanan akan sangat memengaruhi penggunaan teknologi AAL. Langkah-langkah keamanan yang ketat harus diterapkan karena sistem ini menangani data yang sangat rahasia dan terkait kesehatan yang tidak boleh jatuh ke tangan yang tidak berwenang. Enkripsi, autentikasi yang aman, dan kepatuhan terhadap peraturan seperti Peraturan Perlindungan Data Umum (GDPR) sangat penting untuk melindungi informasi pengguna. Pengguna perlu mengendalikan data mereka, termasuk siapa yang memiliki akses. Kebijakan yang transparan dan edukasi pengguna tentang manajemen data semakin membantu membangun kepercayaan terhadap teknologi tersebut. Biaya dan skalabilitas merupakan faktor penting dalam implementasi sistem AAL. Namun, teknologi ini membutuhkan investasi besar untuk perangkat dan instalasinya. Teknologi ini mungkin tidak terjangkau oleh setiap pengguna, terutama mereka yang tinggal di rumah tangga berpenghasilan rendah.

Hal ini akan lebih dimungkinkan melalui kemitraan publik-swasta dan insentif keuangan. Misalnya, teknologi AAL dapat disubsidi oleh penyedia asuransi jika terbukti dapat mengurangi biaya kesehatan jangka panjang. Tantangan lainnya adalah skalabilitas; sistem harus dirancang untuk tumbuh seiring dengan jumlah pengguna dan perangkat tanpa kehilangan efisiensi atau kinerja. Implikasi etis dan sosial juga harus diperhatikan dengan seksama dalam teknologi AAL. Otomasi dan AI, meskipun mengutamakan kenyamanan, menimbulkan kekhawatiran tentang berkurangnya interaksi manusia dan potensi dehumanisasi dalam perawatan. Teknologi diseimbangkan dengan kontak manusia, karena pengguna harus merasa dihormati dan diperhatikan. Lebih lanjut, desain sistem harus mempertimbangkan perbedaan budaya dan individu karena kebutuhan dan preferensi pengguna sangat bervariasi di berbagai demografi dan wilayah geografis. Teknologi AAL memang memungkinkan pemantauan berkelanjutan dan intervensi dini, sehingga menjanjikan peningkatan dalam pemberian dan hasil layanan kesehatan. Sistem ini mengurangi kunjungan ke rumah sakit, memungkinkan orang untuk menerima perawatan di lingkungan yang familiar dan nyaman. Misalnya, dalam kasus pengguna yang telah menjalani operasi, perangkat yang dapat dikenakan dapat memantau tanda-tanda vital mereka; data waktu nyata dibagikan langsung dengan penyedia layanan kesehatan untuk ditindaklanjuti.

Teknologi-teknologi ini, meskipun masih dalam tahap awal pengembangan, terus menjembatani kesenjangan antara teknologi dan perawatan yang berpusat pada manusia, sehingga memungkinkan lebih banyak orang untuk memiliki kualitas hidup yang lebih baik dengan kemandirian yang lebih besar. Difusi teknologi AAL yang luas dapat menjadi indikasi peningkatan substansial dalam sistem dukungan dan kesehatan yang lebih baik. Rumah pintar dapat disesuaikan dengan kebutuhan individu dengan penggunaan sensor, IoT, AI, robotika, dan otomatisasi. Meskipun terdapat tantangan di bidang privasi, biaya, dan aksesibilitas, terdapat potensi manfaat yang cukup besar untuk meningkatkan kemandirian, keamanan, dan kesejahteraan. Seiring dengan terus berkembangnya teknologi, sistem AAL tidak diragukan lagi

akan menjadi landasan masa depan di mana orang-orang dapat hidup dengan martabat, otonomi, dan kualitas hidup yang lebih besar.

Rumah Pintar untuk Lansia: Lansia yang tinggal sendiri dapat memperoleh manfaat dari teknologi AAL rumah pintar, yang sebelumnya dikenal sebagai rumah pintar yang memiliki sensor berbasis AI. Salah satu contohnya adalah penerapan sistem AI di panti jompo yang dirancang untuk mengawasi aktivitas sehari-hari dan status kesehatan pasien. Jenis AI ini memantau aktivitas pergerakan, deteksi jatuh, dan indikator tanda vital dengan bantuan sensor. Pemaparan terhadap penerapan sistem ini menunjukkan prinsip memaksimalkan privasi pekerja dan pedoman kepatuhan antarmuka pengguna. Hal penting lainnya adalah komunikasi yang berkelanjutan dengan guru dan pengguna perlu dilakukan untuk memastikan teknologi ini mampu memenuhi kebutuhan dan memecahkan masalah mereka.

Perangkat Wearable yang Disempurnakan AI: Dalam AAL, pakaian bertenaga AI digunakan untuk memantau parameter kesehatan dan memberikan informasi real-time tentang masalah kesehatan. Perangkat wearable bertenaga AI memiliki kemampuan untuk memberi tahu tenaga medis atau paramedis ketika mereka mendeteksi detak jantung abnormal atau perubahan mendadak dalam tingkat aktivitas. Bagian penting dari proses ini adalah memastikan bahwa informasi tersebut andal dan akurat. Informasi yang salah dapat menyebabkan hilangnya barang atau alarm, sehingga mengurangi nilai dan keandalan teknologi. Untuk keamanan, perangkat ini perlu disesuaikan dan diperiksa secara berkala.

9.9 ARAH MASA DEPAN DAN PELUANG PENELITIAN

Teknologi yang Muncul dalam AAL dan Layanan Kesehatan 5.0

Inovasi canggih, yang terkadang disebut sebagai "Obat 5.0", memiliki potensi besar untuk mengubah cara penyembuhan dan meningkatkan hasil yang tenang.

Jaringan Hal-hal yang Menyembuhkan: Ini memanfaatkan perangkat IoT dan wawasan yang dikembangkan untuk memantau data kesehatan secara berkelanjutan dan memungkinkan analisis dan data waktu nyata untuk mengatasi masalah kesehatan sejak awal, merupakan salah satu contoh kemajuan ini.

Koneksi 5G: Jaringan 5G berkecepatan tinggi akan memungkinkan transmisi data yang andal dan efisien antar perangkat, meningkatkan efisiensi layanan lanjutan dan telemedis.

Mekanisasi dan Otonomi Mekanik: Saat ini, perangkat dapat membantu orang yang terdampak dan lanjut usia menjalani kehidupan yang jauh lebih baik dengan memenuhi kebutuhan sehari-hari mereka, memulihkan diri dari cedera, dan bahkan melakukan operasi. Teknologi Blockchain: Teknologi ini memastikan rekam medis yang aman, transparan, dan tidak dapat diubah sekaligus melindungi informasi pasien dan memfasilitasi komunikasi yang mudah antar tenaga kesehatan.

Augmented Reality (AR) dan Virtual Reality (VR): Teknologi ini akan digunakan untuk diagnosis yang lebih baik, perencanaan bedah, manajemen nyeri, psikiatri dan edukasi, serta bentuk terapi lainnya. Agar berhasil menggunakan AI dalam dunia kedokteran, kesenjangan penelitian perlu diatasi.

Kesenjangan Penelitian dan Studi Mendatang

Untuk sepenuhnya mewujudkan potensi AI dalam layanan kesehatan, beberapa kesenjangan penelitian perlu diatasi:

- **Keadilan dan Bias:** Memastikan sistem AI bebas bias dapat menghasilkan perlakuan yang setara. Penciptaan algoritma yang menyeluruh dan komprehensif perlu menjadi tujuan utama penelitian ini.
- **Privasi dan Keamanan Data:** Jika pertukaran data diperlukan untuk operasi AI, sekaligus mengembangkan kebijakan dan prosedur keamanan untuk melindungi informasi pasien.
- **Interoperabilitas:** Penciptaan standar aplikasi yang memungkinkan informasi diintegrasikan dan dipertukarkan antar berbagai perangkat medis dan institusi.

9.10 KESIMPULAN

Kesimpulannya, kemajuan baru dalam AI dan teknologi yang sedang berkembang berpotensi mengubah industri layanan kesehatan secara drastis, terutama di bidang pengobatan diabetes dan AAL. Penelitian yang terfokus untuk menjembatani kesenjangan pengetahuan saat ini akan sangat penting untuk menciptakan sistem berbasis AI yang etis, efisien, dan mudah digunakan. Terlepas dari kemajuan teknologi yang pesat, sistem bertenaga AI fleksibel dan canggih, selalu mencari metode untuk menghemat biaya dan meningkatkan kualitas. Pembelajaran mesin dan AIAI akan mengubah banyak aspek pengobatan dan diagnostik yang disesuaikan. AI dapat mengevaluasi data dalam jumlah besar dengan lebih cepat dan efektif daripada analisis manusia. Hal ini menciptakan peluang baru untuk prognosis dini, diagnosis, dan terapi. Karena kemudahan pengembangan dan kemampuannya untuk terhubung dengan sistem layanan kesehatan lainnya, telemedis diharapkan menguntungkan bagi dokter dan pasien. Selain itu, fokus utama pada manajemen penyakit dan kesehatan masyarakat akan hadir. Perawatan primer mencakup perawatan kesehatan mental, konseling diet, dan olahraga karena banyak orang menyadari manfaat dari perubahan gaya hidup. Lebih lanjut, kemungkinan akan ada fokus yang lebih besar pada pemberdayaan dan keterlibatan pasien di masa depan layanan kesehatan.

Pasien kini memiliki akses yang belum pernah ada sebelumnya ke data kesehatan mereka, berkat meluasnya penggunaan perangkat yang dapat dikenakan dan aplikasi kesehatan. Hasilnya, individu lebih siap untuk mengelola kesehatan mereka secara aktif dan membuat keputusan terkait perawatan mereka. Kepuasan pasien diperkirakan akan meningkat, aliansi antara pasien dan penyedia layanan kesehatan akan semakin kuat, dan pendekatan yang berpusat pada pasien dalam perawatan pasien akan semakin umum.

Singkatnya, industri perawatan kesehatan menjanjikan berkat kemajuan teknologi, fokus pada penanganan penyakit, dan peningkatan partisipasi pasien. Perubahan ini dapat berdampak signifikan pada kehidupan masyarakat, serta pada perawatan, efisiensi, ketersediaan, dan pengobatan pasien. Namun, untuk mencapai tujuan ini diperlukan pendanaan berkelanjutan, dukungan regulasi, dan komitmen untuk mengatasi berbagai tantangan kesehatan.

BAB 10

MODEL BAHASA, VISUAL, DAN BIG DATA DALAM KESEHATAN 5.0

10.1 PENGANTAR MODEL BAHASA BESAR (LLM)

Model-model ini merupakan jenis model kecerdasan buatan yang dirancang khusus untuk mengenali dan menghasilkan bahasa seperti Inggris, Spanyol, Prancis, Hindi, dan lainnya. Model-model ini bekerja berdasarkan jaringan saraf tiruan, sebagian besar merupakan arsitektur pembelajaran mendalam, yang memungkinkan LLM ini memproses dan belajar dari data teks yang sangat besar. Model-model ini tersedia untuk menghasilkan konten yang masuk akal, menerjemahkan bahasa, mengantisipasi kata berikutnya dalam kalimat, atau bahkan menulis kode pemrograman tanpa diprogram secara eksplisit untuk melakukannya dan hanya berdasarkan pembelajaran sebelumnya.

Cara kerja dan pelaksanaan semua tugas LLM adalah dengan mempelajari hubungan statistik antara kata dan frasa dalam data yang menjadi dasar pelatihannya; yang secara sederhana dapat dijelaskan sebagai kata atau frasa mana yang paling sering digunakan bersama-sama atau dalam kalimat yang sama dan observasi lainnya. Hal ini memungkinkan model untuk menyelesaikan beberapa aktivitas yang memerlukan NLP, seperti klasifikasi teks dan analisis sentimen, dan lainnya., yang hanya dimungkinkan melalui pelatihan ekstensif pada kumpulan data yang sangat besar. Hal ini memungkinkan LLM untuk menggeneralisasi pengetahuan mereka di berbagai aplikasi.

Sebelum LLM ditemukan, model NLP tradisional bergantung pada pendekatan berbasis aturan dan teknik pembelajaran mesin yang sangat spesifik. Teknik pembelajaran mesin ini memerlukan rekayasa fitur yang harus dilakukan oleh manusia. Model seperti pohon keputusan dan mesin vektor pendukung (SVM) efektif untuk tugas-tugas yang sempit, seperti pengenalan entitas bernama (NER), tetapi seringkali tidak memberikan hasil yang baik saat bekerja dengan proyek yang melibatkan konteks dan ambiguitas sehingga pada dasarnya tidak efektif untuk masalah NLP. Beberapa perbedaan utama antara model bahasa dan pendahulunya:

1. **Skala Data Pelatihan:** Model tradisional dilatih pada kumpulan data yang lebih kecil dan sangat spesifik untuk tugas tersebut, sementara LLM belajar dari sejumlah besar data, terkadang terdiri dari miliaran kata.
2. **Pembelajaran Fitur:** Model tradisional memerlukan ekstraksi fitur manual dari data, sehingga memakan waktu, tetapi LLM dapat mengekstrak fitur secara otomatis dari data. Hal ini memungkinkan mereka memahami arti kata, nuansa bahasa, dan banyak lagi tanpa pemrograman eksplisit. Bukankah mengesankan bagaimana mereka belajar begitu banyak dari data tak terstruktur?
3. **Fleksibilitas Tugas:** Model tradisional juga seringkali terbatas pada tugas-tugas tertentu, yang berarti pelatihan ulang untuk masalah baru dengan kumpulan data baru yang relevan sehingga memakan waktu. Sebaliknya, LLM bersifat adaptif dan dapat menangani banyak tugas dengan penyesuaian minimal. Misalnya, satu LLM seperti GPT

dapat melakukan penerjemahan, peringkasan, dan pembuatan teks, yang akan membutuhkan sistem terpisah untuk model tradisional.

Contoh Model LLM

- OpenAI telah mengembangkan transformer generatif pra-latih, yaitu GPT, dan telah mendapatkan perhatian yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Mulai dari GPT-1 hingga GPT-4 (per 2024), model-model ini menggunakan arsitektur transformer dan pertama-tama dilatih tanpa pengawasan, diikuti oleh penyempurnaan terawasi.
- Representasi Encoder Bidirectional Transformers, atau BERT, adalah model bahasa yang dapat mempelajari tugas-tugas spesifik terkait bahasa dan dapat melakukan hal ini karena ia memahami bahasa dan memahami bagaimana kata-kata saling berhubungan. Model ini dapat dilatih terlebih dahulu pada lapisan yang diberikan, dari konteks kiri dan kanan. Model ini dapat memprediksi kalimat yang akan datang dari korpus yang diberikan. Hanya membutuhkan satu lapisan tambahan untuk memodelkan berbagai tugas seperti menjawab pertanyaan. Model Transformer secara keseluruhan memiliki dua bagian: encoder dan decoder. Model encoder-decoder ini digunakan untuk tugas-tugas urutan-ke-urutan, seperti penerjemahan mesin. Encoder tidak memiliki fitur self-attention masking. Oleh karena itu, dirancang untuk tidak memiliki batasan ketergantungan: representasi token yang diperoleh pada satu posisi bergantung pada semua token dalam input. Inilah yang menjadikan encoder Transformer bersifat bidirectional. Model ini sangat kuat dengan akurasi tinggi. Model ini merupakan kombinasi dari "Masked Language Model" dan "Next sentence prediction method". Pytorch menyediakan pustaka untuk mengimplementasikan model BERT.
- **T5 (Text-to-Text Transfer Transformer):** Google menemukan T5. Transfer learning, yang melibatkan pradeфинisi model pada tugas dengan banyak data sebelum menyempurnakannya untuk tugas selanjutnya, merupakan teknik yang ampuh dalam NLP. Karena keberhasilannya, berbagai pendekatan dan metodologi telah muncul. Model ini memiliki dua format input dan output untuk model T5.

Contoh model LLM adalah kalimat pelengkapan otomatis Gmail. LLM dilatih menggunakan kumpulan data besar dari e-book, berbagai artikel, Wikipedia, dan lainnya. Terdapat jaringan saraf dengan triliunan parameter yang bekerja di balik model LLM. ChatGPT menggunakan LLM GPT-3 atau GPT-4. LLM juga menggunakan mekanisme pembelajaran penguatan. OpenAI menggunakan RLHF (pembelajaran penguatan dengan umpan balik manusia) untuk memberikan kinerja yang lebih baik pada model LLM-nya. LLM merepresentasikan pergeseran yang lambat dalam NLP, menjadi jauh lebih baik dibandingkan model tradisional baik dalam skala maupun efektivitas. Dampak dari inovasi ini sungguh menarik! Dengan memanfaatkan pembelajaran mendalam dan arsitektur transformator, LLM berhasil menangani banyak tugas dengan input manual minimal sambil memahami bahasa manusia. Model seperti GPT, BERT, dan T5 telah mendefinisikan ulang tugas-tugas tersebut.

Arsitektur LLM: Transformer

Arsitektur LLM sangat kompleks dan terdiri dari berbagai komponen yang membuatnya bekerja dengan cara yang lebih baik dan lebih akurat untuk menghasilkan bahasa. Arsitektur ini mencakup lapisan-lapisan seperti:

- Tokenisasi: Teks masukan yang dimasukkan oleh pengguna ditokenisasi menjadi unit-unit yang lebih kecil (karakter, kata, dan lainnya.)
- Lapisan Penyisipan: Token yang diterima dari lapisan di atas disematkan ke dalam vektor padat untuk memberikan makna yang tepat. Selama proses, posisi disematkan untuk membuat kalimat lebih informatif.

Berbagai komponen Arsitektur Transformer dijelaskan secara singkat di sini:

Mekanisme Self-Attention: Self-attention memungkinkan model untuk mempertimbangkan relevansi setiap kata dalam sebuah kalimat dibandingkan dengan kata-kata lainnya. Analisis relatif semacam ini membantu model agar dapat berfokus pada bagian-bagian penting dari urutan masukan yang telah diberikan saat membuat prediksi, alih-alih hanya mempertimbangkan kata yang berada tepat sebelum atau sesudahnya. Self-attention menghitung jumlah bobot semua kata dalam kalimat yang diberikan, yang memungkinkan model untuk berfokus pada konteks, terlepas dari posisi kata.

Mekanisme self-attention melibatkan tiga operasi kunci:

- Query (Q): Vektor yang merepresentasikan kata yang sedang diproses.
- Key (K): Vektor yang merepresentasikan setiap kata dalam urutan masukan.
- Value (V): Vektor yang berisi konten aktual setiap kata.

Untuk setiap kata, model menghitung produk titik antara kueri dan semua kunci dalam urutan, yang merupakan cara untuk memutuskan seberapa banyak perhatian yang harus diterima setiap kata.

Pengodean Posisi: Self-Attention memiliki keterbatasan, yaitu tidak menangkap urutan kata dalam kalimat karena diterapkan secara merata di seluruh kalimat masukan. Transformer mengatasi hal ini dengan memperkenalkan pengodean posisi, yang memberikan informasi tambahan tentang lokasi setiap kata dalam urutan tersebut. Pengodean posisi biasanya dilakukan dengan memberikan setiap posisi dalam urutan tersebut sebuah vektor unik yang dapat dipelajari. Pengodean ini dibuat menggunakan fungsi sinusoidal untuk memastikan bahwa model dapat membedakan antara posisi yang berbeda dan dapat digeneralisasi ke kalimat yang lebih panjang.

Multi-Head Attention: Membahas perluasan mekanisme self-attention, di mana alih-alih menghitung satu skor atensi untuk setiap kata, model menghitung beberapa skor atensi dari "head" yang berbeda. Dalam hal ini, setiap head berfokus pada bagian yang berbeda dari kalimat yang diberikan, yang memungkinkan model menangkap berbagai macam hubungan antar kata.

Jaringan Saraf Tiruan (Feed-Forward): Jaringan saraf tiruan feed-forward memproses keluaran setelah mekanisme multi-head attention selesai. Setiap tempat dalam urutan tersebut menerima penerapan FFN yang terpisah, yang juga mengekstrak aspek yang lebih rumit dari input.

Dampak Transformer terhadap Kemajuan NLP

Munculnya arsitektur transformer telah sangat meningkatkan NLP dan menghasilkan begitu banyak hal baru yang dapat dicapai AI dalam pemahaman dan pembangkitan bahasa. Sebelum transformer, jaringan saraf rekuren (RNN) dan jaringan saraf konvolusional (CNN) merupakan arsitektur dominan dalam NLP. Namun, model-model ini memiliki keterbatasan, terutama dalam menangani dependensi jarak jauh dan melakukan paralelisasi komputasi seperti yang telah disebutkan sebelumnya. Transformer, berkat mekanisme self-attention dan kemampuan pemrosesan paralelnya, telah meningkatkan kinerja model NLP dalam berbagai tugas seperti penerjemahan, pembangkitan teks, menjawab pertanyaan, peringkasan, dan berbagai tugas lainnya. Beberapa kontribusi utama transformer terhadap kemajuan NLP meliputi Skalabilitas dan Pra-pelatihan, Pembelajaran Few-Shot dan Zero-Shot (berkinerja baik pada suatu tugas, padahal model tersebut belum pernah dilatih), dan lainnya. Transformer telah membuka jalan bagi terciptanya LLM yang dapat melakukan berbagai tugas dengan akurasi dan fleksibilitas yang belum pernah ada sebelumnya.

Evolusi dari Model NLP Tradisional ke LLM

NLP telah mengalami perubahan yang sangat menarik sejak tahun 1950-an. Pada masa-masa awal tersebut, para peneliti terutama mengandalkan sistem berbasis aturan, yang praktis merupakan seperangkat pedoman ketat yang ditulis untuk menangani tugas-tugas bahasa. Sistem ini menggunakan aturan tata bahasa dan kamus khusus untuk memahami kalimat, tetapi meskipun berfungsi dengan baik dalam situasi sederhana, sistem ini sering gagal ketika situasi menjadi rumit. Ketergantungan pada upaya manual yang terperinci membuat sistem ini sulit diskalakan untuk penggunaan yang lebih luas.

Kemudian, pada akhir 1980-an dan awal 1990-an, para peneliti menyadari bahwa sistem lama memiliki keterbatasan dan mulai menggunakan sejumlah besar data teks yang tersedia, beserta daya komputasi yang lebih baik. Mereka menggunakan model statistik, seperti n-gram, yang memprediksi probabilitas sebuah kata berdasarkan kata-kata sebelumnya. Meskipun metode ini lebih baik daripada yang kita miliki sebelumnya, metode ini masih belum dapat bekerja secara efektif dalam konteks dan hubungan jangka panjang.

Namun, pergeseran ini mendorong munculnya teknik-teknik yang lebih canggih yang kita lihat dalam NLP saat ini. Pada awal tahun 1966, chatbot Eliza diciptakan oleh manusia untuk interaksi HCI-manusia-komputer. Pada akhir tahun 1920-an, jaringan saraf tiruan muncul dan langsung populer. RNN juga muncul, yang juga dapat mengingat memori berharga. RNN menyimpan informasi kunci dalam memorinya dan dapat menjawab pertanyaan seperti yang dilakukan manusia berdasarkan memori tersebut. Namun, RNN tidak efisien dalam kalimat yang lebih panjang. Terdapat masalah dalam mempertahankan memori untuk urutan yang panjang.

Sekitar tahun 1997, LSTM (memori jangka panjang dan pendek) muncul, dan ini adalah jenis RNN khusus yang dapat menyimpan informasi kalimat panjang dibandingkan dengan arsitektur RNN. RNN dapat menyimpan informasi yang relevan untuk kalimat panjang, yaitu, dapat mempertahankan konteks dengan cara yang lebih baik. Sekitar tahun 2014, Gated Recurrent Networks (GRU) hadir untuk menggantikan Gated Recurrent Unit (GRU) tetapi

memiliki struktur yang lebih sederhana dibandingkan dengan LSTM. GRU memiliki gerbang yang direset dan gerbang yang diperbarui untuk informasi.

Sekitar tahun 2014, mekanisme atensi (attention mechanism) muncul. RNN memproses informasi dalam kalimat dengan vektor berukuran tetap sehingga kinerjanya menurun seiring bertambahnya panjang kalimat. Atensi memungkinkan model untuk melihat kembali seluruh urutan secara dinamis, memilih bagian-bagian berbeda berdasarkan relevansinya di setiap langkah keluaran, memastikan tidak ada informasi penting yang hilang jika urutannya lebih panjang. Arsitektur transformer ini muncul sekitar tahun 2017. Arsitektur ini memiliki encoder, decoder, beberapa lapisan tumpukan self-attention, jaringan saraf feed-forward, dan multi-head attention (untuk berfokus pada berbagai bagian kalimat input secara bersamaan, menangkap nuansa kontekstual sekaligus, dan juga memiliki kemampuan untuk memproses sekuens secara paralel). Arsitektur ini menjadi dasar bagi model BERT dan OpenAI GPT.

Setelah itu, berbagai model LLM muncul untuk tujuan penskalaan sekitar tahun 2018. BERT, model dua arah, memproses teks dalam kedua arah secara bersamaan. Model ini berkaitan dengan sejumlah besar teks yang dapat disetel dengan baik untuk tugas-tugas spesifik yang menetapkan standar kinerja baru di berbagai tolok ukur NLP. OpenAI menghadirkan model GPT-2, Google menghadirkan model T5 sekitar tahun 2019. Kemudian, muncullah GPT-3.

Penemuan Obat dan Aplikasi Penelitian LLM

Model LLM memiliki potensi untuk merevolusi perawatan kesehatan. Berbagai model LLM membantu untuk bekerja dengan data medis. Med-PaLM dan Med-PaLM 2 memberikan jawaban untuk pertanyaan terkait medis seperti para ahli. Ini adalah model berkualitas tinggi yang diberikan oleh Google untuk domain medis yang menunjukkan akurasi sekitar 86,5% pada tolok ukur ujian medis MedQA dalam penelitian. Ini menjaga kerahasiaan data. Ini dapat memahami teks, menafsirkan gambar medis, dan menganalisis data medis. Orang yang membutuhkan jawaban atas pertanyaannya tentang masalah medis harus memahami gejala, menganalisis hasil tes, menggunakan penalaran canggih untuk menentukan diagnosis yang paling mungkin, dan akhirnya memilih penyakit, tes, atau terapi terbaik untuk menjawab pertanyaan dengan benar.

Singkatnya, kesuksesan membutuhkan perpaduan pemahaman medis, pengambilan pengetahuan, dan penalaran. Jawaban yang akurat dan konsisten untuk pertanyaan-pertanyaan ini membutuhkan pelatihan bertahun-tahun bagi para profesional. LLM juga dapat menghasilkan respons yang panjang terhadap pertanyaan medis konsumen berkat kemampuan pembangkitannya. Namun, isu penelitian yang signifikan, terutama dalam domain yang sangat penting bagi keselamatan ini, adalah memastikan jawaban model akurat, aman, dan bermanfaat.

Peran LLM dalam Analisis Data Biomedis Skala Besar

Kognisi manusia dapat kesulitan untuk melacak dan memahami semua titik data yang dihasilkan dalam penelitian biologis, seperti genomik (studi gen), proteomik (studi protein), dan metabolomik (studi metabolit). Untuk mengatasi tantangan ini, industri pertanian dan

perusahaan teknologi berkolaborasi untuk menciptakan algoritma yang dapat menganalisis dan menginterpretasikan sejumlah besar data biologis ini secara efektif. Algoritma ini dapat membantu para ilmuwan dan peneliti mengekstrak wawasan yang bermakna dari data, meningkatkan pemahaman dan memfasilitasi kemajuan di bidang-bidang seperti pertanian, kedokteran, dan bioteknologi.

Mempercepat Identifikasi Obat dan Memprediksi Interaksi

Penggunaan LLM dalam proses penemuan obat berpotensi tidak hanya membantu tetapi juga meningkatkan identifikasi obat secara signifikan dan meningkatkan prediksi interaksi obat. Metode tradisional untuk penemuan obat seringkali melibatkan eksperimen yang memakan waktu dan biaya. Namun, LLM dapat menyederhanakan proses ini dengan memberikan prediksi dan wawasan yang cepat berdasarkan data yang ada. LLM juga dapat membantu dalam mengidentifikasi potensi efek samping dan toksisitas dengan memprediksi interaksi yang tidak sesuai target. Memahami interaksi ini sangat penting untuk memastikan keamanan dan efikasi obat.

Dengan demikian, LLM mentransformasi penemuan obat dan penelitian medis dengan kemampuan NLP yang canggih. Seiring berkembangnya bidang ini, penggunaan LLM kemungkinan besar akan memainkan peran penting dalam layanan kesehatan dan kedokteran. Pendekatan klinis untuk interaksi perangkat obat adalah:

- Klasifikasi berbasis aturan
- Klasifikasi teks terbimbing
- Pendekatan gabungan
- Prediksi DDI menggunakan GAN sebagai pendekatan

Analisis Bias dan Keadilan LLM dalam Pelayanan Medis

Sistem AI juga dapat mengembangkan bias, yang dapat menjadi masalah bagi perusahaan besar yang sebelumnya telah merekrut, mewawancarai, dan mempekerjakan beberapa kandidat ini. Data dari wawancara ini dapat digunakan untuk melatih sistem pembelajaran mesin agar secara otomatis memilih kandidat untuk promosi di masa mendatang. Namun, jika data asli mengandung bias, seperti mempekerjakan lebih banyak pria daripada wanita untuk gaji yang lebih tinggi pada pekerjaan yang sama, maka bias tersebut akan terbawa ke model pembelajaran mesin. Jika kandidat tersebut dipekerjakan, bias tersebut diperkuat. LLM AI Generatif efektif dalam membantu mereka yang kesulitan menulis prosa bahasa Inggris. Hasilnya dapat mencakup penandaan narasi yang baru-baru ini salah secara langsung karena prediksi yang dihitung alih-alih pemahaman yang benar. Namun, karena LLM tersebut baik dalam menghasilkan kata sintaksis yang benar berikutnya, LLM dapat melepaskan semua penekanan dan tindakan posesif untuk pemahaman atau makna. Hal ini dapat membantu mereka membuka kata kunci dengan biaya rendah dan terdengar seperti penutur asli. Risiko LLM meliputi:

- **Bias:** LLM dilatih pada kumpulan data yang sangat besar yang mungkin berisi konten yang bias atau tidak sensitif secara budaya. Hal ini dapat menyebabkan munculnya respons yang mencerminkan bias tersebut, yang dapat memperkuat stereotip atau

menyebarkan misinformasi. Pengguna harus berhati-hati dan mengevaluasi secara kritis informasi yang diberikan oleh LLM, terutama dalam konteks yang sensitif.

- **Persetujuan:** Ketika LLM memproses data dari pengguna, masalah persetujuan dapat muncul terkait bagaimana data tersebut digunakan, disimpan, dan berpotensi dibagikan. Pengguna mungkin tidak selalu sepenuhnya menyadari apa yang mereka setuju saat menggunakan perangkat AI, sehingga menimbulkan kekhawatiran etis tentang privasi dan kepemilikan informasi pribadi.
- **Keamanan:** Berinteraksi dengan LLM dapat membuat pengguna terpapar risiko keamanan, terutama jika informasi pribadi atau sensitif dibagikan. Aktor jahat dapat mengeksploitasi kelemahan dalam sistem AI, yang menyebabkan pelanggaran data atau akses tidak sah ke informasi pribadi. Pengguna harus berhati-hati terhadap informasi yang mereka ungkapkan selama interaksi mereka.
- **Halusinasi:** Halusinasi mengacu pada kejadian ketika LLM menghasilkan informasi palsu atau menyesatkan yang disajikan sebagai fakta. Hal ini dapat menjadi masalah khususnya dalam konteks yang mengutamakan akurasi, seperti nasihat medis atau hukum. LLM memprediksi kata sintaksis terbaik berikutnya, bukan jawaban akurat berdasarkan pemahaman tentang fungsi manusia. Jawaban yang salah adalah kesalahan statis. Jangan berharap model bahasa terakhir akan belajar dari masalah Anda. Hal ini membawa kita ke strategi mitigasi kedua: budaya dan audit.

Bias yang disebabkan oleh set data pelatihan yang salah dapat menyebabkan beberapa efek berbahaya, termasuk diagnosis yang salah, rekomendasi perawatan yang tidak tepat, dan lainnya..

Ada berbagai metode untuk menemukan bias dalam model LLM. Salah satu modelnya adalah dengan menggunakan WEAT dan Analisis Keragaman Demografis.

Mitigasi Bias dan Memastikan Keadilan

Meskipun LLM dapat mentransformasi layanan kesehatan dengan menawarkan perawatan yang individual dan efektif, implementasinya perlu dilakukan dengan hati-hati. Kita dapat menjamin bahwa teknologi baru berkontribusi pada hasil layanan kesehatan yang lebih efektif dan adil bagi semua orang jika kita mengenali dan mengatasi bahaya data yang bias, tantangan transparansi, dan pertimbangan etika. Upaya untuk mengurangi bias dalam LLM meliputi:

- **Kumpulan Data yang Beragam:** Memastikan bahwa semua populasi, terutama mereka yang memiliki latar belakang ras, etnis, gender, dan sosial ekonomi yang beragam, terwakili dalam data yang digunakan untuk melatih model layanan kesehatan.
- **Alat untuk mendeteksi dan memperbaiki bias** dalam data pelatihan dan keluaran model dikenal sebagai alat deteksi bias.
- **Desain Kolaboratif:** Melibatkan berbagai pemangku kepentingan dalam tahap desain dan pengujian sistem AI layanan kesehatan, seperti ahli etika, tenaga kesehatan profesional, dan komunitas terdampak.

Permasalahan Etika dalam Pengambilan Keputusan Medis

Salah satu masalah besar dengan penggunaan AI dalam layanan kesehatan adalah meskipun LLM dapat memberikan bantuan dan rekomendasi yang berharga, hanya mengandalkan keluaran algoritmik dapat menyebabkan berkurangnya pekerjaan dan peran bagi tenaga kesehatan profesional. Kekhawatiran utama lainnya adalah akuntabilitas, karena menjadi tidak jelas siapa yang bertanggung jawab atas keputusan tersebut—pengembang model, dokter, atau institusi yang menggunakan teknologi ini.

Kode etik telah ditetapkan sebagai kerangka kerja untuk membantu kita menavigasi dilema etika yang sering muncul dalam praktik semacam itu. Misalnya, ketika kita harus memutuskan, kita akan mempertimbangkan karakteristik tertentu untuk memastikan bahwa etika tetap menjadi prioritas utama dalam perawatan. Misalnya, ketika komitmen kepada klien tampaknya sangat masuk akal, kita sering kali memiliki nilai-nilai dan keyakinan yang terkadang dapat melemahkan kebutuhan klien yang sebenarnya. Bagian advokasi merupakan aktivitas umum yang mungkin kita perlukan untuk masalah etika, dan berfungsi sebagai pengingat penting bahwa kita harus tetap berdedikasi kepada klien sembari mempromosikan dan mengkampanyekan kesehatan dan kesejahteraan mereka.

Penggunaan LLM pada pasien juga menimbulkan kekhawatiran etis terkait persetujuan dan transparansi. Pasien mungkin tidak menyadari bahwa LLM sedang digunakan dalam perawatan mereka atau bahwa data mereka digunakan lebih lanjut untuk melatih model di masa mendatang. Hal ini dapat diatasi dengan menyediakan dokumentasi yang jelas tentang bagaimana model dikembangkan, data yang digunakan, dan kemungkinan keterbatasannya.

Simpulannya, penggunaan LLM dalam layanan kesehatan memiliki pro dan kontra. Meskipun model-model ini memiliki potensi besar untuk meningkatkan layanan kesehatan, menangani risiko yang terkait dengannya sangatlah penting. Pada akhirnya, tujuannya adalah untuk memastikan bahwa kemajuan teknologi berkontribusi pada layanan kesehatan yang etis bagi semua pasien. Ada empat area utama di mana kesulitan etika layanan kesehatan muncul:

1. Kualitas hidup: DNR, perawatan kanker, bunuh diri dengan bantuan dokter, dan perawatan akhir hayat.
2. Identifikasi melalui skrining genetik terhadap gen yang asimtomatik atau yang tidak ada pengobatannya.
3. Memberikan perawatan di akhir hayat ketika intervensi penunjang kehidupan tidak memungkinkan.
4. Aksesibilitas layanan kesehatan menjamin bahwa setiap orang memiliki akses ke sumber daya dan layanan kesehatan.

Studi Kasus: LLM dalam Pelayanan Kesehatan

LLM telah sepenuhnya mengubah dunia pelayanan kesehatan dengan membantu sistem pendukung keputusan klinis (CDSS) yang canggih dan mempermudah proses yang kompleks dan sangat membosankan seperti diagnostik, personalisasi pengobatan, dan pencocokan uji klinis. Model LLM mendukung penelitian ilmiah, bantuan tugas administratif, tanya jawab untuk masalah medis, pemantauan diagnosis penyakit, dukungan keputusan, dan analisis data medis. Terdapat jutaan jurnal penelitian tentang data medis yang membantu

pemahaman konsep medis yang lebih baik dan meningkatkan akurasi. Berbagai model seperti BERT dan T5 memanfaatkan saran dan bantuan dari pengetahuan sumber terbuka ini. Sebagian besar model dilatih pada basis data berbahasa Inggris, tetapi saat ini para peneliti sedang mengembangkan sistem tanya jawab medis Tiongkok yang menghasilkan respons berdasarkan pustaka pengetahuan penyakit. Aplikasi nyata LLM dalam Pelayanan Kesehatan meliputi:

Pencocokan Uji Klinis dalam Implementasi Onkologi

Dalam studi kasus ini, para peneliti berfokus pada penggunaan NLP dan berbagai model LLM untuk meningkatkan akurasi dalam proses mengidentifikasi pasien yang memenuhi syarat untuk pencocokan uji klinis guna mengimplementasikan pengembangan obat dan penemuan klinis dengan lebih baik. Proses manual sangat membosankan sebelum NLP muncul. Para peneliti menyajikan studi sistematis tentang penggunaan LLM untuk meningkatkan skala pencocokan uji klinis, dengan fokus pada onkologi, dan menemukan bahwa LLM mutakhir seperti GPT-4 sudah dapat menyusun kriteria kelayakan uji klinis dan mengekstrak logika pencocokan yang kompleks, mengungguli baseline sebelumnya, meskipun masih terdapat area pertumbuhan yang signifikan dalam penerapan LLM untuk pencocokan menyeluruh. LLM seperti GPT-4 telah diintegrasikan ke dalam sistem untuk mencocokkan pasien dengan uji klinis onkologi yang didasarkan pada kriteria kelayakan dari rekam medis yang kompleks dan tidak terstruktur. Catatan ini mungkin tidak masuk akal bagi manusia, tetapi perangkat kecerdasan buatan kita mengekstrak informasi seperti histologi tumor dan biomarker lainnya untuk menentukan seberapa cocok uji klinis tersebut. Logika struktur-lalu-cocok diterapkan dan konsep manusia-dalam-lingkaran diperhatikan sehingga manusia dapat langsung memverifikasi beberapa uji klinis untuk melihat apakah semua kriteria terpenuhi.

Ada beberapa masalah dalam penelitian yang dilakukan oleh para peneliti karena memetakan kriteria yang diekstraksi ke dalam konsep atau ontologi yang ada tidak selalu memungkinkan; Faktanya, mereka menemukan beberapa contoh dalam analisis di mana hal ini tidak memungkinkan. Selain itu, banyaknya nuansa dalam bahasa kriteria menyulitkan untuk sepenuhnya menyaringnya menjadi formula yang rasional. Para penulis tidak dapat menyelidiki LLM dalam penataan informasi pasien karena larangan penerapan GPT-4 pada rekam medis pasien yang dapat diidentifikasi.

10.2 PENGANTAR MODEL VISUAL BESAR (LVM)

LVM dan Perbedaannya dengan Model Visi Komputer (CV) Tradisional

Visi komputer telah mengalami kemajuan yang signifikan berkat LVM, yang unggul dalam memproses sejumlah besar informasi visual kompleks. Meskipun pendekatan tradisional seperti CNN merevolusi klasifikasi gambar dan deteksi objek, LVM telah semakin meningkatkan kapabilitasnya dengan memanfaatkan kumpulan data visual berdimensi tinggi yang ekstensif. Namun, CNN memiliki beberapa kekurangan, terutama dalam hal pemahaman konteks keseluruhan suatu gambar.

Pada dasarnya, CNN mengekstraksi fitur lokal menggunakan lapisan konvolusional, yang dapat menjadi penyebab banyak tantangan dalam tugas-tugas yang membutuhkan

pemahaman konteks gambar yang lebih baik. LVM bekerja dengan menggunakan arsitektur berbasis transformator yang awalnya dirancang untuk NLP. LVM memberikan pendekatan baru untuk tugas-tugas pengenalan visual. Mekanisme atensi transformator membuat model-model ini mampu berkonsentrasi pada area terpenting suatu gambar, menangkap detail halus dan konteks keseluruhan.

Hal ini jauh lebih canggih dibandingkan CNN, yang bergantung pada bidang reseptif yang lebih besar untuk mengumpulkan informasi. Misalnya, dalam tugas visi komputer umum seperti deteksi objek, CNN berfokus pada tepi dan tekstur, perlahan-lahan membangunnya lapis demi lapis. Namun, ketika suatu objek tersembunyi sebagian atau seluruhnya, atau dikelilingi oleh objek lain, CNN sering kali gagal. LVM mengatasi masalah ini dengan memfokuskan secara selektif, yaitu mempertahankan fokusnya pada area utama gambar, sehingga unggul dalam situasi dengan banyak objek atau ketika penghalang menimbulkan masalah. Selain itu, LVM sangat skalabel. Model tradisional tidak berkinerja baik seiring bertambahnya kumpulan data, sementara LVM berkembang pesat pada data yang sangat besar. Skalabilitas ini memprakarsai pengembangan model seperti CLIP dari OpenAI, Vision Transformer (ViT) dari Google, dan DINO dari Meta, yang bekerja sangat baik untuk banyak tugas visual.

Arsitektur LVM: Transformer dalam Visi. Struktur LVM merupakan pergeseran besar dari konvolusional yang telah digunakan hingga saat ini. ViT bekerja dengan memecah gambar menjadi potongan-potongan kecil berukuran tetap, seperti bagaimana kalimat dibagi menjadi token dalam NLP dalam proses tokenisasi. Tambalan-tambalan ini kemudian diproses sebagai suatu urutan, dengan setiap penempatan posisi membantu model menentukan posisi setiap tambalan dalam gambar besar. Urutan ini melewati mekanisme transformator untuk memberikan perhatian penuh, sehingga sistem dapat menilai aspek-aspek kunci dari setiap tambalan.

Mekanisme self-attention menghitung skor atensi dari semua patch, dengan memperhatikan detail-detail kecil dan struktur umum gambar. Hal ini merupakan perkembangan besar dibandingkan dengan CNN, di mana detail lokal ditangani secara terpisah sebelum digabungkan nanti. Dengan memodelkan hubungan antara area gambar yang jauh sejak awal, LVM jauh lebih baik dalam mengelola dan menangani dependensi jarak jauh dalam data visual. Misalnya, saat melakukan pengenalan objek, sebuah transformator dapat memperhatikan garis luar objek di satu sisi gambar sekaligus mempertimbangkan bayangannya di sisi yang berlawanan—yang memberikan pemahaman yang jauh lebih baik tentang pemandangan tersebut. Fitur ini membuat LVM sangat efektif di lingkungan yang berantakan. Lebih lanjut, LVM memanfaatkan mekanisme atensi multi-head, yang memungkinkan model untuk secara bersamaan berfokus pada banyak bagian gambar. Atensi simultan ini sangat meningkatkan generalisasi dalam satu lintasan. Sebagai contoh, beberapa tugas seperti pengenalan wajah atau analisis citra medis, dan lainnya., memerlukan perpaduan detail halus dan konteks yang lebih luas, sehingga LVM dapat mengerjakan tugas-tugas ini dengan mudah. Para peneliti kini juga tengah mengembangkan model hibrida yang menggabungkan keunggulan CNN yang digunakan untuk ekstraksi fitur lokal dan konteks

global. Model hibrida ini telah berkinerja sangat baik di area khusus seperti pencitraan medis, sementara hal yang telah disebutkan sebelumnya sangat penting untuk mengenali fitur skala kecil (seperti lesi atau tumor) dan konteks yang lebih luas (seperti organ) untuk diagnosis yang tepat.

Aplikasi LVM dalam Pencitraan dan Diagnostik Medis

LVM memberikan dampak besar dalam pencitraan medis, terutama untuk diagnosis. Citra yang berkaitan dengan medis, misalnya, sinar-X, MRI, atau CT scan, semuanya mengandung banyak informasi. Bahkan perubahan kecil pada citra ini dapat menjadi indikasi masalah kesehatan yang serius. Awalnya, dokter dan spesialis akan menganalisis pemindaian ini, tetapi interpretasi oleh manusia bisa lambat dan juga bisa salah, terutama jika menemukan anomali kecil. LVM dapat memproses kumpulan data besar ini dengan sangat cepat dan akurat. LVM juga dapat berfokus pada detail kecil (seperti tumor kecil) dan struktur keseluruhan organ secara bersamaan. Fokus pada detail mayor dan minor pada satu waktu sangat berharga untuk tugas-tugas seperti mendeteksi kanker stadium awal, mengidentifikasi kelainan pada otak atau organ lainnya, atau melacak penyakit dari waktu ke waktu. Misalnya, saat melihat pemindaian otak MRI, LVM dapat menangkap bahkan ketidakaturan terkecil dalam jaringan otak yang mungkin merupakan tanda-tanda tumor.

Dengan berfokus pada area-area kritis ini, mereka meningkatkan akurasi diagnosis secara signifikan, mengurangi kebutuhan untuk banyak pemindaian dan bahkan pemeriksaan manual dan seringkali menyakitkan oleh spesialis. Keuntungan lain dari LVM adalah kemampuannya untuk mengambil dan kemudian menggabungkan data dari berbagai sumber. LVM dapat menganalisis rontgen dada sambil juga mengurus riwayat medis pasien. Pendekatan ini memberikan pemahaman yang sangat menyeluruh tentang penyakit pasien yang kemudian mengarah pada perawatan yang lebih baik.

Studi Kasus Keberhasilan LVM dalam Diagnostik

Deteksi Masalah COVID-19 dari Citra Rontgen Dada: Selama pandemi COVID-19, LVM memainkan peran yang sangat penting dalam mendeteksi penyakit ini. Banyak model tradisional kesulitan membedakan pneumonia terkait COVID-19 dengan jenis pneumonia lain seperti flu biasa atau virus lainnya. Di sisi lain, LVM mampu berfokus pada area spesifik paru-paru yang menunjukkan tanda-tanda infeksi, dan bahkan memberikan diagnosis dengan akurasi lebih dari 90% dalam beberapa eksperimen. Sebuah studi besar oleh para peneliti di University of California menunjukkan bahwa model berbasis LVM jauh lebih baik daripada metode konvensional, bahkan dengan selisih yang signifikan.

Deteksi Tumor MRI: LVM sangat baik dalam mendeteksi tumor pada pemindaian MRI. Sebuah studi terbaru berfokus pada bagaimana LVM dapat menemukan tumor kecil pada tahap awal, yang seringkali diabaikan oleh metode konvensional. Kemampuannya untuk mengidentifikasi ketidakaturan pada jaringan otak telah menghasilkan perawatan dini, sehingga menghasilkan hasil yang lebih baik. Studi kasus ini menunjukkan bagaimana LVM tidak hanya meningkatkan akurasi diagnosis tetapi juga mempercepat proses, yang sangat penting dan krusial karena waktu yang singkat dapat menyelamatkan nyawa. Hasil Utama dan Pertimbangan Etis dalam Penerapan di Layanan Kesehatan LVM menghasilkan banyak

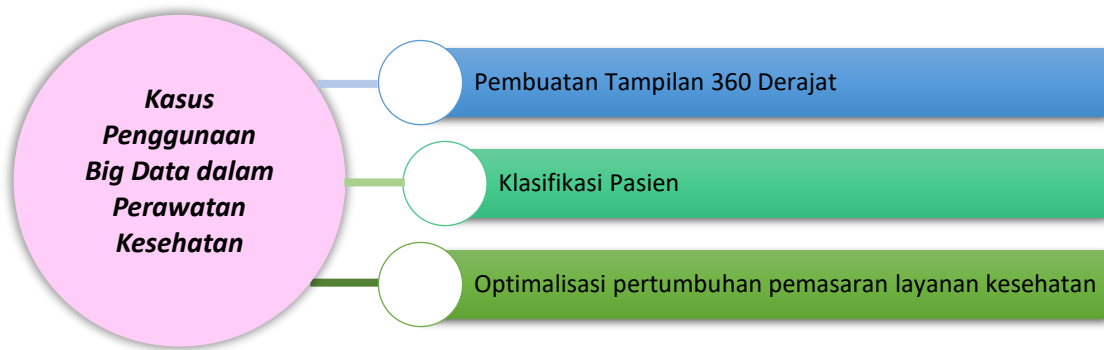
kemajuan besar dalam layanan kesehatan. Akurasi diagnostik telah meningkat di berbagai aplikasi medis seperti retinopati diabetik, skrining kanker, deteksi penyakit paru-paru, dan lainnya. LVM telah berkinerja lebih baik daripada model tradisional di hampir semua kondisi dengan memproses kumpulan data yang lebih besar dan berfokus pada area yang mungkin diabaikan oleh manusia. Namun, penggunaan LVM dalam layanan kesehatan menimbulkan masalah penting terkait privasi data, bias model, dan lainnya. Sangat penting untuk memastikan bahwa model-model ini transparan dan bertanggung jawab secara etis seiring kita terus menggunakan LVM di bidang medis.

10.3 PENGGUNAAN BIG DATA DALAM LAYANAN KESEHATAN

Dalam konteks Layanan Kesehatan 5.0, yang memprioritaskan pendekatan yang lebih berpusat pada manusia terhadap kesehatan dan kesejahteraan, big data sangat penting untuk mentransformasi kehidupan berbantuan. Para profesional layanan kesehatan dapat memperoleh pemahaman menyeluruh tentang kebutuhan dan status kesehatan lansia dengan memanfaatkan data dalam jumlah besar yang dihasilkan oleh berbagai sumber, seperti teknologi yang dapat dikenakan (*wearable technology*), rekam medis elektronik (RME), dan perangkat Internet of Things (IoT). Dengan memfasilitasi rencana perawatan yang disesuaikan dan lebih baik dalam mengatasi kesulitan yang dihadapi oleh penghuni fasilitas hunian berbantuan, pendekatan berbasis data ini dapat meningkatkan kualitas hidup dan hasil kesehatan penghuni. Lebih lanjut, analitik prediktif yang diperlukan untuk manajemen perawatan proaktif dimungkinkan oleh big data. Praktisi layanan kesehatan dapat mendeteksi potensi risiko kesehatan sebelum menjadi serius dengan memeriksa tren data masa lalu, yang memungkinkan tindakan cepat. Model prediktif, misalnya, dapat digunakan untuk memantau penyakit kronis, mencegah jatuh, dan memastikan bahwa sumber daya yang tepat didistribusikan secara efektif. Selain meningkatkan keselamatan pasien, peralihan dari perawatan reaktif ke proaktif ini memaksimalkan penggunaan sumber daya medis di lingkungan hunian berbantuan. Kita dapat mengatakan bahwa big data memainkan peran besar dalam bidang medis dan layanan kesehatan. Banyak lembaga pemerintah dan perusahaan yang terkait dengan layanan kesehatan sedang mencoba meningkatkan layanan kesehatan dengan menginvestasikan lebih banyak dana di dalamnya. Industri layanan kesehatan sangat diatur dan menggunakan berbagai jenis data kesehatan.

- Rekam medis pasien
- Hasil tes laboratorium
- Persepsi laporan tes
- Pembayaran klaim

Big data dalam layanan kesehatan menggunakan berbagai jenis data kesehatan seperti: rekam medis pasien, hasil tes laboratorium, persepsi laporan tes, dan pembayaran klaim. Berbagai kasus penggunaan big data layanan kesehatan digambarkan pada Gambar 10.1.



Gambar 10.1 Kasus Penggunaan Big Data.

Tantangan:

- Menggunakan beragam big data (transkrip EHR/EMS, email, perangkat, media sosial, dan lainnya.).
- Klaim asuransi (sistem yang berbeda, data yang tidak konsisten, dan lainnya.).

Signifikansi:

- **Penipuan Layanan Kesehatan:** Pasien, tenaga kesehatan profesional, dan pihak lain yang dengan sengaja menyesatkan sistem gas layanan kesehatan untuk mendapatkan manfaat ilegal atau pembayaran kami, semuanya dapat dinyatakan bersalah atas penipuan layanan kesehatan. Penipuan layanan kesehatan didefinisikan sebagai tindakan kriminal yang menyesatkan, menyembunyikan, atau menyesatkan seseorang atau organisasi untuk mendapatkan keuntungan atau menghasilkan keuntungan finansial. Penipuan layanan kesehatan dapat dilakukan oleh individu maupun penyedia layanan kesehatan. Jenis penipuan ini terjadi ketika tenaga medis profesional, perusahaan asuransi, atau keduanya memanfaatkan sistem layanan kesehatan.
- **Mengurangi Biaya:** Setelah diberlakukannya Undang-Undang Perawatan Portabel pada tahun 2010, biaya layanan kesehatan tahunan telah meningkat secara signifikan, sementara sistem layanan kesehatan telah memperluas cakupan dan mengatasi masalah seperti kondisi yang sudah ada sebelumnya. Namun, perhatian utama dalam undang-undang layanan kesehatan bukanlah tujuannya, melainkan pendekatannya terhadap pengurangan biaya. Pasar bebas dan persaingan diyakini sebagai kunci untuk memecahkan masalah biaya. Berbagai solusi potensial diusulkan:
 1. Menerapkan kembali beban pajak sebelumnya pada penyedia asuransi.
 2. Mengurangi regulasi pada program kesehatan yang mewajibkan cakupan yang luas. Saat ini, mustahil untuk mendapatkan program asuransi dasar yang hanya menanggung kejadian besar seperti kecelakaan parah atau diagnosis kanker. Dengan mewajibkan semua program untuk menawarkan manfaat yang komprehensif, persaingan menjadi terbatas dan harga pun meningkat, memaksa perusahaan asuransi yang lebih kecil keluar dari pasar.
- **Dorong Inovasi Medis:** Perusahaan-perusahaan ini bertanggung jawab untuk menciptakan obat dan perawatan yang menyelamatkan jiwa bagi mereka yang membutuhkan. Memberikan sanksi kepada produsen farmasi memaksa mereka untuk

menaikkan harga lebih tinggi lagi. Dengan mendukung, alih-alih menghukum, perusahaan farmasi dapat memfasilitasi lebih banyak kemajuan medis dan mengurangi biaya keseluruhan.

Privasi dan Keamanan Data

HIPAA, singkatan dari Health Insurance Portability and Accountability Act, adalah undang-undang federal yang disahkan pada tahun 1996 untuk melindungi rekam medis dan informasi kesehatan pribadi individu. Tujuan utama HIPAA adalah untuk menetapkan standar nasional yang mencegah pengungkapan informasi kesehatan pasien (PHI) yang sensitif tanpa sepengetahuan atau persetujuan pasien. Untuk menerapkan persyaratan HIPAA, Departemen Kesehatan dan Layanan Kemanusiaan Amerika Serikat (HHS) mengeluarkan aturan privasi yang mengatur perlindungan data pasien. Data PHI ditunjukkan pada Gambar 10.2.



Gambar 10.2 Informasi PHI.

Setiap karyawan dilatih tentang kebijakan dan prosedur HIPAA sebelum mendapatkan akses masuk. Pelanggaran HIPAA dapat mengakibatkan hukuman praktik dan bahkan penjara dalam beberapa kasus. Aturan keamanan yang termasuk dalam HIPAA adalah:

- Mewajibkan tiga jenis perlindungan: administratif, fisik, dan teknis.
- Menetapkan akses yang aman, integritas, dan kerahasiaan e-PHI.

Aturan privasi adalah:

1. Memberikan pasien kendali atas rekam medis mereka.
2. Menetapkan pedoman dan batasan tentang siapa yang dapat melihat dan memperoleh data kesehatan pasien.
3. Cara terbaik untuk mematuhi peraturan HIPAA adalah dengan mengganti informasi identifikasi peserta dengan kode (misalnya, identifikasi peserta menggunakan angka, bukan nama).

4. Hilangkan kertas-kertas yang memuat nama dan alamat atau identitas lainnya.
5. Singkirkan semua dokumen kertas dengan identitas dengan cara yang benar.
6. Batasi akses ke semua data identitas partisipan.
7. Beri tahu personel penelitian tentang pentingnya kerahasiaan.
8. Catatan kertas harus disimpan di lemari yang aman.
9. Kode keamanan ilmiah untuk dokumen elektronik.

Analisis Prediktif dalam Layanan Kesehatan Lansia

Sektor kesehatan, khususnya, telah mengalami adopsi teknologi inovatif seperti AI yang lebih bertahap dibandingkan dengan industri lain. Penerimaan yang lebih lambat ini dapat dikaitkan dengan beberapa faktor seperti persyaratan peraturan, keamanan data, dan resistensi terhadap perubahan, dan lainnya..

Manajemen Kesehatan dalam Penilaian Risiko Penyakit Kronis: Prakiraan dini dapat membantu mengantisipasi pergerakan infeksi. Hal ini memungkinkan bisnis layanan kesehatan untuk mengambil tindakan dan waktu yang cepat serta menghindari efek jangka panjang dari wabah seperti virus corona. Sebuah perangkat dapat disiapkan untuk mengantisipasi dan membuat skor peluang berdasarkan kumpulan data yang berbeda.

Pencegahan Bunuh Diri dan Perilaku Membahayakan Diri: Terdapat berbagai kasus analitik prediktif dalam layanan kesehatan. Pencegahan bunuh diri merupakan contoh yang tepat dari analisis prediktif layanan kesehatan. Untuk mengidentifikasi deteksi risiko bunuh diri, EHR pasien dan berbagai pola perilaku dapat diintegrasikan dengan perangkat analitik prediktif.

Pengobatan Presisi dan Perawatan Pasien yang Dipersonalisasi: Analitik prediktif dalam layanan kesehatan telah berperan penting dan memerangi infeksi seperti indikator kanker, serta perangkat pendukung keputusan klinis dan perubahan memainkan peran penting dalam menginterpretasikan obat-obatan modern menjadi perawatan yang akurat.

Analisis dan Prediksi Pola Pemanfaatan Pasien: Dapat digunakan untuk menganalisis dan membuat kemajuan dalam pemanfaatan staf. Berdasarkan data tersebut, tab dapat mengubah alur kerja dan efisiensi kemajuan tangan. Hal ini juga dapat membantu Anda mengurangi waktu tunggu dan mencapai kepuasan berkelanjutan.

Studi Kasus: Big Data Tidak Sebesar yang Dikira—Isu dan Tantangan

Tiga isu fundamental terkait big data adalah penerjemahannya, aksesibilitasnya, dan volumenya. Di tengah perencanaan layanan kesehatan dan studi eksploratif, kantor-kantor yang disubsidi pemerintah dan inisiatif swasta telah melakukan operasi pengumpulan data ekstensif dalam sepuluh tahun terakhir. Medical Information Mart untuk data Perawatan Intensif adalah salah satu contoh pengumpulan informasi selama layanan kesehatan terjadwal. Pusat ini telah mengumpulkan data lebih dari 50.000 pasien dari Klinik Beth Israel Deaconess sejak tahun 2001. Pada saat itu, pusat ini biasanya merupakan kumpulan data perawatan berkelanjutan terbesar yang tersedia untuk publik dari unit perawatan intensif (ICU) dan merupakan sumber daya vital untuk penelitian klinis. Namun, ketika mengidentifikasi suatu kohort dalam data cermin untuk menjawab pertanyaan klinis tertentu, hal ini seringkali terjadi dalam sekumpulan kasus yang kecil (kohort kecil) sehingga hampir mustahil untuk menjawab

pertanyaan tersebut dengan kepastian terukur yang solid. Sebagai ilustrasi, ketika memeriksa dampak negatif dari interaksi obat-obat, seorang analis mungkin tertarik untuk mengamati tanda-tanda krusial dan karakteristik tenang lainnya selama dua obat yang berbeda diberikan bersamaan, termasuk beberapa hari sebelum dan sesudah kombinasi. Seringkali kriteria seleksi ini muncul pada kelompok pasien yang kecil sehingga membatasi penjelasan temuan dan menghasilkan hasil yang tidak meyakinkan secara statistik. Sistem ini tidak dikembangkan untuk menangkap informasi temporal dan proses yang penting untuk memahami perkembangan penyakit, efektivitas terapi, dan luaran pasien.

Ditemukan bahwa sulit untuk merekonstruksi proses klinis pemantauan obat terapeutik vankomisin berdasarkan rekam medis pasien ICU dalam basis data MIMIC. Ketika menggunakan obat tertentu, prosedur perawatan yang komprehensif idealnya mencakup riwayat resep, waktu, jumlah, dan kecepatan pemberian yang tepat, serta waktu dan kadar obat dalam darah selama terapi. Meskipun proses keperawatan dirancang untuk mengumpulkan data dalam EHR, masalah data yang hilang masih ada. Kekhawatiran mengenai privasi pasien, kesulitan teknis seperti interoperabilitas, dan kebutuhan untuk berbagi karya ilmiah sebagai objek digital untuk validasi dan reproduktifitas membuat akses data pasien untuk studi ilmiah menjadi sulit.

Kurangnya motivasi perusahaan untuk berinisiatif mengatasi masalah teknologi merupakan hambatan lain dalam memanfaatkan big data untuk meningkatkan kesehatan. Untuk bertukar data yang lebih lengkap, akurat, dan berstempel waktu untuk studi ilmiah, diperlukan kelompok institusi yang lebih besar yang juga lebih siap berinvestasi dalam teknologi yang dapat mengidentifikasi data pasien pribadi. Bersamaan dengan itu, seiring dengan semakin banyaknya sistem "big data" yang diciptakan, komunitas ilmiah dan regulator harus menemukan pendekatan baru untuk memahami hubungan sebab akibat dari data yang dikumpulkan selama prosedur medis rutin. Pendekatan ini harus digunakan sebagai tambahan terhadap metode standar emas yang ada saat ini, seperti RCT, dan juga harus menentukan hubungan antara praktik klinis dan hasil karena terdapat disparitas yang lebar dalam kualitas layanan kesehatan di seluruh negeri.

10.4 KESIMPULAN

LLM dan LVM dapat melakukan tugas-tugas kompleks yang sangat sulit dengan akurasi yang sangat tinggi. Dari NLP hingga aplikasi layanan kesehatan, model-model ini merevolusi hubungan kita dengan teknologi. Teknologi ini tidak hanya membuat tugas-tugas tambahan seperti penerjemahan bahasa atau diagnosis medis menjadi lebih mudah dilakukan, tetapi juga semakin meningkatkan kemampuan dalam penemuan obat dan analitik prediktif, sehingga pada akhirnya lebih terjangkau dan masuk akal. Hal ini akan menjadi kunci bagi teknologi ini untuk bertahan dan berkembang dengan cara yang tetap memberikan manfaat, meskipun pertimbangan etika, hukum privasi data, serta keadilan model menjadi hal penting untuk ke depannya. LLM dan LVM kemungkinan akan berkembang menjadi inovasi terpenting di berbagai bidang (obat-obatan baru, layanan untuk pengobatan yang dipersonalisasi, AI yang digunakan di rumah atau tempat kerja kita) seiring perkembangannya yang mendorong apa

yang dapat dibayangkan menggunakan AI. Dalam konteks Layanan Kesehatan 5.0, kombinasi big data, LVM, dan LLM menawarkan kemungkinan revolusioner untuk kehidupan berbantuan. Sementara LVM meningkatkan pemantauan perawatan dan akurasi diagnostik melalui analisis citra yang canggih, LLM meningkatkan komunikasi dan perawatan individual dengan memproses data tekstual dalam jumlah besar.

Dengan memfasilitasi wawasan berbasis data dan analitik prediktif, big data semakin menyempurnakan teknologi ini dan pada akhirnya mendorong pendekatan layanan kesehatan yang lebih proaktif dan berpusat pada pasien. Dengan memungkinkan koordinasi perawatan yang lebih baik, pengambilan keputusan yang lebih baik, dan alokasi sumber daya yang lebih efektif, kemajuan ini secara kolektif membuka pintu menuju standar hidup yang lebih tinggi bagi penghuni fasilitas hunian berbantuan.

BAB 11

KESEHATAN PERSONAL PANTI JOMPO ERA HEALTHCARE 5.0.

11.1 PENDAHULUAN

Healthcare 5.0, dengan menggunakan prinsip-prinsip teknis Industri 5.0, mempromosikan kerangka kerja yang mengintegrasikan teknologi, otomatisasi, dan interaksi manusia. Tidak seperti generasi sebelumnya yang berfokus pada mekanisasi tugas, Healthcare 5.0 memperkuat keterampilan manusia dan mendorong kerja sama antara tenaga kesehatan profesional, pasien, dan robot. Hubungan simbiosis ini menghasilkan perawatan pasien yang lebih efisien, layanan kesehatan yang lebih baik, dan peningkatan pengalaman pasien secara keseluruhan. Healthcare 5.0 memanfaatkan Internet of Things (IoT) untuk pemantauan kesehatan secara real-time, kecerdasan buatan (AI) dan pembelajaran mesin (ML) untuk analitik prediktif, serta big data untuk rencana perawatan yang dipersonalisasi, sehingga model yang berpusat pada pasien lebih mengutamakan perawatan individual untuk meningkatkan hasil. Keberhasilan Healthcare 5.0 bergantung pada integrasi literasi digital, infrastruktur perangkat keras yang tangguh, dan komunikasi yang berkelanjutan. Faktor-faktor ini krusial dalam menyediakan layanan telemedicine canggih dan sistem pemantauan kesehatan jarak jauh terdistribusi sehingga sistem tersebut dapat menghubungkan pasien dengan penyedia layanan kesehatan dan menghilangkan hambatan geografis. Dengan demikian, terdapat penyebaran perawatan yang dipimpin oleh pakar secara real-time dan peningkatan akses ke perangkat hunian berbantuan, terutama di wilayah terpencil dan tertinggal. Aspek penting dari Healthcare 5.0 adalah pentingnya AI dan ML. Teknologi ini memiliki analitik prediktif, yang memungkinkan tenaga kesehatan profesional untuk mengantisipasi dan mencegah penyakit, meningkatkan protokol perawatan, dan mengurangi rawat inap.

IoT meningkatkan hunian berbantuan dengan memungkinkan pemantauan real-time pasien lanjut usia dan pasien sakit kronis, sehingga memastikan intervensi yang tepat waktu. Analitik big data mempersonalisasi layanan kesehatan: memeriksa basis data yang luas untuk melihat pola dan tren meningkatkan diagnosis, perawatan, dan hasil pasien. Teknologi ini berkolaborasi alih-alih menggantikan kemampuan manusia. Healthcare 5.0 memberikan kekuatan kepada tenaga kesehatan profesional dengan menggunakan teknologi untuk meningkatkan kompetensi mereka dan meningkatkan kemampuan mereka untuk memberikan perawatan berkualitas tinggi dan personal tanpa terintimidasi oleh otomatisasi. AI, ML, dan teknologi canggih lainnya merupakan alat vital yang meningkatkan pengambilan keputusan, memungkinkan para profesional kesehatan untuk lebih terlibat dengan elemen perawatan yang berpusat pada manusia, seperti empati dan perhatian personal. Solusi hunian berbantuan berbasis IoT dan AI meningkatkan kualitas pengalaman hidup pasien, memastikan layanan kesehatan yang modern dan disesuaikan dengan kebutuhan individu. Tren menuju Healthcare 5.0 ini sangat relevan bagi Generasi Z, yang dicirikan oleh gaya digital savvy dan inovatif mereka. Sebagai anak-anak yang lahir di era digital, mereka berada di posisi ideal untuk merangkul perubahan layanan kesehatan dengan menerapkan keterampilan teknologi mereka

untuk mewujudkan impian mereka dalam berkarier. Keterlibatan profesional muda dalam lingkungan layanan kesehatan yang bertransformasi pesat akan sangat penting untuk menggabungkan metodologi layanan kesehatan konvensional dengan masa depan yang semakin berorientasi digital. Mereka akan memperjuangkan sistem yang mengutamakan efisiensi sekaligus dirancang secara mendalam untuk memenuhi kebutuhan pasien.

Tinjauan Umum Layanan Kesehatan 5.0

Layanan Kesehatan 5.0 menggabungkan teknologi canggih, seperti AI, ML, analitik data besar, dan IoT, ke dalam kerangka kerja yang terintegrasi, cerdas, dan berpusat pada pasien. Alih-alih metode tradisional yang menekankan perawatan penyakit reaktif, Layanan Kesehatan 5.0 sangat menekankan layanan kesehatan proaktif melalui rencana perawatan yang disesuaikan dan diagnostik prediktif. Metode ini menggunakan pemantauan kesehatan waktu nyata dan informasi yang dikumpulkan dari teknologi yang dapat dikenakan (wearable), yang membantu tenaga kesehatan memprediksi komplikasi medis sebelum memburuk. Teknologi ini berfungsi untuk meningkatkan presisi dan hasil bagi pasien. Peningkatan kualitas hidup pasien dapat dicapai melalui metode-metode tersebut, terutama dalam situasi kehidupan berbantuan di mana pemantauan konstan dan intervensi perawatan yang disesuaikan secara individual merupakan hal yang penting. Era layanan kesehatan saat ini berupaya untuk mengatasi tantangan yang ada sekaligus memitigasi penyakit melalui wawasan yang diperoleh dari data, sehingga memfasilitasi penyediaan perawatan yang lebih efisien dan personal. Healthcare 5.0 bercita-cita untuk memberdayakan konsumen dan praktisi kesehatan dengan membangun kerangka kerja yang menyesuaikan kebutuhan individu, meningkatkan efikasi pengobatan, dan memperluas akses ke layanan kesehatan. Pendekatan inovatif ini memiliki potensi signifikan untuk membentuk kembali lanskap kedokteran di masa depan, dengan menekankan pencegahan dan kualitas hidup sebagai tujuan fundamental.

Transformasi dari Healthcare 1.0 ke 5.0

Pergeseran dari Healthcare 1.0 ke Healthcare 5.0 mewakili serangkaian pergeseran paradigma yang signifikan dalam pendekatan layanan kesehatan, yang dimotivasi oleh kemajuan teknologi dan perubahan kebutuhan layanan kesehatan selama setengah abad terakhir.

Healthcare 1.0 (1970–1990): Healthcare 1.0 adalah status quo sistem layanan kesehatan tradisional, di mana pasien berhubungan langsung dengan dokter. Praktisi layanan kesehatan menggunakan rekam medis berbasis kertas dan pengetahuan berbasis pengalaman untuk mendiagnosis dan mengembangkan tindakan pengobatan. Prioritasnya adalah perawatan berkualitas dan kelangsungan hidup pasien. Namun, proses pencatatan manual memiliki keterbatasan, seperti masalah privasi dan perluasan layanan kesehatan untuk mengakomodasi populasi yang lebih besar. Terlepas dari kendala ini, model interaksi tatap muka tetap bertahan, menawarkan intervensi terapeutik yang disesuaikan; namun, model ini menghadapi tantangan yang berasal dari kurangnya pasokan tenaga kesehatan profesional untuk memenuhi permintaan yang terus meningkat.

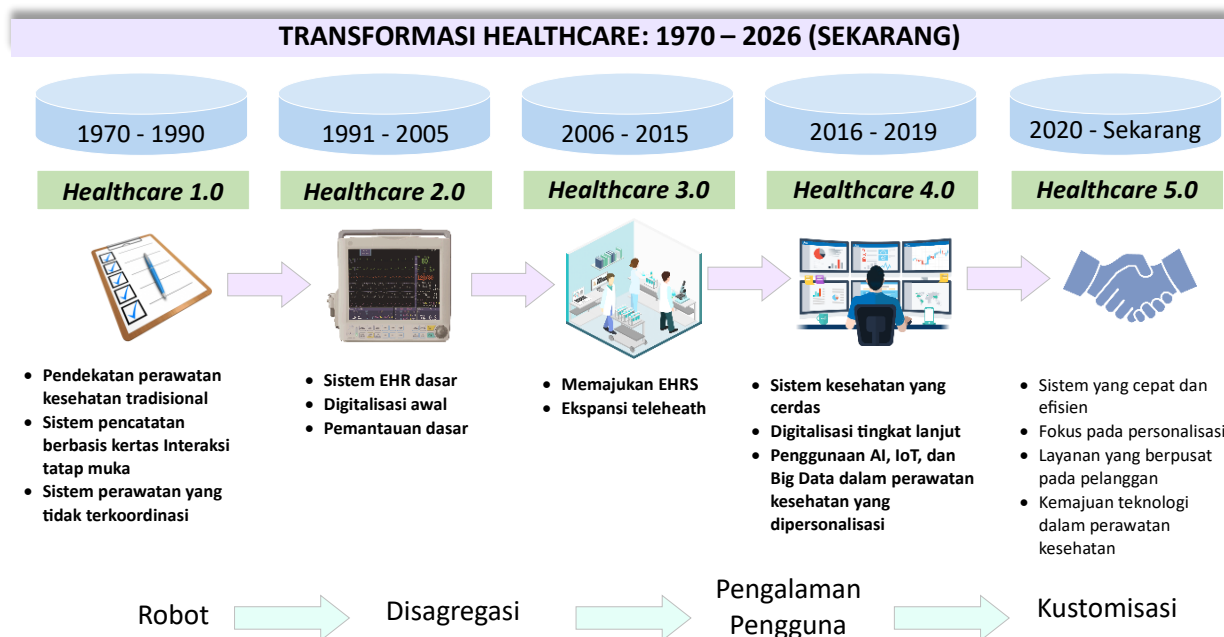
Healthcare 2.0 (1991–2005): Healthcare 2.0 merupakan pergeseran yang luar biasa dalam industrialisasi layanan kesehatan, yang ditandai dengan diperkenalkannya peralatan

medis dan teknik digitalisasi yang inovatif. Ini adalah masa ketika inisiatif e-health, instrumen medis elektronik, dan sistem pemantauan pasien pertama dapat dilihat. Healthcare 2.0 bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan perawatan pasien melalui digitalisasi rekam medis dan peningkatan alat diagnostik. Organisasi tersebut mengamati peningkatan kunjungan rumah, penurunan tes diagnostik, dan fokus yang lebih intensif pada informasi penyakit, yang menunjukkan pendekatan layanan kesehatan yang lebih efisien namun canggih.

Layanan Kesehatan 3.0 (2006–2015): Layanan Kesehatan 3.0 membawa kemajuan teknologi yang luar biasa, terutama berkat integrasi EHR, AI, dan IoT ke dalam layanan kesehatan. Periode ini ditandai dengan otomatisasi dan sistem informasi canggih, yang meningkatkan keamanan informasi dan skalabilitas sistem layanan kesehatan untuk mengakomodasi populasi pasien yang terus meningkat. Telehealth mendapatkan pengakuan atas potensi EHR untuk menyediakan layanan kesehatan berbasis data yang hemat biaya. Komputasi awan, yang dikembangkan selama periode ini, secara signifikan meningkatkan integrasi teknologi komputasi dalam layanan kesehatan.

Layanan Kesehatan 4.0 (2016–2019): Layanan Kesehatan 4.0 mencerminkan revolusi Industri 4.0, yang mengubah layanan kesehatan menjadi sistem siber-fisik yang terintegrasi dengan IoT, teknologi yang dapat dikenakan, robotika medis, dan analitik data besar. Era ini menekankan personalisasi massal dan layanan kesehatan proaktif sebagai terapi pasien yang disesuaikan secara real-time dan didukung teknologi. Menggabungkan AI dengan komputasi awan telah meningkatkan layanan kesehatan, mengoptimalkan hasil pasien, dan meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Pada tahap ini, pengobatan yang dipersonalisasi dan perawatan prediktif menjadi topik perdebatan yang mendesak, di mana organisasi layanan kesehatan mencoba menyediakan terapi yang disesuaikan dengan kebutuhan khusus individu.

Healthcare 5.0 (2020–Sekarang): Yang terbaru adalah Healthcare 5.0, yang berfokus pada personalisasi dan sistem perawatan kesehatan yang berpusat pada konsumen. Model ini, terintegrasi dengan teknologi Industri 5.0 yang canggih seperti AI, IoT, dan analitik data besar, bertujuan untuk menyeimbangkan kualitas layanan, biaya, dan kepuasan pasien dengan layanan yang berpusat pada manusia. Model ini didasarkan pada kolaborasi jangka panjang dan perawatan proaktif, diikuti oleh analisis prediktif untuk meningkatkan hasil pasien. Healthcare 5.0 bertujuan untuk meningkatkan keberlanjutan, mengurangi biaya, dan meningkatkan kesehatan umum melalui wawasan berbasis data yang bekerja dengan analitik canggih untuk layanan perawatan kesehatan yang disesuaikan. Healthcare 5.0 bertujuan untuk berkembang dengan menggabungkan teknologi ke dalam kemampuan manusia dan mempromosikan pendekatan holistik untuk perawatan pasien berdasarkan kesehatan yang lebih komprehensif daripada mengobati penyakit. Teknologi canggih akan mengubah wajah perawatan kesehatan melalui analitik yang lebih kompleks, ML, dan model prediktif yang digerakkan oleh AI. Ini akan menjadi lingkungan yang sehat yang merespons dan bertindak secara proaktif. Kerangka kerja pembayaran semakin dieksplorasi untuk mengurangi disparitas akses layanan kesehatan, sehingga Healthcare 5.0 dapat diakses oleh seluruh masyarakat.



Gambar 11.1 Transformasi Layanan Kesehatan: Dari Healthcare 1.0 Ke 5.0.

Gambar 11.1 menunjukkan transformasi dari Healthcare 1.0 ke Healthcare 5.0 yang membawa inovasi layanan kesehatan ke tingkat pertumbuhan yang semakin pesat, kini menuju kerangka kerja yang berbasis digital dan berpusat pada pasien.

Pentingnya Layanan Kesehatan yang Dipersonalisasi dalam Panti Jompo

Layanan kesehatan yang dipersonalisasi sangat penting dalam lingkungan panti jompo, karena perhatian yang disesuaikan dan terapi yang disesuaikan dapat meningkatkan hasil perawatan pasien secara signifikan. Dalam lingkungan panti jompo, pemantauan berkelanjutan dan rencana perawatan yang disesuaikan diperlukan untuk memenuhi kebutuhan kompleks lansia atau pasien kronis. Integrasi data genomik, informasi kognitif, dan metrik kesehatan waktu nyata (real-time) ke dalam layanan kesehatan yang dipersonalisasi mengembangkan program perawatan yang komprehensif dan disesuaikan yang meningkatkan otonomi dan standar hidup individu secara umum. Perangkat IoT sangat penting dalam metodologi ini karena dapat memantau data kesehatan secara terus-menerus. Perangkat ini menawarkan data waktu nyata (real-time) yang membantu tenaga kesehatan profesional untuk memantau perubahan dan dengan cepat mengidentifikasi potensi masalah. Lebih lanjut, analitik prediktif berbasis ML dapat memprediksi masalah kesehatan sebelum memburuk, yang memungkinkan intervensi proaktif. Teknologi telemedisin memfasilitasi perawatan yang dipersonalisasi melalui konsultasi jarak jauh dan komunikasi berkelanjutan antara pasien dan penyedia layanan kesehatan. Hal ini memastikan bahwa perawatan bersifat proaktif dan reaktif terhadap perubahan kebutuhan setiap individu. Transisi menuju layanan kesehatan personal di lingkungan hunian berbantuan mengarah pada pengelolaan masalah kesehatan yang lebih baik dan efektif, mendorong peningkatan otonomi dan kualitas hidup penghuni. Dengan menerapkan teknologi canggih dan strategi perawatan individual, sistem

layanan kesehatan berada pada posisi yang lebih baik untuk memenuhi kebutuhan spesifik populasi berisiko ini.

Rasional Bab

Bab ini dikonseptualisasikan untuk mengeksplorasi kapabilitas transformatif Healthcare 5.0, yang melibatkan teknologi canggih seperti AI, ML, IoT, dan big data untuk mentransformasi hunian berbantuan dan perawatan individual. Teknologi canggih ini akan mengantarkan revolusi dalam layanan kesehatan melalui peningkatan perawatan pasien dan optimalisasi efisiensi operasional serta intervensi medis yang lebih akurat dan terkustomisasi. Meskipun teknologi ini menjanjikan banyak hal, teknologi ini memiliki banyak masalah besar terkait adopsinya, seperti privasi, integrasi data, dan lainnya. Bab ini membahas beberapa subjek penting dalam menganalisis basis teknologi Healthcare 5.0 dan mengingatkan pembaca tentang kemajuan yang telah dicapai dalam beberapa tahun mendatang yang akan mentransformasi layanan kesehatan selama sepuluh tahun ke depan. Hal ini akan memperjelas bagaimana inovasi baru dapat mendorong kemajuan pengobatan personal, memastikan tidak hanya perkembangan teknologi tetapi juga tanggung jawab etis.

11.2 LAYANAN KESEHATAN BERBASIS TEKNOLOGI 5.0

Layanan Kesehatan 5.0 merepresentasikan pergeseran transformatif dalam layanan kesehatan, didorong oleh teknologi canggih seperti AI, IoT, analitik data besar, dan robotika. Paradigma ini secara fundamental meningkatkan manajemen pasien dengan memfasilitasi perawatan jarak jauh, solusi kesehatan digital, dan telemedis, memanfaatkan perangkat yang dapat dikenakan dan sistem telemedis untuk meminimalkan kunjungan rumah sakit dan memperluas akses ke layanan kesehatan, terutama di wilayah yang kurang terlayani. Pengobatan yang dipersonalisasi sangat penting, karena AI dan data besar menyediakan pemantauan kesehatan berkelanjutan dan rekomendasi pengobatan yang disesuaikan berdasarkan profil genetik, gaya hidup, dan rekam medis setiap pasien. Kesehatan prediktif sangat penting untuk identifikasi tepat waktu dan manajemen proaktif masalah kesehatan, dengan memanfaatkan pembelajaran mesin (ML) dan penginderaan virtual berbasis AI untuk pemantauan waktu nyata (real-time) melalui perangkat IoT, seperti perangkat yang dapat dikenakan dan sensor implan. Layanan Kesehatan 5.0 menekankan perawatan preventif melalui penerapan ML dalam pencitraan medis dan identifikasi penyakit dini, yang mengalihkan fokus dari perawatan reaktif ke strategi preventif proaktif. Perawatan yang berorientasi pasien ditingkatkan oleh IoT, EHR, dan teknologi yang dapat dikenakan, memungkinkan perawatan yang dipersonalisasi, mengurangi prosedur tambahan, dan meningkatkan keterlibatan pasien.

Keberlanjutan sangat penting, karena Healthcare 5.0 mempromosikan praktik berkelanjutan yang ramah lingkungan dan manajemen sumber daya yang efisien. Kolaborasi manusia-mesin merevolusi praktik perawatan kesehatan, karena AI, IoT, dan robotika meningkatkan presisi perawatan, terutama dalam bedah robotik dan pemantauan jarak jauh. Pada saat yang sama, robot kolaboratif (cobot) memungkinkan tenaga kesehatan untuk

berfungsi lebih efisien dan memberikan perawatan yang lebih baik. Tabel 11.1 mengilustrasikan prinsip konseptual Healthcare 5.0 dalam hunian berbantuan.

Tabel 11.1 Prinsip Konseptual: Healthcare 5.0 Dalam Hunian Berbantuan.

Konsep	Deskripsi komprehensif
Telemedicine dan layanan kesehatan jarak jauh	Perawatan Kesehatan 5.0 dalam kehidupan berbantuan menekankan perawatan jarak jauh melalui gawai yang dapat dikenakan dan telemedis untuk pemantauan dan komunikasi kesehatan yang berkelanjutan. Hal ini mengurangi kunjungan ke rumah sakit dan meningkatkan akses ke perawatan individual, sehingga meningkatkan kepatuhan pengobatan. Pelacakan waktu nyata dan teknologi digital membentuk kerangka kerja yang proaktif dan terintegrasi untuk manajemen pasien yang lebih baik.
Layanan kesehatan yang dipersonalisasi	Layanan Kesehatan 5.0 mendefinisikan ulang kehidupan yang didukung melalui paradigma medis yang disesuaikan dan mencakup rentang hidup individu. IoT dan analitik data besar memfasilitasi pemantauan kesehatan berkelanjutan serta rekomendasi nutrisi, olahraga, dan perawatan medis yang disesuaikan. IoT dan analitik data besar merumuskan rejimen terapi yang dipersonalisasi berdasarkan profil genetik, gaya hidup, dan rekam medis setiap pasien.
Layanan kesehatan prediktif	Kesehatan prediktif dalam Layanan Kesehatan 5.0 memprioritaskan identifikasi dini dan manajemen proaktif dengan analitik canggih dan penginderaan virtual yang ditingkatkan dengan AI. Perangkat IoT untuk pemantauan data berkelanjutan meningkatkan diagnosis, perawatan, dan intervensi. Model prediktif memfasilitasi peramalan penyakit dan manajemen epidemi, mendorong transisi dari layanan kesehatan reaktif ke preventif untuk keberlanjutan.
Layanan pencegahan	Perawatan preventif dalam Layanan Kesehatan 5.0 menekankan mitigasi penyakit kronis dengan menerapkan pembelajaran mesin (ML) dalam pencitraan medis dan analisis genetik. Analisis canggih dan perangkat IoT yang dapat dikenakan (wearable IoT) menyediakan pemantauan waktu nyata (real-time), mendorong deteksi dini, dan menggeser aplikasi layanan kesehatan dari reaktif menjadi proaktif.
Telehealth	Healthcare 5.0 menyoroti kebutuhan pasien melalui IoT dan ML untuk terapi yang disesuaikan, pemantauan jarak jauh, dan EHR. Hal ini meningkatkan aksesibilitas, terutama di daerah terpencil, dan mendorong keberlanjutan melalui pemantauan waktu nyata dan pengobatan presisi, sehingga meningkatkan keterlibatan dan hasil pasien.
Layanan kesehatan berkelanjutan	Healthcare 5.0 mendukung keberlanjutan dengan bertransisi dari model yang intensif sumber daya ke prioritas optimalisasi layanan dan pengurangan biaya melalui prosedur yang efisien dan ramah. Inovasi-inovasi ini mendorong sistem layanan kesehatan yang ramah lingkungan dan lebih mahir dalam memenuhi persyaratan modern.

Kolaborasi manusia-mesin	Healthcare 5.0 menyoroti kolaborasi manusia-mesin dalam kehidupan yang didukung, memanfaatkan AI, IoT, dan bedah robotik untuk meningkatkan presisi dan efisiensi perawatan. Kemitraan ini menghasilkan intervensi yang lebih baik dan hasil yang lebih unggul. Robot kolaboratif (cobot) membantu tenaga kesehatan, mengoptimalkan tugas, dan meningkatkan penyediaan layanan kesehatan yang efisien dan berkualitas tinggi.

Layanan Kesehatan 5.0 mengintegrasikan berbagai teknologi canggih seperti AI, IoT, blockchain, koneksi 5G, dan Big Data. AI menyediakan layanan kesehatan pribadi dan diagnostik prediktif menggunakan algoritma ML, sementara teknologi IoT menyediakan pemantauan kesehatan yang konstan melalui sensor yang dapat dikenakan. Blockchain menyediakan kerahasiaan dan keamanan informasi kesehatan melalui log yang tidak dapat diubah, sementara teknologi 5G memfasilitasi konektivitas yang cepat dan andal untuk menjalankan telemedicine dan operasi bedah jarak jauh dengan lancar. Analisis Big Data adalah satu-satunya cara untuk menangani dan menganalisis kumpulan data yang sangat besar dalam layanan kesehatan, menciptakan wawasan tentang perawatan preventif dan mengoptimalkan pengobatan. Teknologi ini memungkinkan sistem kesehatan yang lebih terintegrasi dan berfokus pada pasien yang mendukung hasil klinis dan operasional yang unggul.

Internet of Things (IoT)

IoT adalah teknologi inti untuk Layanan Kesehatan 5.0 karena dapat secara tepat menghubungkan perangkat yang dibutuhkan untuk memantau dan mengelola kesehatan pasien. IoT mendukung proses pengumpulan, analisis, dan pengambilan keputusan secara real-time; oleh karena itu, IoT lebih proaktif dalam manajemen. Jaringan sensor, perangkat yang dapat dikenakan (wearable), dan perangkat pintar lainnya memungkinkan pengumpulan data berkelanjutan terkait berbagai metrik kesehatan, seperti tekanan darah, detak jantung, kadar glukosa, dan aktivitas fisik. Akuisisi dan analisis data secara real-time ini memberdayakan penyedia layanan kesehatan untuk membuat keputusan berdasarkan data, yang menghasilkan diagnosis yang lebih akurat dan strategi perawatan yang disesuaikan. Integrasi perangkat IoT memungkinkan manajemen proaktif dan memberi peringatan kepada tenaga medis serta pengasuh tentang anomali atau krisis apa pun, sehingga memungkinkan respons yang tepat waktu.

Hal ini dikarenakan pemantauan kesehatan pasien jarak jauh menggunakan perangkat IoT yang skalabel dan interoperabel dapat mengurangi kunjungan ke rumah sakit, sehingga meningkatkan kualitas perawatan pasien di fasilitas hunian berbantuan. Teknologi ini memungkinkan analitik prediktif yang memungkinkan masalah kesehatan dapat diantisipasi, dan tindakan pencegahan dapat diambil sebelum penyakit memburuk.

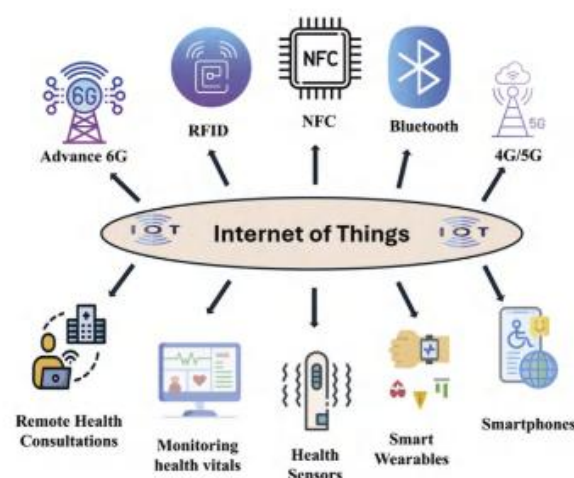
IoT dalam Hunian Berbantuan dan Layanan Kesehatan 5.0

IoT telah menjadi krusial dalam memodernisasi lingkungan hunian berbantuan dalam layanan kesehatan. IoT sangat penting untuk merevolusi lingkungan hunian berbantuan dalam konteks Layanan Kesehatan 5.0. Model kesehatan inovatif ini akan mengintegrasikan IoT

dengan teknologi mutakhir seperti pembelajaran mesin (ML), kecerdasan buatan (AI), jaringan 5G, dan analitik data besar (big data) untuk menciptakan ekosistem perawatan yang saling terhubung dan cerdas. Perangkat berkemampuan IoT dalam hunian berbantuan meliputi ponsel pintar, sensor, tag RFID, dan teknologi perangkat yang dapat dikenakan (wearable) yang menggunakan teknologi nirkabel seperti Bluetooth, NFC, LTE, dan 5G. Interkoneksi antar berbagai perangkat berkemampuan IoT ini menciptakan konektivitas dan transfer data yang lancar antara perangkat, perawat, dan pakar kesehatan. Perangkat yang dapat dikenakan (wearable) cerdas ini memindai tanda-tanda vital dan mengirimkan data secara real-time kepada perawat. Tag RFID dan NFC memungkinkan pelacakan peralatan medis dan informasi pasien yang aman dan efisien.

Pergeseran ke Layanan Kesehatan 5.0 menekankan pendekatan yang berpusat pada pasien, memanfaatkan teknologi untuk memberikan perawatan yang personal dan preventif, mengurangi biaya layanan kesehatan, dan meningkatkan kesehatan individu secara keseluruhan di lingkungan hunian berbantuan. Model layanan kesehatan inovatif ini mengintegrasikan IoT dengan teknologi canggih, termasuk AI, jaringan 5G, dan analitik data besar (big data), untuk menciptakan ekosistem perawatan yang saling terhubung dan cerdas.

Dalam hunian berbantuan, berbagai perangkat—ponsel pintar, sensor, dan tag RFID—saling terhubung melalui teknologi nirkabel seperti NFC, Bluetooth, LTE, dan 5G. Kemajuan ini mendorong konektivitas tanpa gangguan dan memfasilitasi pertukaran data antar perangkat, pengasuh, dan tenaga kesehatan profesional. Misalnya, perangkat wearable cerdas memantau tanda-tanda vital dan memberikan informasi waktu nyata kepada pengasuh. Sebaliknya, tag RFID dan NFC mendukung pengawasan yang aman dan efektif terhadap perangkat medis dan informasi pasien. Transisi ke Healthcare 5.0 memprioritaskan metodologi yang berpusat pada pasien, memanfaatkan teknologi untuk menyediakan perawatan yang disesuaikan dan preventif, mengurangi pengeluaran layanan kesehatan, dan meningkatkan kesehatan individu secara keseluruhan di lingkungan hunian berbantuan.

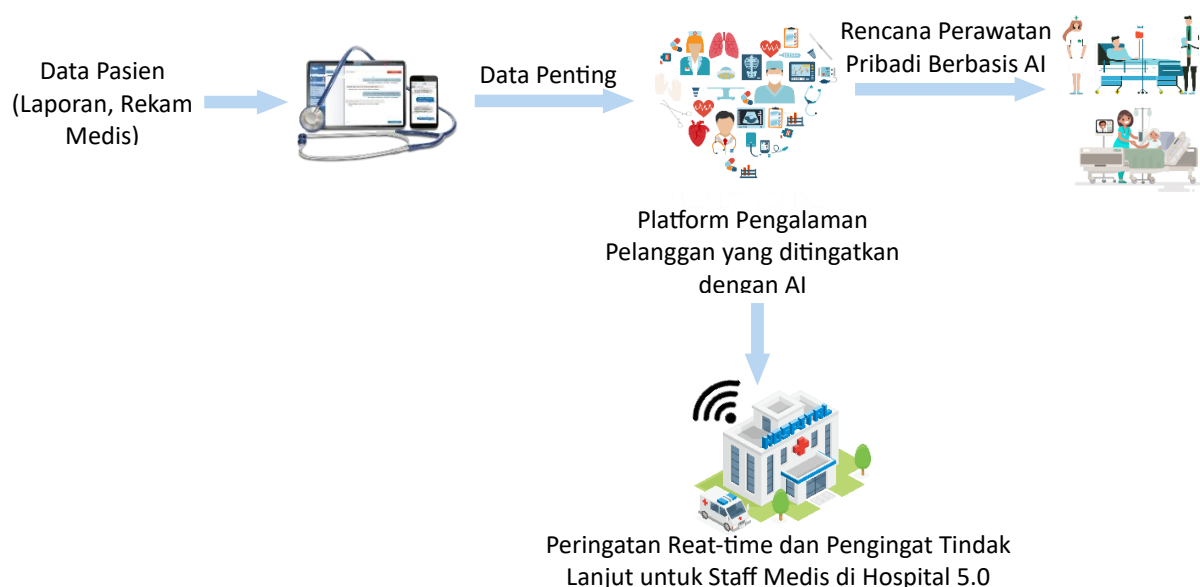


Gambar 11.2 Infrastruktur IoT untuk Pelayanan Kesehatan 5.0

Gambar 11.2 mengilustrasikan beragam teknologi nirkabel, meliputi NFC (Near Field Communication), RFID (Radio Frequency Identification), LTE (Long-Term Evolution), Bluetooth, dan 5G canggih serta 6G yang akan datang, yang terhubung dengan berbagai perangkat termasuk sensor, perangkat pemantauan, perangkat wearable pintar, ponsel pintar, dan peralatan medis lainnya. Implementasi 5G dan teknologi 6G yang sedang berkembang semakin umum karena kapasitasnya yang signifikan dan latensi yang rendah, sehingga meningkatkan komunikasi dan transmisi data secara real-time dalam pengaturan layanan kesehatan.

Pengawasan Berkelanjutan pada Layanan Kesehatan 5.0

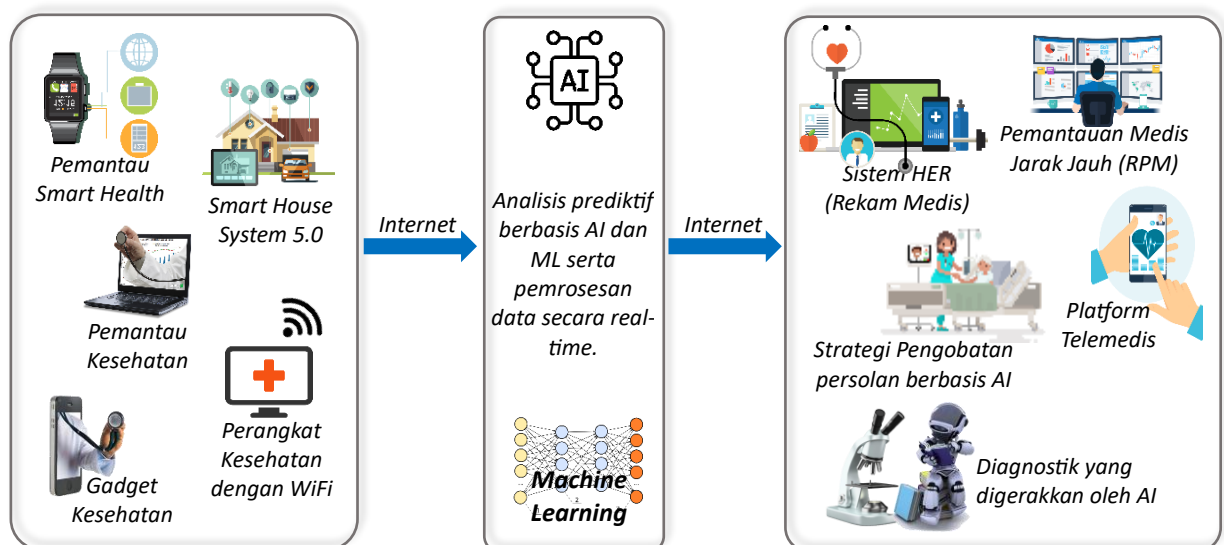
Di lingkungan layanan kesehatan, pemantauan dan pengawasan berkelanjutan sangat penting untuk menyediakan layanan kesehatan proaktif dengan memanfaatkan kapasitas yang signifikan dan latensi yang lebih rendah dari jaringan 5G dan 6G yang canggih. Penyedia layanan kesehatan dapat memperoleh informasi terbaru secara real-time tentang parameter kesehatan penghuni seperti EKG, detak jantung, kadar glukosa, tekanan darah, dan langsung dari sensor dan perangkat wearable. Aliran data yang stabil ini membantu memfasilitasi pemantauan risiko kesehatan yang muncul guna memastikan intervensi tepat waktu demi perawatan pasien yang lebih baik. Pengawasan yang ditawarkan IoT dapat dimungkinkan dengan tetap memperhatikan privasi dan kebebasan. Misalnya, sistem deteksi jatuh yang terhubung dengan mekanisme peringatan darurat memungkinkan perawat untuk melakukan intervensi pada saat-saat krusial. Hal ini meningkatkan proses dengan memasukkan prinsip-prinsip dalam Healthcare 5.0 karena menggunakan analitik berbasis AI dan pemodelan prediktif untuk memprediksi risiko kesehatan sebelum menjadi kritis. Dengan demikian, klien di panti wreda mendapatkan perawatan preventif dan holistik yang lebih sesuai dengan paradigma Healthcare 5.0. Gambar 11.3 mengilustrasikan contoh sistem e-healthcare cerdas di panti wreda untuk healthcare 5.0.



Gambar 11.3 Contoh Sistem E-Healthcare Cerdas Di Panti Wreda Untuk Healthcare 5.0.

11.3 AI DAN ML DALAM PANTI JOMPO DAN LAYANAN KESEHATAN 5.0

AI dan ML mentransformasi komunitas panti jompo dan Layanan Kesehatan 5.0 dengan personalisasi, penyederhanaan, dan menjadikan perawatan lebih prediktif. AI dan ML menganalisis data kesehatan yang ekstensif untuk memberikan wawasan dan saran bagi penyedia layanan kesehatan dan pengguna, meningkatkan kualitas layanan dan memberikan nilai tambah pada hasil operasional. Dalam pengaturan panti jompo, algoritma AI dan ML melacak kesehatan penghuni, mendeteksi anomali, dan memprediksi kemungkinan masalah kesehatan sebelum terjadi. Analisis prediktif dapat menentukan siapa yang sering jatuh atau dirawat di rumah sakit; data historis tersebut memastikan bahwa pengasuh mengambil tindakan pencegahan yang diperlukan. Gambar 11.4 menunjukkan penggunaan perangkat yang mendukung AI dan ML di dalam lingkungan panti jompo dalam Layanan Kesehatan 5.0. Hal ini menghubungkan monitor kesehatan yang dapat dikenakan, sensor cerdas, dan berbagai perangkat medis dengan teknologi IoT, yang semuanya terhubung melalui internet. Algoritma AI dan ML digunakan untuk memproses data waktu nyata dan menerapkan analisis prediktif. Data yang telah diasimilasi kemudian diintegrasikan ke dalam sistem perawatan kesehatan holistik, yang terdiri dari catatan kesehatan elektronik, telemedicine, dan pemantauan pasien jarak jauh, yang mendorong perawatan personal dengan respons medis yang ditingkatkan.



Gambar 11.4. Perangkat AI/ML Dalam Hunian Kesehatan 5.0

Sistem berbasis AI dapat memproses data dari berbagai sumber, seperti sejumlah besar EHR, perangkat, dan sensor, untuk membentuk profil kesehatan holistik. Integrasi ini kemudian menghasilkan perawatan holistik, di samping prinsip-prinsip Healthcare 5.0 yang menekankan solusi perawatan kesehatan yang terhubung, berpusat pada pasien, dan berbasis teknologi.

11.4 SENSOR DAN TELEHEALTH 5.0: PENINGKATAN HUNIAN BERBANTUAN.

Visi Healthcare 5.0 dengan tepat menangkap pergeseran lanskap perawatan kesehatan menuju ketahanan, efisiensi, dan sistem yang lebih berpusat pada pasien yang

menggabungkan teknologi digital canggih. Membangun sistem perawatan kesehatan yang kuat memerlukan penyertaan berbagai inovasi teknologi dalam memberikan perawatan yang personal, lancar, dan efektif, terutama untuk hunian berbantuan dalam Healthcare 5.0. Sistem ini menggabungkan AI, perangkat IoT, sensor yang dapat dikenakan, dan platform digital untuk memungkinkan pemantauan dan pengelolaan kesehatan yang berkelanjutan. Oleh karena itu, sistem yang terhubung ini mendorong layanan kesehatan proaktif dengan memprediksi penyakit, memantau pasien dari jarak jauh, dan meningkatkan keterlibatan pasien dalam perjalanan perawatan mereka.

Pemantauan Canggih dan Klinik Virtual untuk Perawatan Panti Jompo

Pemantauan pasien jarak jauh (RPM) yang canggih akan merevolusi pemberian layanan kesehatan karena akses ke layanan medis jarak jauh melalui telekomunikasi dan teknologi kesehatan digital. Perangkat yang dapat dikenakan, sistem berbasis sensor, dan aplikasi kesehatan seluler dapat memastikan pelacakan parameter fisiologis secara berkelanjutan di lingkungan panti jompo. Hal ini memungkinkan deteksi dini masalah kesehatan yang mungkin timbul. Pemantauan tanda vital kritis selama pandemi terkait perangkat yang dapat dikenakan selama COVID-19 melibatkan kombinasi pengukuran suhu, oksigen darah, dan laju pernapasan.

Pemantauan gejala dapat dimungkinkan dengan perangkat ini; lebih lanjut, kunjungan rumah sakit ke panti jompo yang tidak diperlukan akan berkurang secara efektif. Bidang pemantauan memperluas aplikasi RPM dari sekadar pemantauan kesehatan kardiovaskular hingga kualitas tidur yang lebih baik dan kemudian untuk kondisi pernapasan; aplikasi ini juga dapat mencakup pelacakan aktivitas yang dilakukan. Sistem manajemen kesehatan proaktif ini akan memberdayakan pasien di panti jompo untuk bertanggung jawab atas kesehatan mereka. Sistem akan memberi peringatan kepada mereka, serta pengasuh mereka, setiap kali tanda-tanda vital mereka menyimpang dari rentang normal; dengan demikian, hal ini mengurangi rawat inap di rumah sakit dan meningkatkan hasil kesehatan. Klinik virtual juga melengkapi RPM dalam memberikan layanan kesehatan yang lebih baik.

Konsultasi antara tenaga kesehatan profesional dan pasien dapat dilakukan secara daring, menggunakan alat seperti panggilan video atau konsultasi telepon. Keterlibatan digital di fasilitas hunian berbantuan dapat membantu mengurangi jumlah kunjungan tatap muka yang diperlukan dan memiliki dampak yang signifikan dalam pengaturan hunian berbantuan, karena hal ini mengurangi kebutuhan akan kunjungan langsung, yang membantu mengatasi penyakit menular, memangkas waktu tunggu, dan memfasilitasi penghuni yang memiliki tantangan mobilitas atau tinggal di daerah terpencil. Pasien dapat menerima perawatan, panduan, atau tindak lanjut yang dibutuhkan tanpa ketidaknyamanan pergi ke fasilitas kesehatan, sehingga membuat layanan kesehatan lebih mudah diakses dan ramah pasien. Bersama-sama, solusi RPM dan klinik virtual yang canggih mengubah paradigma layanan kesehatan tradisional dalam pengaturan hunian berbantuan menjadi sistem yang fleksibel, responsif, dan berpusat pada pasien yang meningkatkan aksesibilitas dan kontinuitas perawatan kapan saja dan di mana saja.

Inovasi Telemedis untuk Melibatkan Pasien Panti Jompo

Telemedis secara umum merupakan berbagai layanan telekesehatan yang disediakan melalui TIK, termasuk telekonsultasi, telemonitoring, teledermatologi, telekardiologi, dan layanan lainnya. Setiap layanan sesuai dengan berbagai kebutuhan layanan kesehatan: misalnya, telekardiologi, yang menyediakan pemantauan jarak jauh sistem jantung, dan teledermatologi, yang memungkinkan penilaian kondisi kulit pasien. Telerehabilitasi khususnya berguna dalam menyediakan program rehabilitasi virtual di mana pasien dapat direhabilitasi dari operasi atau cedera tanpa harus pergi ke fasilitas fisik. Penambahan terbaru adalah terapi fisik, terapi wicara, dan neurorehabilitasi, karena layanan tersebut harus diberikan dengan cara yang paling nyaman dan berkesinambungan bagi pasien. Untuk perawatan klinis, telemedis merupakan contoh yang baik tetapi memiliki kekurangan dalam menyediakan intervensi emosional. Oleh karena itu, dalam praktiknya, bidang-bidang seperti kesehatan mental kehilangan petunjuk pelacakan emosional langsung di tempat kejadian yang membantu membuat diagnosis yang memadai dan tepat. Terobosan terbaru dalam AI dan ML memungkinkan terciptanya telemedis emotif yang akan memantau kondisi emosional pasien berdasarkan pola bicara, ekspresi wajah, dan nada suara selama konsultasi virtual.

Dengan komponen-komponen emotif ini, telemedis dapat memperkuat empati dalam pemberian layanan kesehatan karena penyedia layanan kesehatan menawarkan dukungan yang efektif secara klinis dan selaras secara emosional. Terlepas dari semua inovasi ini, telemedis masih menghadapi tantangan besar dalam hal infrastruktur, regulasi, dan keterjangkauan, terutama di negara-negara berkembang dengan akses internet terbatas. Oleh karena itu, mengatasi tantangan-tantangan ini akan sangat penting untuk memaksimalkan potensi telemedis sebagai sumber daya yang berharga untuk melibatkan pasien di lingkungan hunian berbantuan.

Lingkungan Cerdas: Hunian Berbantuan Ambien untuk Kemandirian

Hunian Berbantuan Ambien (AAL) menggunakan teknologi AI, robotika, dan jaringan sensor tercanggih untuk mendukung kehidupan pasien yang meningkatkan kemandirian, bahkan jika mereka menderita kondisi kronis atau disabilitas fisik. Sistem berbasis AAL mencakup perangkat rumah pintar, perangkat yang dapat dikenakan (wearable), dan sensor nirkabel yang memantau kesehatan dan mendukung aktivitas sehari-hari. Misalnya, sensor yang dipasang di rumah dapat melacak pergerakan, memantau asupan obat, dan mengirimkan pengingat aktivitas harian. Semua informasi kesehatan ini dikirimkan kepada pengasuh dan tenaga kesehatan yang dapat melakukan intervensi tepat waktu ketika dibutuhkan. AAL sangat direkomendasikan untuk pasien lansia dan demensia geriatri dengan sebagian besar masalah mobilitas terkait kesehatan. Sistem ini memberi mereka kebebasan tetapi tetap memantau kesehatan mereka saat bepergian. Teknologi ini meminimalkan perawatan tatap muka, meningkatkan keamanan, kemandirian, dan kualitas hidup.

Oleh karena itu, teknologi yang diterapkan adalah jaringan sensor nirkabel, perangkat yang dapat dikenakan (wearable), dan sistem rumah pintar berbasis IoT. Sistem ini tidak terlihat dan responsif terhadap keberadaan individu, yang merupakan fitur tambahan yang berkontribusi pada daya tarik AAL dalam memastikan kemandirian. Beberapa tantangannya

antara lain biaya implementasi yang tinggi, masalah privasi, dan kendala teknis yang mencegah teknologi ini mendapatkan cakupan yang luas. Seiring kemajuan teknologi ini dan semakin terjangkau, AAL menjanjikan perubahan besar dalam perawatan kesehatan berbasis rumah bagi pasien dengan kemandirian dan kualitas hidup yang lebih baik.

Solusi Perawatan Diri Cerdas untuk Kesehatan dan Kesejahteraan

Perangkat manajemen diri cerdas memungkinkan pasien untuk terus memantau dan mengontrol kesehatan mereka. Perangkat tersebut meliputi jam tangan pintar, pelacak kebugaran, dan sensor yang dapat dikenakan yang memberikan informasi waktu nyata kepada pasien mengenai detak jantung, pola tidur, aktivitas fisik, dan kadar glukosa darah. Ketika perangkat tersebut terhubung dengan IoT, pasien menerima umpan balik langsung, peringatan, dan kesempatan untuk melakukan penyesuaian dalam praktik kesehatan mereka tepat waktu. Pendekatan manajemen diri ini sangat membantu pasien dengan kondisi kronis karena mereka dapat memantau kesehatan mereka dan menghindari eksaserbasi melalui penerapan pilihan gaya hidup yang tepat. Alat pemantauan kesehatan cerdas berkontribusi besar pada perawatan kesehatan preventif dengan memungkinkan individu untuk bersikap proaktif terhadap kesehatan mereka. Perangkat ini dapat melacak tren kesehatan dan memberikan wawasan yang membantu dalam deteksi dini risiko kesehatan.

Misalnya, pasien diabetes dapat menggunakan alat pengukur kadar glukosa melalui perangkat yang dapat dikenakan (wearable) berbasis internet; penderita hipertensi dapat mengukur tekanan darahnya secara teratur. Dalam hal ini, masalahnya terletak pada akurasi karena kegagalan pada perangkat ini dapat menyebabkan kesalahan interpretasi, yang mengakibatkan cedera pada pasien. Seiring berkembangnya IoT dan konektivitas Bluetooth, perangkat swakelola akan semakin mendorong model layanan kesehatan kolaboratif di mana pasien dan penyedia layanan kesehatan bekerja sama untuk mencapai hasil kesehatan yang optimal.

Kepatuhan Perawatan yang Dipersonalisasi dalam Layanan Kesehatan untuk Lansia 5.0

Perawatan yang dipersonalisasi dalam layanan kesehatan akan berfokus pada penyesuaian perawatan medis dengan kebutuhan spesifik pasien. Hal ini akan dicapai dengan menggunakan data yang dikumpulkan melalui perangkat yang dapat dikenakan, biosensor, dan platform layanan kesehatan yang terhubung. Pengumpulan dan analisis data secara real-time memungkinkan penyedia layanan kesehatan untuk menetapkan rencana perawatan yang disesuaikan dengan profil kesehatan pasien mereka. Misalnya, biosensor pada pasien diabetes terus merekam kadar glukosa darah, sehingga dokter dapat menyesuaikan jadwal perawatan mereka. Hal ini mendukung manajemen penyakit kronis dan meningkatkan aktivasi pasien dengan melibatkan pasien secara langsung dalam perawatan mereka.

Platform kesehatan yang terhubung meningkatkan komunikasi antar penyedia layanan kesehatan dan memberikan gambaran holistik tentang riwayat kesehatan setiap pasien. Pasien dengan kondisi kardiovaskular dapat memperoleh manfaat dari perangkat yang melacak detak jantung, tekanan darah, dan aktivitas fisik, yang memberikan wawasan untuk rekomendasi individual. Aksesibilitas dan interoperabilitas data pasien yang mudah akan memudahkan sistem layanan kesehatan untuk beralih dari perawatan episodik ke perawatan berkelanjutan,

menekankan intervensi proaktif, dan meningkatkan luaran bagi pasien. Pendekatan kolaboratif akan didorong dengan penerapan Healthcare 5.0, didorong oleh AI, IoT, dan big data, yang memprioritaskan kesejahteraan pasien melalui deteksi risiko kesehatan dini dan memfasilitasi manajemen kesehatan berkelanjutan melalui berbagi informasi tepat waktu.

11.5 APLIKASI DALAM MANAJEMEN OPERASIONAL RUMAH SAKIT

Teknologi Healthcare 5.0 menyediakan cara untuk memodernisasi perawatan, memastikan keselamatan, dan meningkatkan kualitas hidup bagi mereka yang membutuhkan. Healthcare 5.0 merupakan salah satu fungsi kunci dalam menjalankan operasional rumah sakit sehari-hari, mengoordinasikan aktivitas klinis dan non-klinis untuk memberikan layanan yang lebih efektif dan berkualitas tinggi. Hal ini mencakup penempatan staf, penegakan kebijakan, pengelolaan peralatan, dan klaim asuransi. Kendala operasional lainnya meliputi kekurangan staf, obat-obatan, dan persediaan farmasi, serta fasilitas gawat darurat atau ambulans yang tidak tersedia. Teknologi canggih seperti perangkat IoT, sistem berbasis AI, dan analitik real-time merupakan Healthcare 5.0, sebuah perluasan dari teknologi canggih yang memungkinkan efisiensi operasional maksimal. Teknologi dalam kategori ini meningkatkan pemeliharaan peralatan prediktif, mengidentifikasi keterbatasan sumber daya dengan cepat, dan meningkatkan komunikasi antar departemen.

Selain itu, pengiriman obat dan sampel dengan bantuan drone, manajemen inventaris otomatis, dan optimalisasi personel mengurangi waktu tunda dan meningkatkan efisiensi operasional rumah sakit. Beragam manfaat ini muncul dari integrasi teknologi baru yang secara signifikan meningkatkan kepuasan pasien, distribusi sumber daya, dan pengambilan keputusan berbasis data yang lebih cepat untuk keadaan darurat atau krisis berkepanjangan seperti pandemi.

Pemantauan Kesehatan Real-Time dan Deteksi Dini Penyakit

Klien akan tinggal di fasilitas hunian berbantuan. Healthcare 5.0 mengadopsi perangkat pintar yang dapat dikenakan dan ditanamkan yang melacak indikator kesehatan vital yang kompleks, seperti konsentrasi glukosa, suhu tubuh, demam, elektrokardiogram, dan tekanan darah. Informasi ini tersedia secara instan bagi tenaga kesehatan profesional untuk segera melakukan intervensi jika terjadi pengukuran yang tidak normal. Hal ini mengurangi kebutuhan akan kunjungan rumah sakit yang sering dan perawatan berkualitas karena perawatan medis diberikan dengan segera dan tidak mengganggu aktivitas sehari-hari penghuni. Deteksi dan pengobatan penyakit kronis yang tepat waktu sangat penting dalam pengaturan hunian berbantuan. Healthcare 5.0 memanfaatkan algoritma canggih dan perangkat IoT untuk pemantauan berkelanjutan, yang bertujuan untuk mengukur indikator kesehatan penghuni secara persisten. Perangkat tersebut dapat mengenali gejala penyakit yang sangat ringan, seperti penyakit kardiovaskular, diabetes, atau penyakit pernapasan, sehingga memungkinkan tenaga medis profesional untuk melakukan intervensi dini. Healthcare 5.0 mendorong deteksi dini, yang akan mencegah perkembangan masalah kesehatan yang parah dan mengurangi kebutuhan rawat inap di rumah sakit.

Telehealth dan Manajemen Obat yang Aman

Pasien di panti wreda sebagian besar kurang mobilitas dan, oleh karena itu, tidak dapat menghadiri janji temu kesehatan rutin. HealthCare 5.0 memungkinkan warga untuk mengakses fasilitas terpencil yang menghubungkan warga dengan penyedia layanan kesehatan. Teknologi komunikasi memungkinkan dokter untuk mengakses informasi pasien, mendistribusikan obat, dan memberikan konsultasi tanpa harus mengunjungi fasilitas pasien secara langsung. Pasien, terutama yang berasal dari daerah terpencil atau daerah terpencil, dapat memiliki akses yang lebih mudah ke layanan kesehatan. Keamanan dan ketepatan pemberian obat merupakan perawatan yang sangat penting di panti wreda. Healthcare 5.0 menggunakan smart tag dan perangkat IoT untuk memantau seluruh perjalanan obat, mulai dari pembuatan hingga pemberian, memastikan pasien menerima obat yang asli. Protokol otomatis pada dosis mengendalikan lebih sedikit kemungkinan kesalahan. Drone dapat berperan penting dalam pengiriman obat-obatan penting, terutama ke daerah terpencil.

11.6 TANTANGAN HEALTHCARE 5.0 DALAM PANTI JOMPO

Healthcare 5.0 merupakan lompatan luar biasa yang telah disaksikan oleh fasilitas panti jompo, tetapi beberapa tantangan krusial perlu dikaji secara serius agar dapat terwujud sepenuhnya:

Mengelola Volume Data yang Besar: Sebagian besar perangkat pintar merawat penghuni. Panti jompo menghasilkan volume data yang sangat besar. Sebagian besar sistem pemrosesan data yang tersedia tidak dapat menangani hal ini. Healthcare 5.0 membutuhkan algoritma ML yang canggih dan proses yang kompleks dalam manajemen data untuk memungkinkan analisis data yang dikumpulkan guna memastikan deteksi dan penanganan penyakit yang tepat waktu.

Non-Standardisasi: Perangkat kesehatan cerdas dari perusahaan lain akan tetap menjadi penghalang interoperabilitas. Beberapa bahkan dibuat menggunakan protokol komunikasi yang berbeda, termasuk sistem berbasis Bluetooth versus berbasis internet, yang dapat menimbulkan risiko keamanan dan inkonsistensi sistem. Harus ada protokol standar untuk perangkat dan promosi integrasi sistem tanpa hambatan apa pun.

Infrastruktur dan Keamanan Siber yang Usang: Layanan Kesehatan 5.0 bergantung pada infrastruktur yang jauh lebih canggih; beberapa pusat layanan kesehatan menerapkan teknologi yang relatif lebih tua yang berdampak negatif pada fungsionalitas teknologi pintar yang lebih canggih. Pengembangan infrastruktur juga diperlukan untuk menarik personel TI demi kelancaran pekerjaan. Organisasi juga perlu berfokus pada pembaruan yang berkala agar selalu mengikuti perkembangan teknologi layanan kesehatan terkini. Semakin banyak perangkat yang terhubung di lingkungan layanan kesehatan berbantuan membuatnya sangat rentan terhadap ancaman siber. Mengintegrasikan informasi layanan kesehatan yang sensitif ke dalam sistem Layanan Kesehatan 5.0 meningkatkan risiko pelanggaran data. Oleh karena itu, privasi data harus diperkuat, dengan informasi kesehatan pribadi yang krusial tidak dapat diakses oleh pengguna yang tidak berwenang.

Integrasi Data dan Kepatuhan Regulasi: Layanan Kesehatan 5.0 mencakup perangkat yang luas dengan berbagai bentuk dan jenis. Jika penyatuan dan interoperabilitas data juga tidak tersedia, maka data yang dicatat dari perangkat tersebut akan terisolasi dan, oleh karena itu, sulit diproses. Dengan demikian, proses komunikasi antara perangkat, penyedia layanan kesehatan, pengasuh, dan pembayar akan menjadi faktor penentu keberhasilan kerangka kerja layanan kesehatan berbantuan. Semua negara memiliki undang-undang khusus negara terkait kerahasiaan data kesehatan dan prosedur persetujuan alat kesehatan. Fasilitas hunian berbantuan menghadapi kompleksitas regulasi karena mereka berupaya menggunakan solusi Healthcare 5.0. Oleh karena itu, sangat penting untuk mematuhi semua peraturan nasional terkait layanan kesehatan agar dapat menerapkan inovasi kesehatan cerdas secara legal.

Hambatan Biaya, Membangun Kepercayaan, dan Masalah Skalabilitas: Biaya pengembangan tulang punggung Healthcare 5.0 akan mencakup perangkat cerdas, komputasi awan, dan peningkatan infrastruktur, yang mungkin cukup tinggi. Manfaat jangka panjangnya relatif terdefinisi dengan baik, meskipun investasi awal yang besar dapat menjadi tantangan tersendiri, bahkan bagi organisasi yang lebih kecil yang menyediakan hunian berbantuan. Peningkatan skala Healthcare 5.0 di fasilitas hunian berbantuan yang beragam masih sulit dilakukan. Untuk sepenuhnya mewujudkan manfaatnya, sektor layanan kesehatan harus terlebih dahulu memahami manfaat perangkat cerdas yang saling terkait dan mempersiapkan para profesional dan pasien secara memadai untuk menggunakan teknologi tersebut dengan benar. Keberhasilan Healthcare 5.0 dalam hunian berbantuan bergantung pada kepercayaan pasien, pengasuh, dan praktisi layanan kesehatan terhadap sistem tersebut. Jaminan penggunaan, pembagian, dan perlindungan informasi kesehatan pribadi akan meningkatkan kepercayaan terhadap teknologi tersebut.

11.7 PENELITIAN MASA DEPAN HEALTHCARE 5.0 DALAM PANTI JOMPO

Healthcare 5.0 selalu ditandai dengan pengenalan teknologi canggih baru, tetapi banyak bidang penelitian masih memerlukan studi lebih lanjut, terutama untuk panti jompo. Berbagai penelitian krusial diperlukan untuk memastikan sektor panti jompo direvolusi melalui Healthcare 5.0.

Membangun Solusi Keamanan yang Tangguh dan Efisien

Sistem Healthcare 5.0 yang diterapkan di lingkungan hunian berbantuan menangani informasi kesehatan yang sensitif, sehingga rentan terhadap serangan siber. Infrastruktur keamanan kontemporer semakin rentan terhadap kelemahan yang disebabkan oleh malware, pelanggaran data, dan entri tanpa izin. Oleh karena itu, sangat penting untuk berinvestasi dalam membangun sistem premium dan aman yang dapat melindungi dari berbagai mode serangan secara bersamaan untuk memastikan keselamatan penghuninya dan kerahasiaan data mereka. Hunian berbantuan menggunakan perangkat seperti perangkat yang dapat dikenakan dan sensor IoT dengan sumber daya terbatas; oleh karena itu, kebutuhannya terletak pada pengembangan mekanisme keamanan yang praktis dan ramah sumber daya. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut harus difokuskan pada pengembangan sistem

keamanan berbiaya rendah yang ringan dan tidak menghabiskan daya pemrosesan dan daya tahan baterai yang berharga dari mesin tersebut.

Mengatasi Tantangan Skalabilitas dengan Keragaman Perangkat

Fasilitas hunian berbantuan semakin bergantung pada sistem perangkat yang saling terhubung dalam jumlah besar untuk melacak status kesehatan penghuninya. Sistem semacam itu menghasilkan data dalam jumlah besar, dan masalahnya sejauh ini adalah skalabilitas. Terdapat penelitian dalam kerangka kerja keamanan dan sistem manajemen data yang meningkatkan kinerja dan integritas keamanan dalam pertumbuhan jaringan tersebut. Beragamnya teknologi hunian berbantuan ini, mulai dari perangkat yang dapat dikenakan hingga sensor dan perangkat komunikasi, dapat memperlambat laju solusi keamanan terpadu. Dalam kebanyakan kasus, perangkat akan mendukung protokol komunikasi yang berbeda atau memiliki kapasitas pemrosesan yang bervariasi. Oleh karena itu, penelitian di masa mendatang harus berfokus pada pengembangan kerangka kerja adaptif yang mengintegrasikan dan mengelola beragam perangkat ini secara aman.

Mengintegrasikan Platform dengan Standar Hukum dan Peraturan

Pertukaran informasi antar platform, seperti teknologi rumah pintar dan peralatan medis, merupakan inti dari setiap lingkungan hunian berbantuan. Oleh karena itu, penelitian saat ini harus berfokus pada pembuatan sistem yang aman dan interoperabel yang memastikan pertukaran data yang lancar di seluruh platform sambil mempertahankan standar keamanan yang tinggi, terutama untuk data yang berada di lingkungan cloud. Terlepas dari semua kemajuan signifikan yang dicapai oleh Healthcare 5.0 ini, kerangka kerja hukum dan peraturan masih memiliki kerentanan yang sangat besar dalam penerapannya terhadap penggunaan informasi kesehatan yang sensitif dalam hunian berbantuan. Upaya penelitian di masa mendatang harus difokuskan pada upaya pembuatan kebijakan, pengembangan perspektif regulasi yang memperhatikan aspek keamanan data, dan penetapan standar akuntabilitas terkait penerapan informasi kesehatan pribadi dalam sistem ini.

11.8 KESIMPULAN

Praktik baru yang paling signifikan dalam konteks Layanan Kesehatan 5.0, sekaligus memberikan dukungan pemberian layanan kepada pasien yang dibutuhkan, adalah layanan personal yang akan ditawarkan khusus untuk hunian berbantuan. Untuk memastikan bahwa model perawatan canggih dan prediktif yang berpusat pada pasien ini menghasilkan dan menjadi unik bagi model perawatan dalam suasana hunian berbantuan, diperlukan pemanfaatan AI, big data, analitik, ML, serta IoT yang paling mutakhir. Pendekatan inovatif ini berfokus pada pemantauan waktu nyata (real-time), diagnostik canggih, dan solusi perawatan personal, dengan keterlibatan aktif baik perawat maupun penghuni dalam proses perawatan kesehatan. Pemantauan kesehatan waktu nyata (real-time) melalui teknologi yang dapat dikenakan (wearable) dan perangkat bersensor merupakan fitur dasar layanan perawatan kesehatan personal di hunian berbantuan. Perangkat ini terus memantau tanda-tanda vital dan indikator kesehatan penghuni lainnya sehingga perawat dapat mengidentifikasi masalah kesehatan sejak dini sebelum menjadi serius. Misalnya, perangkat ini dapat terus memantau

detak jantung, tekanan darah, EKG, kadar glukosa, dan bahkan gerakan abnormal lainnya yang kemungkinan dapat menyebabkan penghuni lansia terjatuh. Pendekatan ini berorientasi pada keselamatan pasien, tetapi meningkatkan hasil yang lebih sehat bagi pasien melalui intervensi dan pengendalian penyakit kronis yang tepat. Teknologi ini semakin meningkatkan perawatan personal melalui diagnostik prediktif berbasis AI dan ML. Melalui teknologi ini, pola-pola yang terkait dengan informasi kesehatan yang luas akan diidentifikasi, yang menunjukkan risiko kondisi kesehatan jauh sebelum gejala tersebut muncul. Hal ini sangat penting dalam diagnosis dini penyakit seperti penyakit jantung, diabetes, dan gangguan neurologis lainnya, yang penemuannya dapat meningkatkan hasil pengobatan pada tahap awal.

Selain itu, interoperabilitas dan kompatibilitas perangkat merupakan hambatan signifikan bagi kelancaran perawatan personal di fasilitas hunian berbantuan. Banyaknya perangkat IoT dan aplikasi kesehatan dapat menyebabkan data terisolasi yang mempersulit pengembangan profil kesehatan terintegrasi bagi penghuni. Oleh karena itu, interoperabilitas antar perangkat ini sangat penting untuk menyediakan data pasien yang komprehensif bagi pengasuh, yang akan membantu dalam proses pengambilan keputusan yang terinformasi dan juga meningkatkan kualitas perawatan. Hal ini membutuhkan modernisasi infrastruktur layanan kesehatan untuk mencapai kerangka kerja digital canggih sebagai tulang punggung layanan perawatan personal di fasilitas hunian berbantuan. Kemungkinan besar, infrastruktur yang ada tidak dapat mengakomodasi tuntutan tinggi pada tingkat data yang berasal dari perangkat IoT dan diagnosis AI ini. Masa depan menuntut investasi dalam peningkatan akses internet dan pembangunan jaringan kesehatan digital yang kuat yang seharusnya membuat manfaat Healthcare 5.0 dapat diakses oleh semua tingkatan lingkungan hunian berbantuan, terutama di daerah pedesaan atau kurang mampu. Seiring perkembangan teknologi, struktur regulasi harus maju untuk mengelola isu-isu seperti perlindungan data, persetujuan pasien, dan akuntabilitas. Ini adalah pendorong utama berikutnya dalam hal skalabilitas dan interoperabilitas teknologi untuk mempertahankan layanan perawatan pribadi di mana fasilitas dapat secara efisien menerapkan teknologi inovatif seiring dengan terus meningkatnya volume pasien. Yang terakhir adalah bahwa keterlibatan dan kepercayaan pasien harus dikembangkan agar dapat secara efektif menerapkan layanan kesehatan yang dipersonalisasi di hunian berbantuan. Penghuni harus merasa aman dengan informasi mereka dan tahu bahwa mereka mendapatkan perawatan berkualitas tinggi. Dengan demikian, membangun kepercayaan membutuhkan aspek-aspek seperti transparansi dalam penggunaan data dan antarmuka yang mudah diakses dan digunakan. Dengan demikian, program literasi kesehatan digital akan memberdayakan warga untuk berpartisipasi secara mandiri dalam perawatan mereka, memperkuat etos Healthcare 5.0 yang berpusat pada pasien.

BAB 12

PEMANFAATAN NLP UNTUK KEPUTUSAN KLINIS MODERN

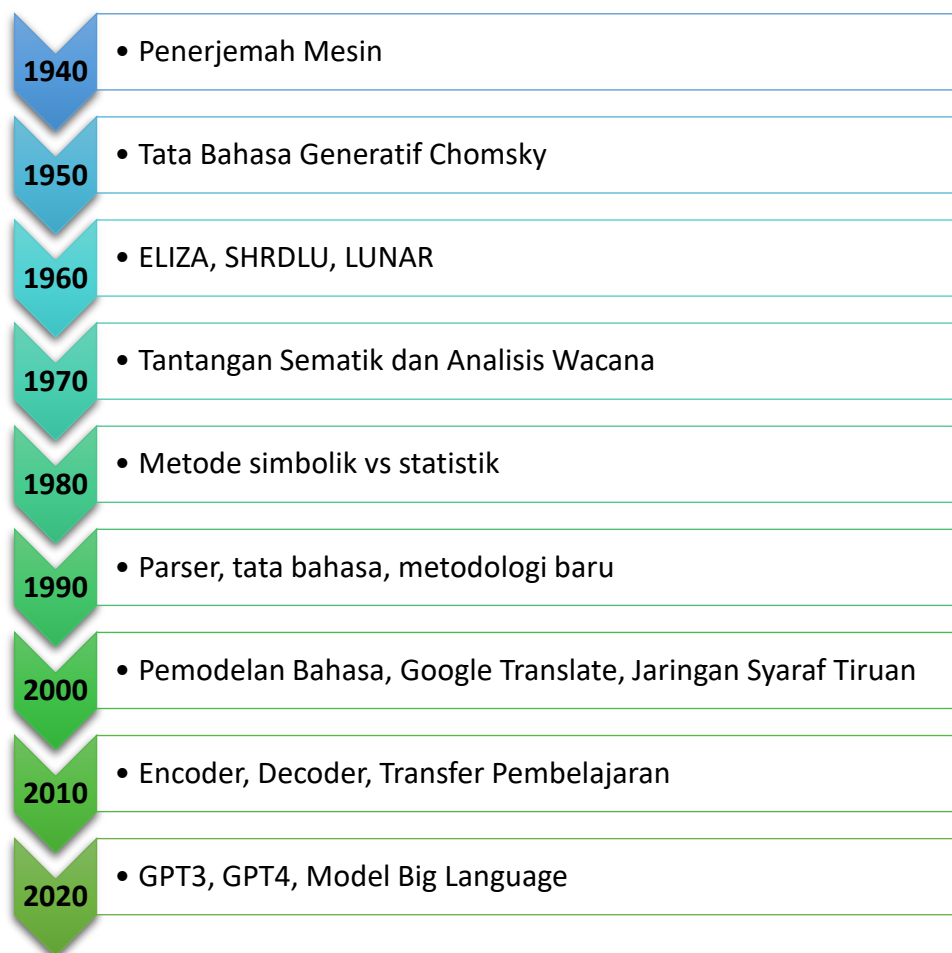
12.1 PENDAHULUAN

Pemrosesan bahasa alami (NLP) telah dilakukan sejak tahun 1940-an dan telah mencakup beberapa dekade. Aplikasi perintis NLP dikembangkan di Birkbeck College-London. Terjemahan mesin (MT) adalah aplikasi berbasis komputer pertama yang terkait dengan bahasa alami. Penelitian awal tentang MT menunjukkan bahwa perbedaan utama antarbahasa terletak pada kosakata dan susunan kata yang dapat diterima. Sistem ini sebagian besar bergantung pada terjemahan referensi dan restrukturisasi kata setelah terjemahan yang sebenarnya, tetapi tanpa memperhatikan fluktuasi leksikal yang melekat pada kata-kata yang diterjemahkan. Pendekatan ini seringkali terbukti suboptimal. Sistem-sistem awal ini memiliki kekurangan yang nyata, yang menunjukkan kesulitan sebenarnya dari tugas tersebut, yang menunjukkan perlunya pengembangan lebih lanjut dari teori-teori bahasa yang lebih canggih. Perlu disebutkan bahwa Noam Chomsky adalah tokoh utama dalam penciptaan NLP. Ia mengidentifikasi isu kritis dengan model bahasa pada masa itu: model-model tersebut mampu menangani respons yang tidak masuk akal, tetapi tidak mampu menangani respons yang benar secara tata bahasa. Kontribusi Chomsky adalah menguraikan dan mengklarifikasi apa yang benar-benar relevan dengan linguistik arus utama untuk MT. Pada tahun 1957, Chomsky menerbitkan bukunya, *Syntactic Structures*, yang mengusulkan penggunaan tata bahasa generatif (Gambar 12.1). Karya ini, yang memperluas karya Chomsky, menyediakan model pertama yang teliti untuk menganalisis struktur sintaksis bahasa. Hal ini memungkinkan para peneliti untuk mengusulkan model yang lebih maju, sehingga memberikan dasar bagi pendekatan NLP dan MT tingkat lanjut.

Antara tahun 1970 dan 1957, bidang NLP terbagi menjadi dua kelompok utama, sementara pemrosesan informasi gender melibatkan ketegangan antara simbolik dan stokastik. Kelompok simbolik terdiri dari anggota dengan latar belakang linguistik dan ilmu komputer, yang berfokus pada bahasa formal dan pembentukan sintaksis. Hal ini juga dipandang sebagai langkah awal dalam studi kecerdasan buatan. Di sisi lain, peneliti stokastik tertarik pada teknik NLP statistik, permasalahan yang berkaitan dengan pengenalan teks, dan pola dalam teks, seperti Pengenalan Karakter Optik. Meskipun popularitas bidang ini meningkat dalam beberapa dekade sebelum tahun 1970, bidang ini terbagi menjadi beberapa subbidang dan topik yang berbeda seperti teknologi dan akses terhadap informasi yang mendefinisikan modernitas kontemporer. Beberapa perubahan signifikan terjadi, termasuk paradigma berbasis logika. Pendekatan ini menekankan aturan pengkodean dan bahasa dalam hal logika matematika dan menghasilkan formulasi bahasa yang dikenal sebagai Prolong, yang merupakan bahasa untuk melakukan pemrosesan berbasis logika tersebut.

Pada akhir 1960-an dan awal 1970-an, penelitian teoretis dalam NLP berfokus pada pengkodean untuk makna dan teknik komputasi yang efisien yang teori tata bahasa yang ada tidak mencukupi. Pada tahun 1965, Noam Chomsky, seorang profesor di Massachusetts

Institute of Technology, mengusulkan apa yang sekarang dikenal sebagai model transformasional kemampuan bahasa, yang menerima tanggapan penting. Karena beberapa masalah yang diangkat oleh Chomsky, khususnya yang berkaitan dengan transformasionalisme sebagaimana dirumuskan dalam generativisme, beberapa teori baru telah dikembangkan untuk mengatasi masalah seperti anomali sintaksis dan semantik. Ini termasuk tata bahasa kasus Fillmore, konseptual Schank, dan teori ketergantungan jaringan semantik Quillian. Lebih lanjut, Woods memperluas tata bahasa struktur frasa melalui jaringan transisi augmented dan elemen-elemen yang termasuk dalam kelas bahasa pemrograman, seperti LISP. Model representasional lain dari periode ini termasuk semantik preferensial Wilks dan tata bahasa fungsional Kay.



Gambar 12.1 Sejarah NLP.

Untuk memetakan secara kasar perkembangan kronologis teori tersebut, beberapa model "prototipe" dirancang untuk mengilustrasikan penerapan ide-ide tertentu. Setiap sejarah NLP harus menyertakan ELIZA, sebuah perangkat lunak chatbot yang dikembangkan oleh Joseph Weizenbaum di Laboratorium Kecerdasan Buatan MIT antara tahun 1964 dan 1966. Seperti yang dirancang oleh psikoterapis Rogerian, skrip DOCTOR untuk ELIZA telah diprogram sebelumnya dengan respons berbasis aturan yang akan digunakan untuk

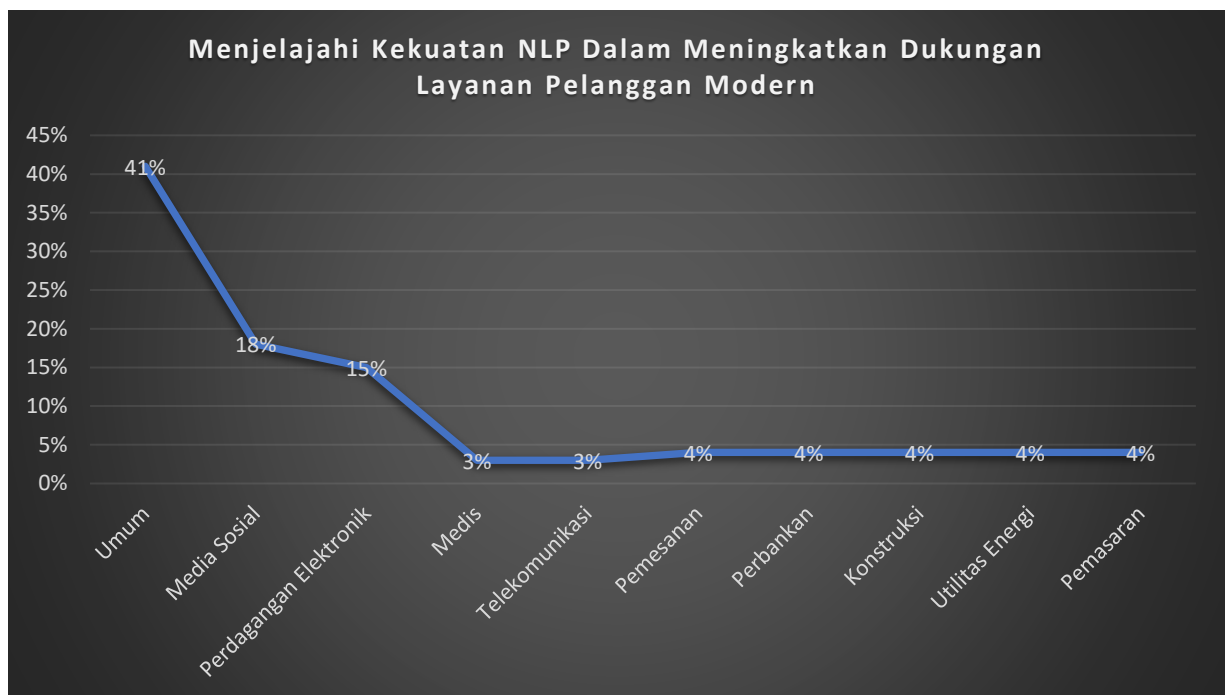
menangani pertanyaan psikometrik dari pengguna. Patut dicatat bahwa ELIZA adalah salah satu dari sedikit chatbot pada periode tersebut yang menyelesaikan Tes Turing. SHRDLU adalah keturunan lain dari NLP, yang menjadi pokok bahasan tesis doctoral Winograd. SHRDLU memungkinkan komputer untuk berinteraksi dengan dunia blok, memanipulasinya, dan menjawab pertanyaan ketika pengguna mengetik perintah bahasa alami. Karakteristiknya yang paling menonjol adalah kapasitasnya untuk belajar dan, dengan demikian, memahaminya dengan akurasi yang tinggi. PARRY dirancang untuk mensimulasikan kepribadian paranoid; Namun, tidak seperti kebanyakan program sebelumnya, program ini menggunakan kelompok kata kunci alih-alih kata kunci individual dan memanggil sinonim ketika tidak ada kata kunci yang diidentifikasi. LUNAR, yang dikembangkan pada tahun 1978 oleh W. Woods, dirancang sebagai sistem untuk membandingkan dan mengevaluasi data kimia dari batuan dan tanah yang dibawa kembali ke Bumi oleh misi bulan Apollo. Tata bahasa komputasional menjadi bidang penelitian utama pada tahun 1980-an, dan fokus penelitian telah berubah dari komputasi makna menjadi menafsirkan makna dan maksud pengguna. Tahun 1990-an telah menunjukkan pertumbuhan drastis dalam NLP dan MT, dan parser yang lebih baik, tata bahasa baru, metodologi baru, dan sumber daya praktis baru di area ini telah muncul.

Menjelang akhir tahun 1970-an, fokus penelitian dalam NLP adalah pada isu semantik, analisis linguistik wacana, dan tujuan komunikatif bahasa manusia. Berdasarkan studi-studi ini, Grosz mengartikulasikan tesis yang mengidentifikasi segmen-segmen dalam wacana dan menghubungkan struktur tugas dengan struktur dialogisnya. Teori ini dikembangkan oleh Mann dan Thompson, di mana model hierarkis untuk analisis dialog telah diusulkan. Juga penting selama periode ini adalah kontribusi oleh peneliti lain seperti Hobbs, Rosenschein, Polanyi, Scha, dan Reichman. Sedikit lebih spesifik, ada peningkatan perhatian dengan pembangkitan bahasa alami, termasuk TEXT K. McKeown dan MUMBLE McDonald yang menggunakan proposisi retorik untuk menghasilkan teks penjelasan sederhana; ini biasanya seukuran paragraf. TEXT, khususnya, telah dipuji karena efektivitasnya dalam memunculkan respons yang dirasionalisasi di dunia maya.

Pendekatan awal 1980-an melihat lebih banyak minat bergeser kembali dari teknik berbasis simbolis ketika para penggemar NLP menyadari potensi bentuk pendekatan yang terisolasi dan kebutuhan akan solusi yang secara holistik memperhatikan bahasa. Proses ini dimungkinkan karena penyediaan sumber daya komputasi dasar untuk mendukung pergeseran tersebut. Metode simbolik dominan hingga akhir 1980-an, yang masih mencukupi untuk mencakup permasalahan utama NLP hingga akhir dekade tersebut. Namun, metode statistik juga terbukti bermanfaat dalam melengkapi pendekatan simbolik yang telah disebutkan sebelumnya dalam NLP.

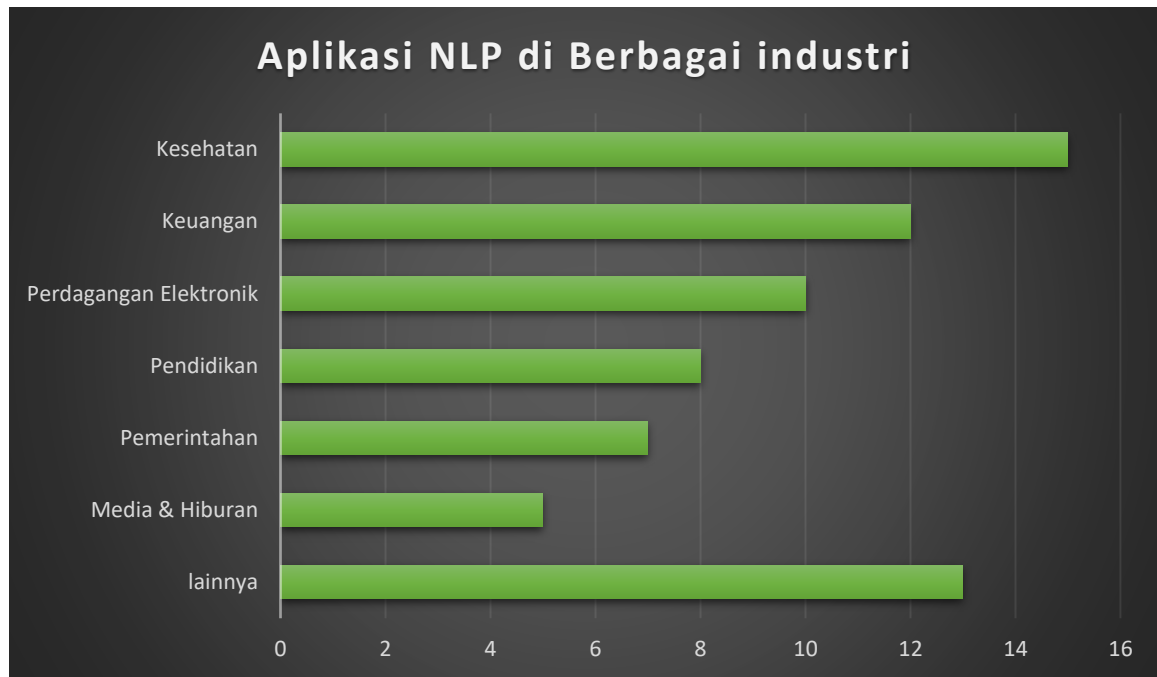
Pada tahun 2000, fitur-fitur baru dalam sistem NLP, seperti pemodelan bahasa, Google Translate, dan jaringan saraf tiruan, mengalami kemajuan pesat. Inovasi-inovasi di tahun 2010-an antara lain arsitektur Encoder-Decoder dan Transfer Learning. Pada tahun 2020, GPT-3, GPT-4, dan Large Language Models merupakan perkembangan kunci NLP yang menandai kemajuan bidang ini. NLP telah berkembang pesat meskipun dulunya hanya melibatkan kamus dalam berbagai bahasa dan aturan-aturan tulisan tangan. Jika AI ingin terus berkembang, jelas bahwa

perannya akan semakin menonjol di masa depan. Dalam hal pembelajaran mendalam, NLP sudah berada pada level yang luar biasa dalam beberapa aplikasi. Konsep otomatisasi yang meluas dan berkembang pesat, didukung oleh pembelajaran mesin dan perangkat pintar, masih jauh dari puncaknya dalam hal peluang yang ada. Meskipun terkesan bahwa NLP telah memecahkan semua masalah yang berpotensi mendapatkan manfaat darinya di sektor apa pun tempatnya beroperasi, ada banyak area di mana teknologi ini dapat memberikan dampak positif yang kuat. Perkembangan NLP yang masih berlangsung memiliki peluang untuk terus maju dan membantu menciptakan masa depan yang lebih baik bagi semua orang.



Gambar 12.2 Peningkatan NLP Dalam Dukungan Pelanggan.

Gambar 12.2 menunjukkan rincian penerapan NLP dalam dukungan pelanggan saat ini berdasarkan berbagai industri. Hal ini membuktikan bahwa NLP banyak digunakan, dengan 41% di antaranya diterapkan dalam dukungan pelanggan umum. Hal ini kemudian didukung oleh 18% di media sosial yang menunjukkan pentingnya NLP dalam memoderasi hubungan pelanggan melalui platform ini, dan 15% di e-commerce yang menunjukkan pentingnya NLP dalam bisnis ritel. Sebagai perbandingan, sektor medis hanya berkontribusi 3%, kemungkinan karena rendahnya pemanfaatan NLP dalam layanan pelanggan di sektor kesehatan. Selain itu, TEL menempati 4%, pemesanan juga menempati 4%, perbankan menempati 4%, konstruksi menempati 4%, utilitas energi menempati 4%, dan pemasaran menempati 4%, yang menunjukkan bahwa meskipun NLP diadopsi di domain-domain ini, manfaat relatifnya tidak sepenting penyediaan layanan umum, media sosial, dan e-commerce. Secara agregat, grafik menunjukkan bahwa segmen-segmen tertentu paling diuntungkan oleh NLP dalam meningkatkan operasi dukungan pelanggan, segmen-segmen tersebut tetap memiliki potensi peningkatan yang lebih besar.



Gambar 13.3 Jumlah Aplikasi NLP.

NLP memang merupakan salah satu bidang yang paling menjanjikan (Gambar 13.3) dan membuka banyak kemungkinan menarik untuk dikembangkan di masa depan. Karena mencakup berbagai bentuk berbicara, menulis, memberi isyarat, dan mengilustrasikan, NLP multimodal mengakomodasi berbagai cara, termasuk, namun tidak terbatas pada, teks, gambar, dan ucapan. Dalam AI percakapan, interaksi yang sadar kontekstual dan realistis adalah aplikasi Chabot dan asisten virtual. Artinya, meskipun kedua fitur ini menjadi penting untuk menjelaskan dan merespons bias global yang esensial dan mengatur dunia augmented terbuka, bidang lain yang sedang berkembang yang mencoba memperluas cakupan penerapan model ke lingkungan tempat model tersebut tidak dilatih adalah pembelajaran zero-shot. Pengetahuan dalam berbagai bahasa meningkatkan pengetahuan lintas bahasa dan pembelajaran few-shot adalah tentang model untuk belajar dari sejumlah kecil sampel. Evolusi selalu terjadi karena model dapat mengikuti perubahan dan tren dalam bahasa yang mereka pahami dan, juga, model bergantung pada bidang yang membutuhkannya—dari perawatan kesehatan hingga keuangan. Perkembangan model pra-latih awal masih menjanjikan, terutama untuk NLP eksperiensial yang mencakup konteks dan menyoroti skalabilitas, etika, dan efisiensi dalam sistem NLP.

12.2 KOMPONEN NLP

NLP terdiri dari dua komponen utama yang memungkinkan pemrosesan bahasa mesin menjadi bahasa manusia secara efektif:

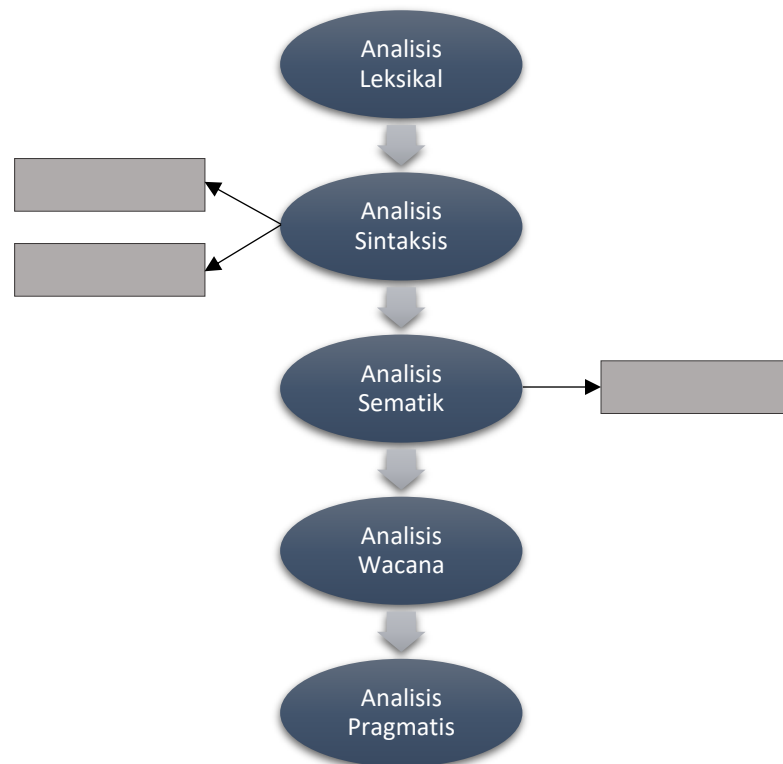
- **Pemahaman Bahasa Alami (NLU):** NLU melibatkan proses seperti perolehan data dari konten yang mencakup konsep, entitas, kata kunci, emosi, relasi, dan peran semantik.
- **Pembangkitan Bahasa Alami (NLG):** NLG dapat digambarkan sebagai antarmuka yang menerjemahkan informasi teknis ke dalam teks bahasa. NLG terutama melibatkan tiga

proses: model LUSS terdiri dari tingkatan tekstual, yang meliputi perencanaan teks, perencanaan kalimat, dan realisasi teks.

NLU adalah proses membaca dan menafsirkan bahasa.	NLG adalah proses penulisan atau pembangkitan bahasa.
NLU menghasilkan keluaran non-linguistik dari masukan bahasa alami.	Proses ini menghasilkan keluaran bahasa alami dari masukan non-linguistik.

Tingkatan NLP

Ada lima tingkatan dalam NLP:



Gambar 12.4 Tingkatan NLP.

- **Analisis Leksikal:** Pada Gambar 12.4, fase awal NLP, yang disebut analisis leksikal, kode sumber dianalisis sebagai rangkaian karakter dan diubah menjadi unit bermakna, yang dikenal sebagai leksem. Analisis ini melibatkan analisis fitur-fitur utama teks yang mencakup paragraf, kalimat, dan bahkan kata-kata.
- **Analisis Sintaksis:** Analisis sintaksis digunakan untuk mempelajari struktur gramatikal dan posisi kata-kata, serta menunjukkan ketergantungan antarkata.

Contoh: *Agra* pindah ke *Delhi*.

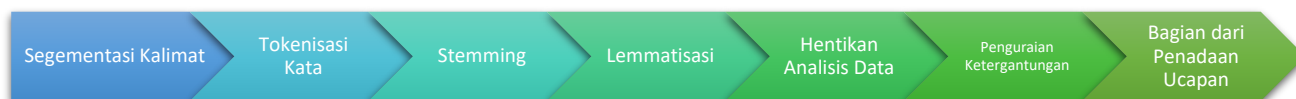
Seperti yang kita ketahui, *Agra* di dunia nyata tidak pindah ke Delhi, yang tidak masuk akal sehingga penganalisis sintaksis menghapus kalimat tersebut.

- **Analisis Semantik:** Analisis sintaksis digunakan untuk mempelajari struktur gramatikal dan posisi kata-kata, serta menunjukkan ketergantungan antarkata.
- **Integrasi Wacana:** Integrasi wacana dibangun berdasarkan kalimat-kalimat sebelumnya ketika dianalisis; integrasi ini juga memperhatikan makna kalimat-kalimat berikutnya.
- **Analisis Pragmatik:** Ini adalah fase terakhir dari NLP. Salah satu manfaat utama sistem ini adalah menemukan dampak yang diinginkan dengan menerapkan aturan-aturan yang mendefinisikan percakapan kooperatif.

Misalnya: "tutup pintu" diartikan sebagai permintaan, bukan perintah.

Alur NLP

Alur NLP pada Gambar 12.5 adalah serangkaian proses yang diterapkan dalam NLP untuk menganalisis data teks. Proses ini biasanya melibatkan proses perayapan atau pengikisan di mana kata atau kalimat dalam teks dibagi menjadi bagian-bagian yang disebut token. Setelah itu, terdapat operasi-operasi seperti penandaan POS, pengakuan entitas bernama, dan penguraian sintaksis untuk menentukan kepentingan sintaksis dan semantik teks. Operasi terakhir ini dapat melibatkan analisis semantik dan interpretasi konteks dengan tujuan khusus untuk mendapatkan informasi dan pengetahuan dari teks. Ia juga mencegah banjir data dan membantu dalam menyortir dan menganalisis teks untuk mengambil informasi bermakna darinya.



Gambar 12.5 Alur NLP.

Aplikasi NLP

Berikut adalah aplikasi NLP:

- **Tanya Jawab:** Berkaitan dengan perancangan sistem yang dapat secara otomatis menghasilkan jawaban atas pertanyaan yang diajukan oleh orang-orang, dalam bahasa alami.
- **Analisis Sentimen:** Juga dikenal sebagai penambangan opini, sesuai istilahnya, digunakan di web untuk menentukan sikap dan keadaan emosional seseorang. Aplikasi ini memanfaatkan NLP dan pemrosesan statistik untuk menentukan skor (positif, negatif, atau netral) untuk teks dan suasana hati dari konteks teks tersebut (misalnya, suasana hati bahagia, suasana hati sedih, suasana hati marah, dan sebagainya).
- **Deteksi Spam:** Deteksi spam digunakan untuk mengenali dan memblokir email yang tidak diinginkan agar tidak masuk ke kotak masuk pengguna.
- **Terjemahan Mesin:** Digunakan untuk menerjemahkan ucapan atau teks dari satu bahasa ke bahasa lain.

Contoh: Google Translator

- **Koreksi Ejaan:** Perangkat lunak pengolah kata seperti Microsoft Word, PowerPoint, dan lainnya. yang ditawarkan oleh Microsoft Corporation memiliki fasilitas pemeriksa ejaan.
- **Pengenalan Ucapan:** Teknologi pengenalan suara digunakan untuk menangkap kata-kata lisan dan menerjemahkannya menjadi teks tertulis. Mereka menggunakannya dalam produk-produk seperti gawai seluler, otomatisasi rumah, teks video, konversi ucapan menjadi teks di Microsoft Word, pengenalan suara, identifikasi suara, kontrol suara, dan antarmuka suara, antara lain.
- **Chatbot:** Implementasi chatbot merupakan aplikasi utama NLP, yang banyak digunakan oleh perusahaan untuk menyediakan layanan obrolan pelanggan.
- **Ekstraksi Informasi:** NLP digunakan dalam ekstraksi informasi, yaitu proses perolehan data terstruktur dari dokumen yang dapat dibaca mesin, baik yang tidak terstruktur maupun semi-terstruktur.

NLP berbasis aplikasi dalam semua skenario layanan kesehatan cerdas:

Tabel 12.1 NLP Dalam Semua Skenario Layanan Kesehatan Cerdas.

<i>Nomor</i>	<i>Kategori</i>	<i>Subkategori</i>	<i>Aplikasi representatif</i>	<i>Teknik terkait</i>
1	Praktik klinis	Pengumpulan data dan komunikasi klinis	Dokumentasi klinis	Penerjemahan mesin
			Komunikasi pasien-penyedia layanan	Pengenalan ucapan
		Dukungan keputusan klinis	Membangun sistem pendukung keputusan klinis dengan informasi yang diekstraksi seperti riwayat keluarga, konsep data klinis, fitur, entitas, dan relasi	Jawab pertanyaan
			Membangun sistem pendukung keputusan klinis berbasis QA	Ekstraksi informasi
2	Manajemen rumah sakit	Alokasi sumber daya medis	Kontrol kualitas layanan kesehatan: menilai prosedur klinis, dan gejala penyakit	Ekstraksi informasi, inferensi kausal
			Memprediksi dan mengurangi tingkat readmisi	Ekstraksi informasi
			Membebaskan staf medis dari rutinitas menulis teks	Ekstraksi informasi
		Manajemen data	Triase pasien	Ekstraksi informasi
			Mengelola dokumen klinis	Pembuatan teks
3	Perawatan pribadi	Asisten kesehatan pribadi	Meningkatkan pengalaman pasien dan kualitas layanan	Pengambilan informasi dan tanya jawab
			Aktifkan layanan kesehatan jarak jauh	Pengenalan ucapan
			Akses informasi medis daring	Pengambilan informasi
			Interaksi sosial	Sintesis ucapan

4	Kesehatan masyarakat	Membantu penyandang disabilitas dan lansia	Bantuan harian	Pengenalan ucapan, pemahaman bahasa alami
			Bantu orang dengan gangguan pendengaran dan bicara	Sintesis ucapan, Pengenalan ucapan
		Populasi pengetahuan kesehatan	Mempermudah tindakan pengetahuan medis	Pengambilan informasi, penerjemahan mesin
			Representasi dan perolehan pengetahuan medis	Rekayasa pengetahuan
			Menghasilkan pertanyaan berdasarkan kasus medis	Pembuatan pertanyaan
		Penyaringan populasi	Menganalisis survei layanan kesehatan	Ekstraksi informasi
Mengidentifikasi populasi sasaran				
5	Pengembangan obat	Penemuan obat	Memetakan interaksi antara senyawa kimia, penyakit, dan biomakromolekul	Ekstraksi informasi, Pengambilan informasi, Rekayasa pengetahuan
			Penelitian klinis	Analisis uji klinis
		Desain uji klinis		
		Rekrutmen pasien		
		Penelitian praklinis	Prediksi efek samping dan prediksi toksisitas	Ekstraksi informasi
			Skrining obat	
Tinjauan dan pemantauan keamanan obat	Pemantauan keamanan obat dan penemuan obat	Ekstraksi informasi		

Peningkatan Praktik Klinis: NLP merupakan alat penting dalam penelitian klinis karena mengoptimalkan pengumpulan data dan interaksi pasien-dokter. Misalnya, NLP menerapkan pengenalan suara dan MT untuk memungkinkan transkripsi atau penerjemahan dokumentasi klinis yang presisi, apa pun bahasanya. Lebih lanjut, perangkat NLP sangat penting dalam merancang dan mengimplementasikan Sistem Pendukung Keputusan Klinis (CDSS) dengan mengidentifikasi dan mengevaluasi informasi klinis krusial seperti riwayat pasien dan gejala penyakit untuk membantu perawat dalam mengambil keputusan. Kemajuan ini membantu mengurangi waktu dan meningkatkan efisiensi proses klinis yang produktif.

Mengoptimalkan Manajemen Rumah Sakit: Untuk manajemen rumah sakit dalam hal sumber daya dan penanganan data, NLP secara terbuka diakui memiliki peran yang penting. Dengan menggunakan Ekstraksi Informasi, NLP juga dapat membantu dalam menentukan kemungkinan pasien kembali dirawat dan menyusun dokumentasi administratif yang jika tidak demikian akan menyita waktu berharga staf medis. Demikian pula, metode NLP lainnya seperti Pembuatan Teks menertibkan dokumen rekam medis yang begitu banyak sehingga semua orang dapat mengaksesnya dan manajemen data dapat ditingkatkan. Dalam hal sistem Pengambilan Informasi dan Tanya Jawab dalam NLP, kualitas layanan meningkat, dan pasien mendapatkan hasil yang cepat dan tepat yang juga memuaskan mereka.

Memberdayakan Perawatan Pribadi: Kemajuan besar dalam perawatan kesehatan pribadi dipelopori oleh teknologi NLP karena menyediakan akses jarak jauh dan membantu penyandang disabilitas. Dengan menerapkan Pengenalan Ucapan, pasien dapat berkomunikasi dengan pengasuh dan menerima perawatan berkelanjutan terlepas dari geografi dan lokasi di lingkungan sehari-hari. Lebih lanjut, NLP untuk sistem Pengambilan Informasi mendukung pasien yang mencari informasi medis di internet untuk prosedur perawatan mandiri dan membuat keputusan yang tepat. Bagi pengguna dengan gangguan pendengaran atau wicara, perangkat NLP seperti Sintesis Ucapan merupakan alat bantu komunikasi penting yang akan meningkatkan dan sangat berharga dalam meningkatkan kualitas hidup mereka.

Memajukan Inisiatif Kesehatan Masyarakat: NLP juga bersifat mobile dalam kesehatan masyarakat sebagaimana akan dibahas di bagian selanjutnya karena membantu dalam menyampaikan informasi medis dan skrining populasi. Alat Pengambilan Informasi dan Manajemen Obat (MT) membantu menyederhanakan pemahaman data medis yang sangat besar dan membuat pengetahuan lebih mudah dipahami oleh masyarakat luas, sementara teknik rekayasa pengetahuan secara efisien memfasilitasi pengorganisasian pengetahuan medis. Penggunaan NLP untuk mengembangkan pertanyaan berbasis kasus medis penting karena membantu masyarakat mendapatkan edukasi tentang kesehatan mereka dan anak-anak mereka. Selain itu, instrumen ekstraksi informasi membantu dalam analisis survei layanan kesehatan dan menentukan populasi target untuk berbagai inisiatif kesehatan masyarakat, dan dalam skala yang lebih luas meningkatkan hasil kesehatan.

Mempercepat Pengembangan Obat: NLP telah memengaruhi semua sektor; khususnya di industri farmasi, beberapa proses termasuk penemuan obat, penelitian klinis, dan pemantauan keamanan obat telah ditransformasikan olehnya. Interaksi antara senyawa kimia, penyakit, dan biomakromolekul memberikan target dan kandidat obat yang menjanjikan bagi peneliti penemuan obat melalui ekstraksi informasi dan alat rekayasa pengetahuan berbasis NLP.

Lebih lanjut, NLP memperkaya analisis uji klinis dengan menganalisis informasi penting dalam data uji, menyempurnakan desain uji, dan mendorong pendaftaran pasien. Singkatnya, NLP membantu dokter untuk dengan mudah mencegah efek samping dan toksisitas obat dalam investigasi praklinis sehingga meningkatkan perawatan yang lebih aman dan efektif. Yang terakhir namun tidak kalah pentingnya, alat NLP sangat penting untuk pengawasan pasca-pemasaran yang berkelanjutan terhadap efek samping dan untuk memastikan kepatuhan terhadap standar peraturan. Dengan bantuan NLP, beberapa bagian Tabel 12.1 layanan kesehatan mengalami perubahan yang signifikan. Dalam pengaturan klinis, NLP meningkatkan efisiensi akuisisi data dan komunikasi antara pasien dan dokter dengan mengubah kata-kata lisan menjadi teks secara akurat dan menerjemahkan catatan untuk penggunaan klinis, apa pun bahasa yang digunakan. NLP juga membantu Sistem Pendukung Keputusan Klinis (CDSS) dengan mengidentifikasi detail riwayat dan gejala pasien untuk membantu perawat membuat keputusan terbaik, mempercepat proses klinis sehingga menghemat waktu.

Untuk manajemen rumah sakit, NLP memaksimalkan penggunaan sumber daya dan mengelola sejumlah besar data. NLP membantu dalam memperkirakan penerimaan kembali

pasien, mengurangi beban dokumen, dan mengatur sejumlah besar data klinis menggunakan konten teks. Pencarian informasi dan kemampuan untuk menjawab pertanyaan meningkatkan kualitas layanan, memberikan hasil yang cepat dan tepat kepada pasien.

Dalam perawatan pribadi, NLP memberi pasien kemampuan untuk mengakses layanan kesehatan tanpa harus pergi ke fasilitas fisik dan membantu penyandang disabilitas. Aplikasi lain termasuk pengenalan suara di mana pasien dapat berinteraksi dengan perawat melalui perangkat, dan pengambilan informasi di mana pengguna mencari informasi medis di berbagai lokasi. Bagi penyandang disabilitas dengan gangguan pendengaran atau bicara, teknologi NLP seperti sintesis wicara merupakan alat komunikasi yang bermanfaat.

NLP juga berkontribusi terhadap promosi kesehatan dengan membantu mengidentifikasi populasi tertentu, mengomunikasikan informasi kesehatan, dan mengelola pengetahuan. Penerapan metode-metode di atas akan mencakup analisis survei layanan kesehatan, identifikasi populasi untuk survei, dan penerapan alat-alat seperti ekstraksi informasi dan MT dalam meningkatkan kesadaran akan kesehatan masyarakat.

Penerapan NLP (Gambar 12.6) mendobrak tugas-tugas konvensional dalam pengembangan obat, yang meliputi: penemuan obat, uji klinis, dan pemantauan keamanan obat, di antara yang lainnya. Melalui analisisnya tentang interaksi antara senyawa kimia, penyakit, dan biomakromolekul, NLP menawarkan bantuan yang signifikan bagi para ilmuwan dalam penemuan obat. NLP juga meningkatkan uji klinis melalui peningkatan uji coba desain, peningkatan rekrutmen pasien, dan keamanan pasca-pemasaran melalui evaluasi pra-klinis dan klinis. Secara keseluruhan, NLP berkontribusi secara efisien dalam meningkatkan pengembangan layanan kesehatan dan secara positif memengaruhi pengalaman pasien.

Gambar dibawah ini menguraikan aplikasi NLP dalam perawatan kesehatan, dikategorikan ke dalam lima area utama: praktik klinis, administrasi rumah sakit, perawatan pribadi, aktivitas/pendekatan kesehatan masyarakat, dan penemuan/pembuatan obat. Dalam praktik klinis, NLP membantu dalam akuisisi data klinis dan pengambilan keputusan klinis, di mana keputusan yang terinformasi dapat dibuat dari basis data rekam medis pasien yang besar. Dalam kasus manajemen rumah sakit, NLP diimplementasikan untuk meningkatkan kepegawaian dalam alokasi sumber daya, manajemen persediaan dalam dukungan layanan, dan interaksi pasien dalam bentuk otomatisasi yang meningkatkan efisiensi operasional. Di bidang perawatan pribadi, NLP menyediakan telemedicine untuk pasien dan mendukung penyandang disabilitas melalui perangkat dan alat yang diaktifkan dengan suara. Inisiatif Kesehatan Masyarakat: Penyebaran Pengetahuan dan Pendidikan Kesehatan Masyarakat adalah aplikasi NLP, yang membuat informasi tersedia untuk publik sehingga kampanye yang sehat tentang penyakit didorong.



Gambar 12.6 NLP Dalam Semua Skenario Layanan Kesehatan Cerdas.

Lebih lanjut, dalam Pengembangan Obat, NLP wk1/core2 NLP meningkatkan Penemuan Obat melalui penambangan teks literatur dan Uji Klinis melalui identifikasi partisipan dan manajemen data. Bersama-sama, semua aplikasi ini menunjukkan bagaimana NLP praktis merevolusi industri perawatan kesehatan dengan mengotomatiskan proses, meningkatkan sistem pengambilan keputusan, dan menyediakan perawatan pasien yang lebih terfokus sehingga sistem perawatan kesehatan menjadi efisien, mudah diakses, dan lebih berbasis data.

NLP Mendukung Industri Perawatan Kesehatan

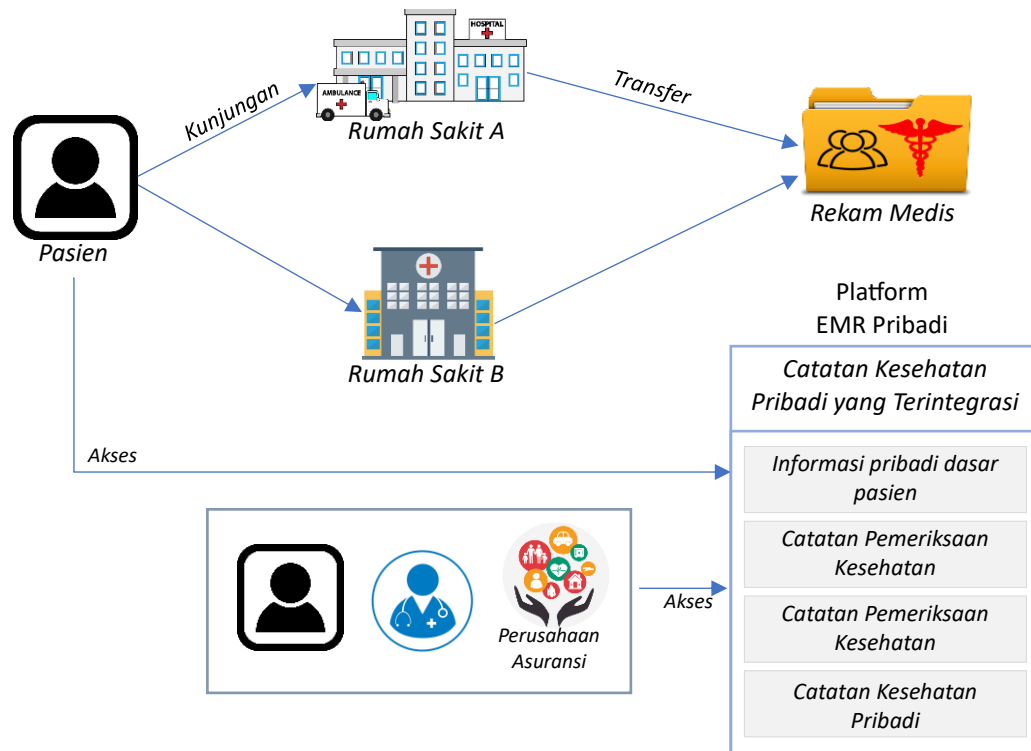
Meningkatkan Dokumentasi Klinis: Alih-alih memilah-milah EHR yang kompleks secara manual, NLP menggunakan dikte ucapan ke teks dengan entri data yang diformulasikan untuk mengekstrak data dari EHR di POC. Hal ini juga memungkinkan dokter untuk lebih berpusat pada pasien saat merawat pasien. Hal ini juga menjamin dokumentasi klinis yang komprehensif dan terkini.

Mempercepat Pencocokan Uji Klinis: Dengan NLP, Cerner dapat secara otomatis menyisir ribuan halaman data klinis dan pasien dalam format tidak terstruktur ini dan menandai individu yang berpotensi memenuhi syarat untuk uji klinis. Hal ini juga memungkinkan pasien untuk mendapatkan perawatan yang dapat mengubah kondisi mereka dari penyakit kronis menjadi gaya hidup yang sehat dan lebih baik, sekaligus mendorong terapi dan prosedur baru di dunia medis.

Mendukung Keputusan Klinis: Oleh karena itu, NLP memungkinkan dokter untuk mengakses informasi terkait kesehatan pada waktu yang tepat tanpa banyak penundaan, sehingga memudahkan mereka dalam membuat keputusan yang tepat di titik perawatan.

Rekam Medis Elektronik (Gambar 12.7) merupakan padanan elektronik dari rekam medis berbasis kertas dan juga disebut rekam medis elektronik terintegrasi (IEMR). Tujuannya adalah agar EHR sesuai dengan struktur standar tertentu agar dokter dapat bertukar informasi

pasien. Baik pasien maupun penyedia layanan kesehatan menggunakan format standar untuk meningkatkan tujuan mencapai kemudahan transportasi dan interoperabilitas dalam konteks rekam medis elektronik.



Gambar 12.7 Alur Integrasi EMR Dan Rekam Medis Pasien

EHR diagnostik yang berpusat pada pasien menyimpan rekam medis, mengelola rencana perawatan, mencatat resep, menampilkan gambar hasil tes, rekam medis, kartu imunitas, dan reaksi terhadap beberapa produk. Namun, apa gunanya EHR bagi organisasi manajemen jika tidak dapat menjangkau sistem lain? Ketika interoperabilitas berfungsi optimal, perangkat lunak EHR memungkinkan konsumen untuk memantau perkembangan perawatan pasien melalui beberapa perawat dan spesialis, orang-orang yang berkepentingan dengan gambaran yang lebih luas tentang kebutuhan pasien serta visi tunggal tentang rekam medis pasien di masa mendatang.

12.3 APLIKASI NLP UTAMA DI SEKTOR KESEHATAN

Aplikasi NLP (Gambar 12.8) di sektor kesehatan dirinci di bagian ini.

- **Peningkatan Dokumentasi Klinis (CDI):** CDI menghargai algoritma NLP terutama dalam proses penggalian informasi penting dari dokumen klinis, laporan, dan teks tidak terstruktur, dan bergantung pada kebutuhan organisasi, CDSS menggunakan program perangkat lunak khusus tertentu yang membantu meminimalkan inkonsistensi dan meningkatkan perawatan pasien.
- **Sistem Pendukung Keputusan Klinis (CDSS):** CDSS menggunakan sistem cerdas berbasis NLP untuk membantu dokter dalam pengambilan keputusan dengan

menganalisis data pasien, catatan klinik, dan parameter praktik klinis. CDSS membantu dalam identifikasi penyakit yang disebabkan oleh faktor genetik, evaluasi interaksi obat, dan prognosis efek samping, selain program rejimen obat.

- **Ekstraksi Informasi Kesehatan:** NLP dalam hal ini memfasilitasi pengelolaan data teks bebas yang biasanya terdapat dalam laporan EHR, radiologi, dan patologi. Informasi terstruktur ini kemudian dapat digunakan untuk meningkatkan intervensi kesehatan populasi, studi pengendalian penyakit, dan penelitian klinis.
- **Pengenalan Ucapan:** Penggunaan panggilan NLP telah berkembang pesat selama bertahun-tahun dalam meningkatkan pengenalan ucapan pada teknologi seperti transkripsi catatan untuk membantu dokter memasukkan data ke dalam EHR. Contoh nyata pengenalan ucapan front-end dalam spesialisasi AMHI adalah bagaimana hal itu memungkinkan dokter untuk mendiktekan catatan alih-alih mengetiknya di titik perawatan, sementara teknologi back-end digunakan untuk mengidentifikasi dan mengedit ulang kesalahan transkripsi percobaan sebelum data ditinjau oleh manusia.
- Meskipun pasar untuk teknologi pengenalan ucapan sudah hampir sepenuhnya berkembang, beberapa perusahaan rintisan sedang bereksperimen dengan penggunaan algoritma pembelajaran mendalam dalam aplikasi penambangan, sehingga membuka perspektif baru yang hampir tak terbatas.
- **Penemuan dan Pengembangan Obat:** Penerapan NLP memungkinkan analisis literatur, paten, dan uji klinis yang tersedia untuk menentukan target peningkatan proses penemuan obat dan identifikasi potensi interaksi antar obat. NLP dapat membantu orang mengonsumsi obat-obatan dan perawatan lain yang lebih canggih untuk berbagai penyakit dengan efisiensi tinggi.
- **Pengodean Berbantuan Komputer (CAC):** Salah satu aplikasi NLP yang paling populer dalam layanan kesehatan adalah pengodean berbantuan komputer (CAC). Klaim dioptimalkan sehingga CAC mengumpulkan data dari prosedur dan perawatan untuk menentukan kode terbaik yang akan digunakan. Meskipun CAC dipandang sebagai teknik penting untuk meningkatkan kecepatan pengodean, tingkat penggunaannya relatif rendah dan hanya 30 persen; teknik ini sarat dengan masalah terkait akurasi.
- **Pengodean Klinis dan Otomatisasi Penagihan:** NLP dapat memberikan informasi yang akurat tentang diagnosis, perawatan, dan layanan jika diekstraksi dari dokumen klinis. NLP dapat mendukung semua proses manajemen dalam siklus pendapatan, meminimalkan terjadinya kesalahan penagihan, dan menjamin penggantian biaya yang tepat.
- **Penerjemahan dan Interpretasi Bahasa:** Penerjemah bahasa yang didukung oleh NLP memfasilitasi kebutuhan komunikasi dokter dan tim layanan kesehatan lainnya dengan pasien mereka, atau mereka yang berasal dari negara-negara yang tidak berbahasa Inggris. Teknologi ini menjamin penyediaan layanan kesehatan yang non-diskriminatif dan meningkatkan interaksi antara tenaga kesehatan dan klien.
- **Chatbot AI dan Juru Tulis Virtual:** Saat ini belum ada aplikasi yang memenuhi persyaratan ini, tetapi terdapat peluang yang cukup besar untuk mengadopsi aplikasi

pengenalan suara dalam dokumentasi klinis. Untuk tujuan ini, alat yang ideal adalah asisten seperti Amazon Alexa atau Google Assistant. Microsoft dan Google terlibat dalam upaya ini, dan Amazon serta IBM diperkirakan akan segera terlibat juga.

Chabot dan asisten pribadi virtual hampir tidak terlihat di lanskap digital saat ini, terutama di sektor kesehatan. Pembantu tersebut sekarang dapat mengambil data tentang gejala dan merujuk pasien ke pengasuh yang relevan. Terlihat bahwa banyak startup mengubah model bisnis mereka, misalnya, BRIGHT. MD telah menciptakan chatbot spesifik dan khusus seperti itu, misalnya, Smart Exam bertindak sebagai asisten virtual untuk dokter; menggunakan NLP percakapan untuk memperoleh data kesehatan pengguna dan membandingkannya dengan praktik terbaik sambil menyarankan kemungkinan diagnosis untuk aplikasi oleh dokter. Sejumlah dari mereka memungkinkan untuk melacak pendapat pelanggan dalam bentuk ulasan, membantu dokter memahami bagaimana masalah perawatan mereka dibahas, dalam bahasa yang sama. Itu juga dapat merujuk pada sikap pelanggan melalui kata-kata positif dan negatif yang digunakan oleh pelanggan dalam ulasan.

Peningkatan Dokumentasi Klinis (CDI)	NLP meningkatkan dokumentasi klinis dan perawatan pasien.
Sistem Pendukung Keputusan Klinis (CDSS)	CDSS berbasis NLP membantu pengambilan keputusan dokter.
Ekstraksi Informasi Kesehatan	NLP menyusun data EHR untuk peningkatan perawatan kesehatan.
Pengenalan Ucapan	NLP memajukan pengenalan ucapan dalam perawatan kesehatan.
Penemuan dan Pengembangan Obat	CDSS berbasis NLP membantu pengambilan keputusan dokter.
Pengkodean Berbantuan Komputer (CAC)	NLP menyusun data EHR untuk peningkatan perawatan kesehatan.
Pengkodean Klinis dan Otomatisasi Penagihan	NLP meningkatkan akurasi dalam penagihan perawatan kesehatan.
Terjemahan dan Interpretasi Bahasa	Terjemahan NLP menjembatani kesenjangan bahasa dalam perawatan kesehatan.
Chatbot AI dan Juru Tulis Virtual	Pengenalan ucapan dan chatbot memajukan perawatan kesehatan.

Gambar 12.8 Aplikasi NLP Dalam Layanan Kesehatan.

Gambar ini menunjukkan bahwa NLP memiliki beragam kegunaan dalam sistem layanan kesehatan, yang semuanya bertujuan untuk meningkatkan pemberian layanan pasien, cara mengelola informasi kesehatan dalam jumlah besar, dan proses klinis. Peningkatan Dokumentasi Klinis (CDI) dan Ekstraksi Informasi Kesehatan adalah metode yang memanfaatkan NLP untuk memperkenalkan struktur dan meningkatkan efisiensi Rekam Medis Elektronik (RME) yang terstruktur. Alat terkomputerisasi membantu diagnosis dan perawatan

serta pencarian obat, karena NLP membantu dokter membuat keputusan yang lebih baik dan mempersingkat waktu yang dibutuhkan untuk menemukan obat baru.

Ucapan ke teks dan Chatbot AI memfasilitasi interaksi dan bantuan organisasi di bidang layanan kesehatan dengan meningkatkan efisiensi data dalam hal bahasa lisan. Otomatisasi Pengodean dan Penagihan Klinis serta Pengodean Asisten Terkomputerisasi (CAC) menggabungkan konsep NLP sebagai cara untuk mengotomatiskan penagihan dan pengodean dengan cara yang menghilangkan pemalsuan laporan. Terakhir, Penerjemahan dan Interpretasi Bahasa (Language Translation and Interpretation) membantu mengatasi hambatan bahasa, sementara teknologi canggih seperti Virtual Scribe meningkatkan keterlibatan pasien serta dokumentasi yang meningkatkan lanskap pendukung keseluruhan dalam tatanan layanan kesehatan.

Tantangan NLP dalam Layanan Kesehatan

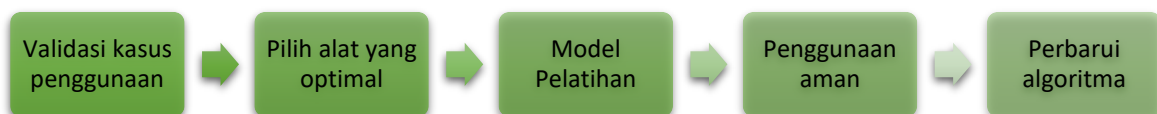
Model NLP saat ini dilatih dengan lebih banyak data daripada sebelumnya, tetapi ketika menerapkan solusi ini dalam layanan kesehatan, peneliti dan pengembang perangkat lunak di institusi medis harus mengatasi beberapa keterbatasan utama:

- **Privasi dan Keamanan Data:** Data pasien bersifat sensitif, sehingga melindungi informasi pasien sangatlah penting. Aturan dan pedoman, seperti HIPAA, juga penting untuk menjaga data dan kepercayaan pasien dari peretas.
- **Kualitas dan Standardisasi Data:** Data medis pada dasarnya tidak terstruktur dan hadir dalam berbagai bentuk, bahkan terminologi yang berbeda. Hal ini dapat menyebabkan masalah dalam pemrosesan dan analisis data, sehingga penting untuk melakukan pra-pemrosesan data guna menciptakan keseragaman agar penggunaan NLP yang baik dapat berjalan dengan baik.
- **Bahasa Khusus Domain:** Istilah, simbol, singkatan, dan singkatan medis khusus selalu digunakan dalam makna medis yang sangat berbeda dengan makna dalam bahasa umum. Setiap sistem NLP yang diterapkan pada Sistem Informasi Akademik (LIS) perlu dilatih untuk menangani jenis bahasa ini dengan tepat.
- **Pemahaman Konteks:** Data medis pada dasarnya bersifat noise, serta seringkali sensitif terhadap konteks, yang menambah tantangan bagi sistem yang memprosesnya.
- **Data Beranotasi Terbatas:** Seringkali terdapat kekurangan dataset berlabel berkualitas tinggi untuk melatih model NLP di bidang kesehatan. Hal ini merupakan keterbatasan penting karena membatasi terciptanya model yang lebih baik yang dapat belajar dengan baik dari beragam konteks kesehatan.
- **Integrasi dengan Sistem yang Ada:** Menghubungkan teknologi NLP dengan elemen lain dari sistem informasi kesehatan dimungkinkan. Namun, hal ini menjadi masalah karena beberapa HCIS memiliki arsitektur yang rumit. Mengintegrasikan interoperabilitas di berbagai sistem atau komponen harus memastikan bahwa hal tersebut tidak memengaruhi alur kerja atau integritas data.
- **Pengambilan Keputusan Klinis:** Aplikasi NLP yang akan digunakan untuk membuat keputusan klinis harus dapat dijelaskan. Agar dokter dapat mengadopsi rekomendasi yang ditawarkan oleh sistem ini, hasil model harus lebih dapat dijelaskan.

Praktik Terbaik Implementasi NLP untuk Layanan Kesehatan

Gambar 12.9 mengilustrasikan praktik terbaik untuk mengimplementasikan NLP dalam layanan kesehatan.

- **Tentukan kasus penggunaan Anda:** Pikirkan juga apa yang seharusnya dicapai oleh alat NLP ini dan tujuan apa yang akan Anda capai dengan bantuannya. Ini akan memungkinkan Anda untuk menjelaskan serangkaian karakteristik yang harus dimiliki oleh solusi NLP.
- **Dapatkan alat NLP:** Alat ini dapat dibeli langsung. Alat ini merupakan produk lokal dan juga dapat dikembangkan secara khusus dengan bantuan perusahaan pengembang perangkat lunak AI outsourcing. Salah satunya adalah pertanyaan tentang jenis pekerjaan yang akan Anda lakukan dan struktur apa pun yang ada dalam bidang usaha ini. Anda harus mencari alat yang dapat dikonfigurasi ulang agar sesuai dengan perangkat lunak Anda jika ada; jika tidak, carilah alat yang dapat diperluas untuk memenuhi kebutuhan perangkat lunak operasional Anda, dan dapat disesuaikan agar sesuai dengan sikap dan prosedur kerja saat ini dan yang terus berkembang.
- **Latih model NLP:** Gali informasi relevan yang Anda butuhkan berdasarkan kebutuhan Anda dan kembangkan set data pelatihan Anda berdasarkan hal tersebut.
- **Pastikan kepatuhan terhadap peraturan:** Namun, setiap industri di bidang kesehatan diatur oleh berbagai undang-undang dan peraturan seperti HIPAA, GDPR, dan undang-undang lain di suatu negara. Pastikan solusi NLP yang dipilih memenuhi parameter GDPR dan norma serta peraturan keamanan lainnya yang berlaku.
- **Perbarui algoritma NLP secara berkala:** Namun, seiring semakin banyaknya perubahan yang terjadi pada sistem HC, model dan algoritma NLP itu sendiri perlu dipantau dan disetel. Pastikan hasil yang diperoleh dengan MLP diterapkan pada kasus yang diteliti dan lakukan modifikasi jika perlu.



Gambar 12.9 Tantangan NLP Dalam Layanan Kesehatan.

Gambar 12.9 menunjukkan pendekatan linear untuk menerapkan dan mempertahankan model pembelajaran mesin atau AI. Prosesnya dimulai dengan validasi kasus penggunaan untuk relevansi dan penerapannya terhadap tujuan yang diinginkan. Langkah ketiga adalah memilih alat yang optimal dengan kinerja dan skalabilitas tertinggi dengan antarmuka yang paling sederhana. Model yang dipilih kemudian dilatih berdasarkan data relevansi sehingga hasilnya memberikan hasil yang tepat. Setelah ini, aspek penggunaan dipertimbangkan karena hal ini membuktikan praktik model tersebut dengan langkah-langkah tertentu yang harus diterapkan untuk menjaga etika penggunaan model. Terakhir, terdapat tahap modifikasi algoritma berdasarkan peningkatan yang diperoleh, perubahan pola data,

atau kekurangan spesifik yang disebutkan, untuk menjamin efisiensi model di masa mendatang.

12.4 KESIMPULAN

NLP memiliki masa depan yang cerah dalam layanan kesehatan, dengan area fokus utama meliputi peningkatan keamanan data, integrasi dengan bidang lain seperti pembelajaran mesin, dan penggunaan AI secara etis untuk perawatan dan pengambilan keputusan pasien yang lebih baik. Berfokus pada solusi yang dapat diimplementasikan kembali dalam skala besar dan digunakan untuk mendukung aktivitas diagnostik waktu nyata akan meningkatkan perawatan. Ketika tantangan ini diatasi, NLP dapat merevolusi industri layanan kesehatan dengan menyediakan solusi yang lebih efisien, personal, dan aman bagi sistem. Oleh karena itu, bab ini bertujuan untuk mendefinisikan dampak tren baru NLP di bidang medis. Berangkat dari PHI (Informasi Kesehatan yang Dilindungi) dan menghormati kardinalitas, sudah saatnya untuk meningkatkan taruhan lebih lanjut terkait perlindungan informasi layanan kesehatan dalam hal keamanan data dan privasi. Isu-isu lain juga muncul akibat NLP dalam sistem yang ada, dan hal ini menunjukkan bahwa hal itu harus dilakukan secara bertahap dan dengan konsensus. Kekhawatiran etika meningkatkan kesadaran akan kewajiban sosial terkait keadilan, akuntabilitas, dan kontingensi dalam penggunaan AI dalam sistem layanan kesehatan. Di sisi lain, diasumsikan bahwa NLP akan menunjukkan pertumbuhan yang relatif radikal dalam beberapa tahun ke depan dalam aplikasi medis. Hal ini menunjukkan bagaimana masa depan alternatif akan dibangun melalui pengembangan bidang teknologi lebih lanjut seperti teknik pembelajaran mesin, interdisipliner, dan teknologi bergengsi lainnya. Sebagaimana yang coba dirangkum dalam bab ini, NLP masih terus berkembang, dan prospeknya untuk membantu memajukan SHA (Badan Kesehatan Negara Bagian) sekaligus meningkatkan diagnostik dan hasil pasien merupakan suatu kemungkinan.

BAB 13

PERAN ANALISIS SENTIMEN DALAM KESEJAHTERAAN PANTI JOMPO

13.1 SIGNIFIKANSI ANALISIS SENTIMEN DALAM PANTI JOMPO 5.0

Penyedia layanan kesehatan terus mencari metode untuk meningkatkan pendapatan karena sifat layanan kesehatan yang terus berkembang dalam hal kepuasan dan pengalaman pasien. Lebih dari segalanya, mereka ingin membangun hubungan baik dengan pasien mereka dan ingin mendapatkan keunggulan kompetitif dibandingkan para pesaing mereka di pasar.

Analisis sentimen digunakan dalam bidang medis untuk mengukur perasaan pasien tentang pengalaman mereka menerima perawatan dan pengobatan serta layanan yang ingin mereka terima. Penambangan data digunakan untuk mengidentifikasi keyakinan, sikap, dan perasaan berdasarkan apa yang dikatakan dan dirasakan pasien tentang subjek tertentu. Metode ini mengidentifikasi data umpan balik pasien secara keseluruhan berdasarkan polaritas (netral, negatif, atau positif) serta emosi dan suasana hati (sedih, gembira, marah, dan lainnya.) menggunakan teknik terbaru.

1. Polaritas suasana hati (positif, negatif, atau netral)
2. Emosi (senang, sedih, marah, dan lainnya.)
3. Rencana (apakah mereka tertarik)

Untuk menilai umpan balik pasien secara efektif dan menentukan efektivitas praktik mereka serta potensi peningkatannya, praktik pelayanan kesehatan harus terlebih dahulu memeriksa sentimen, emosi, sikap, dan disposisi yang dialami pasien terkait layanan kesehatan yang mereka terima.

Signifikansi Analisis Sentimen di Bidang Medis

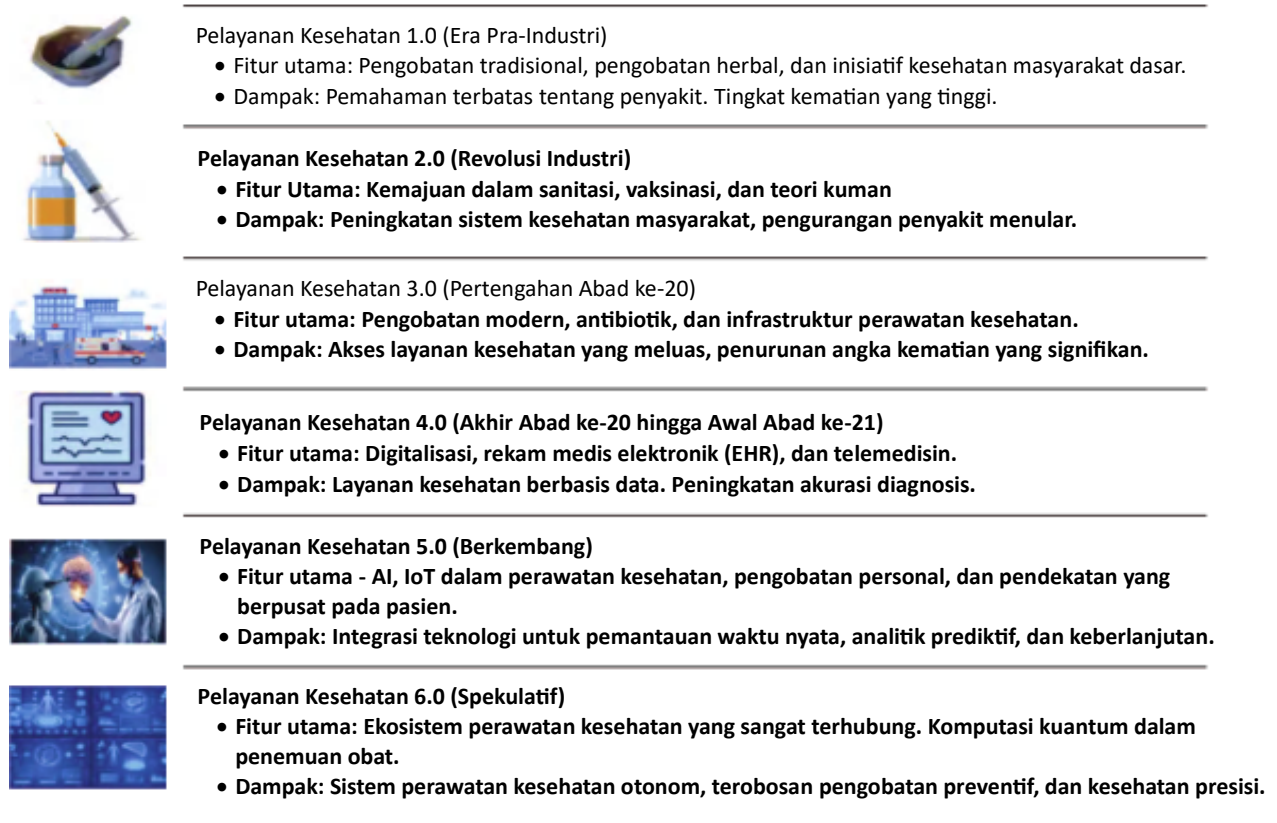
Para profesional layanan kesehatan dapat dengan cepat mengevaluasi kekuatan dan kekurangan praktik mereka dengan bantuan alat analisis sentimen, dan hasilnya dapat diterjemahkan menjadi wawasan bermanfaat yang akan meningkatkan kepuasan dan pengalaman pasien.

Dalam bidang layanan kesehatan, analisis sentimen memiliki dua aplikasi utama. Pertama, analisis sentimen membantu praktisi layanan kesehatan dalam menentukan kekuatan dan peluang pengembangan mereka. Kategori-kategori ini dapat dikategorikan berdasarkan departemen, dokter, profesional, atau faktor lainnya.

Manfaat kedua adalah analisis sentimen memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang perasaan pasien terhadap berbagai aspek fasilitas medis. Akan jelas bahwa operasional dan pengalaman dapat ditingkatkan dengan mendengarkan pernyataan seperti "kami menunggu lama," "dokter datang terlambat," "ada keterlambatan dalam pengiriman laporan medis," dan lainnya. Selain itu, menilai staf Anda berdasarkan umpan balik yang mereka terima dapat mendorong mereka untuk bekerja lebih produktif.

Gambar 13.1 menunjukkan skema perkembangan revolusi layanan kesehatan hingga saat ini. Di setiap era, banyak terobosan dan kemajuan yang berdampak pada layanan kesehatan masyarakat. Awal mula Healthcare 6.0 telah menjadi bahan spekulasi dan pemikiran

sejak Healthcare 5.0. Situasi saat ini menunjukkan bahwa Healthcare 5.0 masih dalam tahap pengembangan.



Gambar 13.1 Proses Dalam Revolusi Layanan Kesehatan.

Teknik Pemrosesan Bahasa Alami (NLP) dalam Analisis Sentimen

Sistem analisis sentimen kini dapat mempertimbangkan konteks dan seluk-beluk bahasa berkat pendekatan NLP, yang meningkatkan akurasi kategorisasi sentimen. Untuk menentukan sentimen yang mendasari suatu teks, analisis sentimen menggabungkan NLP, analisis teks, linguistik komputasional, dan biometrik. Akibatnya, analisis sentimen sering disebut sebagai deteksi sentimen atau penambangan opini. Analisis sentimen dari teknik NLP memberikan komentar perseptif tentang produk, layanan, atau merek dan mengkategorikan opini sebagai netral, negatif, atau positif. Karena menggunakan berbagai teknik, seperti Naive Bayes, Support Vector Machines (SVM), dan Recurrent Neural Networks (RNN), untuk membantu memahami sentimen umum dan nada emosional yang diungkapkan dalam teks, analisis ini merupakan alat penting untuk intelijen bisnis dan pengambilan keputusan. Di sektor layanan kesehatan, analisis sentimen dapat digunakan untuk memahami pengalaman dan sudut pandang pasien tentang dokter, rumah sakit, dan terapi.

Praktisi kesehatan mental memiliki peluang besar untuk menambang data teks daring dan menemukan gejala yang dapat mengarah pada berbagai masalah kesehatan mental berkat analisis sentimen dan NLP.

Pendekatan Pembelajaran Mesin untuk Klasifikasi Sentimen

Cabang khusus pembelajaran mesin (ML) dan NLP, analisis sentimen (SA) memeriksa teks menggunakan berbagai metode dan algoritma. Alur kerja ML standar, dimulai dengan pengumpulan data dan prapemrosesan untuk memastikan input bersih dan terorganisir, yang terdiri dari banyak proses krusial. Setelah mengidentifikasi karakteristik terkait melalui ekstraksi fitur, data berlabel atau tidak berlabel digunakan untuk melatih model ML. Sebelum digunakan dalam skenario dunia nyata, model yang telah dilatih terakhir dinilai untuk menjamin kebenaran dan keandalannya. Alur kerja yang terorganisir dengan baik ini menekankan betapa pentingnya setiap tahap untuk mendapatkan kategorisasi emosi yang akurat. Berikut adalah beberapa pendekatan umum:

Pendekatan Berbasis Leksikon: Menggunakan daftar frasa yang telah ditentukan sebelumnya dengan skor sentimen yang sesuai, pendekatan ini menganalisis sentimen teks. Kekuatan sentimen setiap kata dalam leksikon menentukan skornya. Peringkat ini dijumlahkan untuk menghitung emosi keseluruhan teks. Pendekatan berbasis leksikon mudah diimplementasikan dan menggunakan lebih sedikit data pelatihan, tetapi karena mengabaikan hubungan kata dan konteks, pendekatan ini mungkin kurang akurat.

Pendekatan Pembelajaran Mesin: Kemampuan teknik pembelajaran mesin (ML) untuk belajar dari kumpulan data besar telah menjadikannya menarik untuk analisis sentimen. Pendekatan ini terdiri dari:

- *Pembelajaran Terbimbing:* Kumpulan data berlabel dengan label sentimen yang dilampirkan ke teks masukan digunakan untuk melatih model. Model dapat mengklasifikasikan materi baru yang tidak berlabel dan belajar mengidentifikasi pola.
- *Pembelajaran Tak Terbimbing:* Tanpa masukan berlabel, model dapat menemukan pola dan struktur dalam data, yang berguna untuk mengorganisasikan dokumen atau ide terkait.

Untuk tugas-tugas seperti analisis sentimen, NLP, dan pengenalan suara, pembelajaran mendalam menggunakan jaringan saraf tiruan berlapis yang dapat mengenali pola rumit dalam data.

13.2 METODE PENGUMPULAN DAN ANALISIS DATA

Sensor, gawai, dan interaksi pengguna digunakan di panti wreda pintar untuk mengumpulkan data secara real-time mengenai pola perilaku, emosi, dan kepuasan. Dengan menggunakan metode inovatif, berbagai sumber data—termasuk teks, audio, dan sinyal fisik—diperiksa untuk mendapatkan informasi yang mendalam. Teknik-teknik ini membantu dalam memahami dan meningkatkan rutinitas dan pengalaman sehari-hari para penghuni.

Memantau Kebahagiaan dan Emosi Penghuni Secara Real-Time

Panti wreda pintar dapat mengumpulkan data dengan berbagai cara. Berikut poin-poin utamanya:

- **Sensor dan Perangkat:** Panti wreda pintar menggunakan sensor dan perangkat untuk memantau proses fisik dan fisiologis, mengukur aktivitas, dan mengirimkan peringatan secara real-time.

- **Interaksi Pengguna:** Data dikumpulkan ketika pengguna berinteraksi dengan teknologi pintar, seperti layanan yang diaktifkan suara dan perangkat pintar.
- **Pola Perilaku:** Informasi tentang perilaku penghuni dikumpulkan untuk memprediksi dan mendukung aktivitas sehari-hari mereka.
- **Metode Penelitian:** Untuk lebih memahami kebutuhan dan pengalaman lansia di lingkungan cerdas, penelitian sering kali menggunakan survei, wawancara, dan studi pendahuluan.

Sumber Data Multimoda (Teks, Suara, Sinyal Fisiologis)

Data multimoda mencakup berbagai jenis informasi seperti teks, gambar, audio, video, angka, grafik, linimasa, hubungan, dan kategori. Dengan kemajuan dalam jejaring sosial, kemampuan penyimpanan, pencitraan elektronik, dan perangkat video, jumlah data ini telah meningkat secara signifikan. Data ini kini dapat dianalisis untuk menemukan pola, hubungan, atau untuk mendapatkan pengetahuan baru. Sejumlah besar data disimpan di berbagai bidang, termasuk perpustakaan digital, arsip gambar, bioinformatika (studi data biologis), pencitraan medis, layanan kesehatan, keuangan dan investasi, manufaktur, bisnis dan pemasaran, telekomunikasi, penelitian ilmiah, dan World Wide Web. Namun, data mentah ini tidak langsung berguna. Data tersebut perlu diproses melalui penambangan data untuk mengekstrak informasi yang berharga. Hal ini dapat dilakukan melalui metode seperti klasifikasi, regresi, pengelompokan, peringkasan, pengambilan gambar, dan penemuan aturan asosiasi.

Ada beberapa kelemahan dalam pengumpulan data, seperti risiko keamanan dan kebutuhan akan ruang penyimpanan yang besar.

Data Tekstual: Teks adalah salah satu jenis data multimoda yang paling umum, sering digunakan sebagai bentuk komunikasi utama melalui obrolan internal, email, perpustakaan digital, dan publikasi elektronik. Penambangan teks adalah proses mendapatkan wawasan berharga dari materi tekstual dan memungkinkan algoritma penambangan data untuk mengaksesnya.

Ulasan produk, ulasan film, tweet, dan komentar tentang berbagai subjek adalah contoh data tekstual yang dapat digunakan untuk penambangan teks. Misalnya, analisis sentimen dilakukan pada ulasan produk seluler berbahasa Kannada. Dengan nada yang sama, teknik pemilihan fitur digunakan untuk menentukan polaritas sentimen dalam analisis ulasan hotel daring. Teknik pembelajaran mesin (ML) digunakan untuk mengidentifikasi polaritas sentimen dalam ulasan film dari situs web seperti IMDB. Selain itu, polaritas sentimen diidentifikasi dalam pesan teks singkat dengan mengekstrak tweet dari Twitter.

Data Citra: Citra merupakan jenis data multimoda penting lainnya. Sumber utama data jenis ini adalah World Wide Web, yang memiliki koleksi citra yang sangat besar di samping jenis data lainnya. Informasi asli menjadi lebih bernilai ketika data citra diubah menjadi abstraksi tingkat tinggi yang lebih mudah dipahami secara analitis.

Penambangan citra adalah proses mengidentifikasi pola, korelasi, atau pengetahuan implisit dalam citra yang tidak tersimpan secara eksplisit di sana. Pengenalan pola, pemrosesan citra, pengambilan citra, penambangan data, dan pembelajaran mesin (ML) adalah beberapa

metode yang digunakan untuk melakukan hal ini. Citra dari Flickr, Instagram, dan Twitter adalah beberapa contoh data visual jenis ini. Misalnya, untuk melakukan analisis sentimen menggunakan berbagai pengklasifikasi, para peneliti masing-masing menggunakan citra Flickr, studi kasus, dan tantangan identifikasi objek ImageNet 1000 kelas.

Data Audio: Proses pencarian dan analisis berkas audio dengan mengumpulkan informasi dari kata atau frasa lisan dikenal sebagai penambangan audio. Biasanya, pendekatan ini melibatkan penyimpanan berkas audio dalam basis data dan kemudian menelusuri kumpulan data yang luas dan beragam untuk informasi tertentu, seperti kata kunci. Dengan mengidentifikasi kata kunci yang relevan berdasarkan seberapa sering kemunculannya dalam bahasa lisan, informasi mendalam dapat diekstraksi dari rekaman ucapan dalam jumlah besar.

Data ucapan adalah nama lain untuk data audio, yang berisi bahasa lisan manusia. Siaran web, diskusi, musik, rapat, pesan suara, kuliah, televisi, dan radio hanyalah beberapa platform tempat data ini dapat diperoleh. Beberapa peneliti telah berfokus pada analisis sentimen menggunakan data audio dari basis data seperti EMODB, IEMOCAP, FAU AIBO, Multiple Features Database (MFD), dan ulasan lisan yang dikumpulkan secara manual.

Data Video: Biasanya, data video terdiri dari campuran beberapa komponen, termasuk teks, gambar, musik, grafik, dan metadata. Aplikasi seperti keamanan dan pengawasan, hiburan, layanan kesehatan, pendidikan, dan olahraga semuanya memanfaatkannya secara ekstensif. Penambangan data video adalah proses penyimpanan data video dalam jumlah besar dalam basis data, yang kemudian bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi pola-pola yang berharga. Komunitas riset penambangan data sangat menekankan topik ini.

Data tak terstruktur juga mencakup sejumlah besar data video. Berkas dan aliran video berukuran besar memerlukan beragam metode untuk melacak, mengevaluasi, dan mengekstrak data yang bermanfaat. Kamera CCTV dan video YouTube merupakan sumber data video yang umum. Pendekatan manajemen basis data video hierarkis disajikan dalam Ref., di mana semantik video digunakan untuk membuat indeks basis data. Untuk memfasilitasi representasi video, pengindeksan, dan akses data yang efektif, model ini membagi konten video menjadi beberapa bagian yang mudah dikelola, termasuk wilayah, objek, bingkai, kluster, dan subkluster. Saat mengevaluasi emosi manusia, gerakan tubuh merupakan metode ekspresi penting lainnya. Gerakan tubuh yang terekam dalam video dapat digunakan untuk menyimpulkan emosi. Misalnya, tingkat keterlibatan anak-anak dievaluasi dengan mengekstrak data postur dan gerakan dari film yang menampilkan permainan catur dengan robot. Mereka mampu memprediksi interaksi dengan robot dengan akurasi 82,2% dengan melatih algoritma pengenalan pada ekspresi postur ini.

Dengan cara yang sama, rekaman video bahasa tubuh dan ekspresi wajah digunakan untuk mengidentifikasi emosi siswa dan menawarkan dukungan emosional yang disesuaikan dalam lingkungan belajar. Saat siswa mengerjakan tugas pendidikan, sistem mereka secara otomatis mendeteksi perubahan dalam keadaan emosional mereka. Penelitian lain telah menganalisis berbagai bentuk gerakan afektif yang terekam dalam video, mengidentifikasi emosi seperti kemarahan (misalnya, kepala tertunduk ke depan, energi tinggi), kecemasan

(misalnya, gerakan lambat, energi rendah), kebosanan (misalnya, postur tubuh kolaps), dan ketakutan (misalnya, lengan bawah terangkat, gerakan lambat).

Data Fisiologis: Data fisiologis jarang dikaitkan dengan data multimoda, tetapi memainkan peran penting dalam analisis sentimen. Jenis data ini mengacu pada informasi apa pun yang dikumpulkan dari sistem fisik tubuh dan mewakili respons mendasar yang dipicu ketika seseorang terpapar stimulus tertentu. Respons ini berasal dari sinyal di sistem saraf pusat dan otonom. Sistem saraf pusat meliputi otak dan sumsum tulang belakang, sementara sistem saraf otonom mengendalikan fungsi tubuh yang tidak disadari seperti detak jantung, respons pupil, dan gairah seksual.

Data fisiologis yang umum diukur meliputi elektromiogram (EMG), elektroensefalogram (EEG), elektrokardiografi (EKG), respons kulit galvanik (GSR), denyut nadi volume darah (BVP), volume pernapasan, suhu kulit, dan detak jantung. Data fisiologis memberikan penilaian yang tidak bias dalam analisis sentimen, karena dapat mendeteksi perubahan tubuh yang mengonfirmasi emosi meskipun modalitas lain mungkin menunjukkan sebaliknya.

Teknik Prapemrosesan Data dan Ekstraksi Fitur

Prapemrosesan data dan ekstraksi fitur sangat penting untuk memastikan wawasan yang akurat dan bermakna bagi analisis sentimen dan pemantauan kesejahteraan. Karena pemrosesan ulang data secara langsung memengaruhi kualitas wawasan yang diperoleh dari data, hal ini merupakan tahap penting dalam analisis sentimen. Berbagai teknik prapemrosesan data yang meningkatkan kinerja analisis sentimen adalah:

Pembersihan Teks: Untuk menghilangkan noise dan informasi yang tidak perlu, pembersihan teks diperlukan. Prosedur ini biasanya terdiri dari:

- *Eliminasi Karakter yang Tidak Diperlukan:* Langkah ini terdiri dari penghapusan karakter khusus, tag HTML, dan tanda baca yang tidak berkontribusi pada sentimen.
- *Normalisasi:* Untuk memastikan keseragaman data, langkah ini mengonversi semua konten menjadi huruf kecil dan mengoreksi kesalahan ejaan umum untuk menormalkan data.

Tokenisasi: Proses pemisahan teks yang telah dibersihkan menjadi bagian-bagian yang lebih kecil yang dikenal sebagai token disebut tokenisasi. Karena memungkinkan model untuk memeriksa teks pada tingkat lanjut, langkah ini sangat penting. Ada beberapa metode tokenisasi:

- *Tokenisasi Kata:* Memisahkan teks menjadi kata-kata individual dikenal sebagai tokenisasi kata.
- *Tokenisasi Kalimat:* Pembagian teks menjadi kalimat-kalimat, yang berguna untuk interpretasi konteks.

Vektorisasi: Setelah tokenisasi, langkah selanjutnya dalam pembersihan teks adalah menetapkan nilai numerik ke token-token ini untuk memproses model ML. Teknik vektorisasi umum terdiri dari:

- *Bag-of-Words (BOW):* Dalam model ini, frekuensi kata digunakan untuk merepresentasikan sebuah dokumen. Setiap kata unik memiliki nilai numerik yang

merupakan titik vektor untuk korelasi, dan nilai ini pada titik tersebut menunjukkan frekuensi kata tersebut dalam dokumen.

- *TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency)*: Teknik ini membantu mengurangi bobot istilah yang sering muncul dengan mempertimbangkan frekuensi dan signifikansinya di sejumlah teks.

Teknik ekstraksi fitur mengekstraksi aspek-aspek dari kumpulan data yang telah diproses. Berikut ini adalah daftar berbagai teknik ekstraksi fitur berdasarkan tipe data.

- *Data Teksual*: Teknik ini digunakan untuk mengekstraksi fitur seperti polaritas sentimen (positif, netral, atau negatif) dan nada emosional (gembira, marah, sedih, dan lainnya.) dengan menerapkan algoritma NLP.
- *Data Audio dan Video*: Dalam teknik ini, metode pemrosesan sinyal dan pengenalan gambar digunakan untuk mengekstraksi fitur seperti nada, tempo, ekspresi wajah, dan gerakan tubuh.
- *Sinyal Fisiologis*: Dengan memeriksa sinyal seperti detak jantung, respons galvanik kulit, dan pembacaan EEG, seseorang dapat menentukan stres, gairah, atau keadaan emosional lainnya.

13.3 MODEL AI DAN ML UNTUK ANALISIS SENTIMEN DAN KESEJAHTERAAN

Khususnya di lingkungan hunian berbantuan, ML dan kecerdasan buatan (AI) merupakan teknologi mutakhir dalam analisis emosi dan pemantauan kesejahteraan. Teknologi ini memberikan informasi yang akurat dan terkini tentang kesehatan umum, emosi, dan kondisi penghuni menggunakan algoritma yang kompleks.

Analisis Deret Waktu untuk Melacak Tren Kesejahteraan

Analisis deret waktu digunakan untuk mengevaluasi dan menganalisis tren kesejahteraan lintas waktu dengan melihat data sekuensial. Untuk menemukan pola dan ketidakaturan, data terus dikumpulkan dan dianalisis di fasilitas hunian berbantuan dari berbagai sumber, seperti sensor yang dapat dikenakan dan gawai pintar. Berikut adalah daftar kegunaan analisis ini:

- Merekam data fisiologis, termasuk detak jantung, pola tidur, atau tingkat aktivitas, untuk menilai tren kesehatan populasi.
- Memanfaatkan data suara dan perilaku untuk melacak kesehatan mental dengan mendeteksi perubahan emosional.
- Mengidentifikasi tanda-tanda peringatan dini penurunan kesehatan untuk mengambil tindakan pencegahan.

Metode yang dipertimbangkan untuk aplikasi ini meliputi penggunaan Jaringan Saraf Tiruan Berulang (RNN), Memori Jangka Panjang Jangka Pendek (LSTM), dan Rata-Rata Bergerak Terintegrasi Autoregresif (ARIMA) untuk memodelkan pola yang bergantung pada waktu dan mengungkap hubungan jangka panjang dalam data sekuensial.

Model Prediktif untuk Mengantisipasi Perubahan Status Residen

Algoritma prediktif memastikan perawatan yang cepat dan proaktif dengan menggunakan data sebelumnya untuk mengidentifikasi kemungkinan perubahan kondisi mental atau fisik residen. Daftar aplikasi untuk analisis ini adalah:

- Memperkirakan timbulnya gangguan seperti kecemasan, kesedihan, atau penurunan kesehatan fisik.
- Memantau perubahan perilaku atau aktivitas yang dapat mengindikasikan gangguan kognitif atau masalah mobilitas.
- Merancang rencana perawatan individual sesuai dengan tren yang diantisipasi.

Teknik yang dipertimbangkan untuk aplikasi ini adalah model pembelajaran terawasi (seperti mesin vektor pendukung dan hutan acak) yang digunakan untuk mengkategorikan hasil residen menggunakan data berlabel, menggabungkan beberapa algoritma sebagai pembelajaran ansambel untuk meningkatkan akurasi prediksi. Model pembelajaran mendalam lainnya dengan jaringan saraf konvolusional digunakan untuk menilai data multimoda, termasuk teks, audio, dan sinyal fisiologis.

Sistem Pendukung Kognitif dan Emosional Bertenaga AI

Residen dibantu dalam menjaga kesehatan mental dan keseimbangan psikologis dengan teknologi bertenaga AI yang menawarkan bantuan kognitif dan emosional. Daftar aplikasi untuk analisis ini meliputi:

- Chatbot atau robot AI berkomunikasi dengan penghuni, meningkatkan semangat mereka, dan mengurangi rasa kesepian melalui pendamping virtual.
- Dukungan emosional secara real-time diberikan melalui sistem deteksi emosi yang memeriksa intonasi bicara, bahasa tubuh, dan ekspresi wajah.
- Saran yang dipersonalisasi, tergantung pada minat dan kondisi mental penghuni, memberikan saran untuk metode relaksasi, terapi, atau aktivitas.

Teknik yang dipertimbangkan untuk aplikasi ini adalah memahami pola bicara dan emosi seseorang menggunakan NLP yang memungkinkan interaksi responsif, mengenali keadaan emosional, dan memodifikasi reaksi sistem secara tepat melalui model analisis sentimen dan pembelajaran penguatan. Sistem ini dapat secara bertahap memodifikasi dan meningkatkan interaksi sebagai respons terhadap masukan penghuni.

13.4 TANTANGAN DALAM IMPLEMENTASI

Saat menggunakan model AI dan ML untuk penilaian sentimen dan kesejahteraan, terdapat sejumlah tantangan teknis.

Tantangan Teknis (Akurasi, Pemrosesan Real-Time)

Algoritma analisis sentimen seringkali terhambat oleh bahasa yang ambigu dan kesalahan yang bergantung pada konteks, yang mengurangi akurasi dan keandalannya. Lebih lanjut, untuk menyediakan latensi rendah dan integrasi alur kerja yang lancar, pemrosesan real-time menuntut sistem untuk mengevaluasi data dalam jumlah besar secara cepat.

Tantangan Akurasi: Bahasa yang kompleks, termasuk sarkasme, beragam makna, dan kosakata spesifik domain, terkadang sulit dipahami oleh algoritma analisis sentimen, sehingga menghasilkan keandalan yang buruk dan klasifikasi yang tidak akurat.

1. Kesalahan yang Bergantung pada Konteks: Analisis sentimen biasanya mengabaikan konteks, seperti pernyataan yang ambigu atau ironis. Seseorang dapat secara keliru mengklasifikasikan pernyataan sarkastis seperti "Hebat, persis seperti yang saya butuhkan!" sebagai positif.
2. Mungkin sulit untuk menentukan apakah suatu pernyataan positif, negatif, atau netral, terutama jika emosinya kompleks atau tidak jelas.
3. Polisemi: Kata-kata dengan banyak makna, seperti "bank" sebagai tepi sungai dan "bank" sebagai lembaga keuangan, dapat membingungkan model dan mengakibatkan klasifikasi emosi yang tidak akurat.
4. Bahasa Spesifik Domain: Algoritma analisis sentimen mungkin kesulitan memahami jargon atau bahasa gaul spesifik domain, sehingga harus dilatih dengan baik pada kumpulan data yang relevan.

Tantangan Pemrosesan Real-Time: Infrastruktur komputasi yang kuat diperlukan untuk memproses data dalam jumlah besar dengan cepat, dan latensi rendah sangat penting untuk informasi yang tepat waktu dan bermanfaat dalam aplikasi real-time.

1. Kecepatan dan Volume Data: Analisis sentimen dan kesejahteraan real-time memerlukan pemrosesan data dalam jumlah besar yang cepat, yang dapat menuntut komputasi.
2. Latensi: Dalam aplikasi real-time, memastikan latensi rendah sangat penting karena penundaan dapat memengaruhi ketepatan waktu dan relevansi analisis.
3. Skalabilitas: Untuk mengelola beban yang berfluktuasi, terutama selama periode permintaan tinggi atau kejadian yang menghasilkan lonjakan data, model harus dapat diskalakan.
4. Integrasi dengan Sistem Saat Ini: Sistem analitik real-time mungkin sulit untuk terintegrasi dengan lancar dengan infrastruktur saat ini karena masalah kompatibilitas dan kinerja.

Penelitian dan pengembangan berkelanjutan diperlukan untuk mengatasi masalah ini, yang meliputi peningkatan akurasi model, penyempurnaan algoritma untuk pemrosesan real-time, dan jaminan integrasi yang andal dengan sistem saat ini.

Integrasi dengan Sistem Layanan Kesehatan yang Ada

Terdapat berbagai kendala yang harus diatasi ketika menggabungkan model AI dan ML untuk analisis sentimen dan kesejahteraan ke dalam sistem layanan kesehatan yang ada:

Integrasi Data: Untuk studi sentimen dan kesejahteraan yang menyeluruh dalam layanan kesehatan, penting untuk mengintegrasikan berbagai sumber data secara efektif. Akurasi dan kedalaman wawasan meningkat ketika data terstruktur dan tidak terstruktur dari beberapa platform digabungkan.

1. Silo Data: Menggabungkan dan melakukan analisis menyeluruh terhadap data layanan kesehatan mungkin sulit karena data tersebut seringkali disimpan dalam sistem terpisah.
2. Interoperabilitas: Untuk integrasi yang lancar, penting untuk memastikan model AI dan ML dapat berinteraksi dengan berbagai sistem Rekam Medis Elektronik (RME) dan kumpulan data layanan kesehatan lainnya.

Keamanan dan Privasi Data: Dalam aplikasi layanan kesehatan, melindungi kerahasiaan dan integritas data pasien sangatlah penting. Teknik enkripsi yang canggih dan kepatuhan terhadap kerangka hukum seperti HIPPA melindungi data pribadi dari pelanggaran dan akses yang tidak diinginkan.

1. Kerahasiaan Pasien: Sangat penting untuk melindungi informasi pasien dan memastikan bahwa undang-undang seperti Undang-Undang Portabilitas dan Akuntabilitas Asuransi Kesehatan dipatuhi.
2. Keamanan Data: Sangat penting untuk menerapkan langkah-langkah keamanan yang kuat untuk menghentikan akses ilegal dan pelanggaran data.

Pemrosesan Real-Time: Analisis cepat dan informasi yang dapat ditindaklanjuti dihasilkan melalui pemrosesan data real-time, yang penting untuk intervensi layanan kesehatan yang cepat. Memanfaatkan platform yang skalabel dan komputasi berkinerja tinggi menjamin latensi rendah dan integrasi yang lancar dengan operasi yang sedang berjalan.

1. Latensi: Pemrosesan latensi rendah diperlukan untuk pemantauan sentimen dan kesejahteraan secara real-time guna memberikan wawasan dan perawatan secara tepat waktu.
2. Skalabilitas: Untuk mengelola beban yang berfluktuasi, terutama selama krisis atau periode puncak, sistem harus skalabel.

Presisi dan Keandalan Model: Agar analisis sentimen dan kesejahteraan dalam layanan kesehatan bermanfaat, model harus andal dan akurat. Peningkatan berkelanjutan melalui algoritma yang peka konteks dan kumpulan data yang diperbarui menjadikannya lebih andal dan fleksibel dalam situasi yang menantang.

1. Pemahaman Kontekstual: Karena bahasa dan emosi manusia begitu kompleks, model AI mungkin sulit memahami konteks interaksi pasien secara efektif.
2. Pembelajaran Berkelanjutan: Untuk memastikan akurasi dan relevansi, model harus diperbarui dan dilatih dengan data terbaru secara berkala.

Kepatuhan terhadap Etika dan Peraturan: Penerapan AI dalam layanan kesehatan secara adil dan tidak memihak membutuhkan kepatuhan terhadap norma hukum dan etika. Audit rutin dan algoritma yang transparan meningkatkan kepercayaan dan mematuhi persyaratan moral dan hukum.

1. Bias dan Keadilan: Sangat penting untuk menjamin bahwa model AI bersifat netral dan menawarkan hasil yang adil dan setara bagi setiap pasien.
2. Kepatuhan Regulasi: Penerapan model AI dan ML yang efektif bergantung pada kepatuhan terhadap hukum dan norma layanan kesehatan.

Integrasi Alur Kerja Klinis: Efisiensi meningkat tanpa mengganggu prosedur yang ada ketika solusi AI terintegrasi secara mulus ke dalam alur kerja layanan kesehatan. Praktisi layanan kesehatan didorong untuk mengadopsinya melalui program pelatihan kolaboratif dan antarmuka yang intuitif.

1. **Adopsi Pengguna:** Pelatihan dan pemaparan keunggulan teknologi berbasis AI diperlukan untuk meyakinkan para profesional medis agar menerima dan mempercayainya.
2. **Integrasi Alur Kerja:** Untuk meningkatkan pemberian layanan kesehatan, alih-alih menggunakannya, model AI harus terintegrasi dengan lancar ke dalam alur kerja klinis saat ini.

Untuk mengatasi hambatan ini dan menjamin integrasi model AI dan ML yang etis dan sukses dalam sistem layanan kesehatan, badan regulasi, penyedia layanan kesehatan, dan pengembang AI harus bekerja sama.

Pelatihan Staf dan Adopsi Teknologi

Terdapat berbagai hambatan dalam pelatihan staf dan adopsi teknologi saat mengimplementasikan model AI dan ML untuk analisis sentimen dan kesejahteraan dalam sistem layanan kesehatan:

Tantangan dalam Pelatihan Staf: Oposisi terhadap Perubahan: Tenaga kesehatan mungkin enggan mengadopsi teknologi baru, dan lebih memilih pendekatan konvensional yang telah teruji.

1. **Kesenjangan Keterampilan:** Ada kemungkinan karyawan tidak memiliki kemampuan yang dibutuhkan untuk menggunakan perangkat AI secara efisien, sehingga memerlukan pelatihan intensif.
2. **Batasan Waktu:** Mungkin sulit untuk menemukan waktu untuk pelatihan karena tenaga kesehatan seringkali memiliki jadwal yang padat.
3. **Pembelajaran Berkelanjutan:** Pendidikan dan pelatihan berkelanjutan diperlukan untuk mengikuti perkembangan pesat teknologi AI dan ML.

Tantangan Adopsi Teknologi: Terhubung ke Sistem yang Ada: Memastikan model AI terintegrasi secara mulus dengan sistem layanan kesehatan yang ada, seperti EHR, dapat menjadi hal yang sulit dan memakan waktu.

1. **Keamanan dan Privasi Data:** Sangat penting untuk menerapkan perlindungan keamanan dan privasi data yang kuat guna melindungi data pasien dan mematuhi undang-undang seperti HIPAA.
2. **Skalabilitas:** Untuk mengelola beban data yang berfluktuasi dan menyesuaikan dengan kebutuhan institusi layanan kesehatan yang terus berkembang, solusi AI harus dapat diskalakan.
3. **Antarmuka yang Ramah Pengguna:** Untuk mendorong adopsi dan mempersingkat kurva pembelajaran, penting untuk menyediakan produk AI dengan antarmuka yang intuitif dan ramah pengguna.

Untuk mengatasi hambatan ini dan menjamin integrasi model AI dan ML yang etis dan sukses dalam sistem layanan kesehatan, badan pengatur, penyedia layanan kesehatan, dan pengembang AI harus bekerja sama.

Tidak diragukan lagi bahwa analisis sentimen AI dalam layanan kesehatan menghadirkan potensi nyata untuk perawatan berkualitas. Namun, terdapat tantangan tersendiri yang perlu diatasi agar dapat beroperasi dengan sukses. Tantangan-tantangan tersebut meliputi:

- *Isyarat Non-verbal*: AI terutama berfokus pada teks. Isyarat non-verbal yang signifikan dalam komunikasi jarak dekat dengan orang lain tentu saja diabaikan. Isyarat-isyarat ini meliputi ekspresi wajah, bahasa tubuh, dan nada suara. Sinyal-sinyal tersebut tidak terlihat tetapi sangat penting untuk memahami kondisi emosional pasien dengan tepat, misalnya, pasien yang kesulitan mengekspresikan diri secara linguistik (terutama mereka yang menggunakan penerjemah sebagai juru bahasa).
- *Kekhawatiran & Bias Privasi*: Ini adalah dua kekhawatiran utama bagi banyak orang karena model AI sangat bergantung pada kualitas data pelatihan, yang pada gilirannya membuatnya hanya sebaik data yang mereka gunakan. Data pasien lebih lanjut perlu diamankan dengan informasi penting tentang gaya hidup mereka, data keuangan, dan bahkan informasi pribadi dapat disalahgunakan. Pedoman yang kuat perlu diterapkan untuk menegakkan penggunaan AI yang etis dan mencegah penyalahgunaan data pasien.
- *Integrasi dengan Sistem yang Ada*: Sebagian besar fasilitas layanan kesehatan dipenuhi oleh perangkat lunak yang usang dan tidak relevan. Dengan demikian, penggabungan teknologi analisis sentimen AI dengan sistem ini menimbulkan masalah serius dan, pada saat yang sama, membutuhkan investasi sumber daya yang cukup besar (misalnya, infrastruktur dan pelatihan spesialis layanan kesehatan) dalam proses ini.
- *Keterjelasan dan Kepercayaan*: AI pasti dapat menemukan pola berulang dalam data dan membuat analisis prediktif; namun, AI kurang transparan dalam pengambilan keputusannya. Penyedia layanan kesehatan harus menyadari proses otomatis yang digunakan oleh AI untuk menunjukkan kepercayaan pada wawasan dan menyajikannya secara efektif kepada pasien.

13.5 TREN MASA DEPAN DAN ARAH PENELITIAN

Terdapat prospek yang menarik untuk meningkatkan pemantauan kesehatan dan merevolusi lingkungan hunian berbantuan karena evolusi AI yang berkelanjutan dan integrasi teknologi mutakhir dalam layanan kesehatan. Berikut ini adalah jalur penelitian penting dan perkembangan masa depan yang mungkin memengaruhi sektor ini:

Kemajuan dalam AI dan NLP untuk Layanan Kesehatan: Diharapkan bahwa NLP dan AI akan semakin canggih dan mentransformasi prosedur dan sistem layanan kesehatan.

1. *Layanan Kesehatan yang Dipersonalisasi*: AI akan meningkatkan perawatan yang berpusat pada pasien dengan mengevaluasi data kesehatan pribadi dan menyesuaikan terapi sesuai dengan kebutuhan fisik dan emosional setiap pasien.

2. Analisis Sentimen Kontekstual: Pengenalan emosi yang lebih presisi dari teks dan suara yang tidak terstruktur akan dimungkinkan berkat perkembangan NLP, yang akan meningkatkan pemahaman akan emosi dan maksud yang bernuansa.
3. AI yang Dapat Dijelaskan (XAI): Untuk meningkatkan kepercayaan pasien dan penyedia layanan kesehatan, penelitian di masa mendatang akan difokuskan pada pembuatan model AI yang lebih transparan dan dapat dijelaskan.

Teknologi Baru untuk Pemantauan Kesejahteraan: Kemajuan teknologi akan merevolusi pemantauan kesejahteraan dengan menawarkan informasi multifaset secara real-time.

1. Perangkat yang Dapat Dikenakan dan IoT: Teknologi yang dapat dikenakan akan memungkinkan pemantauan berkelanjutan, menawarkan wawasan komprehensif tentang parameter kesehatan termasuk tingkat stres, detak jantung, dan kualitas tidur. Internet of Things (IoT) akan diintegrasikan dengan gawai ini untuk memfasilitasi analisis dan berbagi data.
2. Sistem Pengenalan Emosi Multimoda: Sistem canggih yang mengintegrasikan data fisiologis, analisis ucapan, dan pengenalan wajah akan menawarkan pemahaman menyeluruh tentang kondisi mental dan emosional.
3. Realitas Tertambah dan Virtual (AR/VR): Teknologi ini akan digunakan dalam perawatan pelatihan kognitif, dan dalam rehabilitasi untuk meningkatkan kesehatan mental dan fisik penghuni.

Dampak Potensial terhadap Masa Depan Panti Jompo: Masa depan panti jompo akan sangat dipengaruhi oleh adaptasi inovasi ini, yang akan mendorong perawatan yang lebih efektif, penuh perhatian, dan proaktif.

1. Sistem perawatan otonom: Sistem perawatan otonom bertenaga AI akan membantu pengasuh dengan mengotomatiskan aktivitas berulang, melacak indikator kesehatan, dan menyediakan data yang bermanfaat.
2. Peningkatan keterlibatan penghuni: Teknologi interaktif berbasis AI dan pendamping virtual akan mengurangi kesepian dan memberikan dukungan emosional.
3. Manajemen kesehatan prediktif: Intervensi dini, lebih sedikit rawat inap di rumah sakit, dan peningkatan kualitas hidup secara keseluruhan dimungkinkan oleh analitik prediktif.
4. Pembuatan kebijakan berbasis data: Kebijakan dan pengembangan infrastruktur yang lebih baik untuk fasilitas hunian berbantuan akan dipengaruhi oleh wawasan yang diperoleh dari sistem AI.

Algoritma cerdas dan perangkat medis dari analisis sentimen berbasis AI membantu menafsirkan kumpulan data besar. AI memiliki potensi tak terbatas untuk membantu mendeteksi penyakit lebih cepat, menyediakan rencana perawatan yang dipersonalisasi, dan bahkan mengotomatiskan proses tertentu seperti penemuan obat atau diagnostik. AI juga menjanjikan peningkatan hasil pasien, meningkatkan keselamatan, dan mengurangi biaya yang terkait dengan pemberian layanan kesehatan.

Masa depan penggunaan AI dalam layanan kesehatan tentu cerah dan penuh potensi untuk inovasi lebih lanjut. Penggunaan AI di sektor kesehatan akan semakin penting seiring kita memasuki dunia digital yang lebih terhubung, yang dapat mengubah cara dokter memberikan perawatan dan merawat pasien. Mengingat potensinya yang sangat besar, jelas bahwa penerapan AI dalam layanan kesehatan menjanjikan prospek masa depan yang penuh dengan terobosan, pengalaman pasien yang lebih baik, dan hasil kesehatan yang lebih baik.

Tantangan utama yang dihadapi AI dalam layanan kesehatan bukanlah efikasinya, melainkan integrasinya ke dalam prosedur terapi rutin. Tenaga medis pada akhirnya dapat beralih ke posisi yang membutuhkan kemampuan unik manusia, terutama yang membutuhkan proses kognitif canggih—mungkin satu-satunya sumber layanan kesehatan. Praktisi layanan kesehatan yang memilih untuk tidak mengadopsi AI mungkin satu-satunya yang tidak sepenuhnya diuntungkan dari terobosannya.

13.6 KESIMPULAN

Sektor kesehatan dapat meningkatkan operasional dan kepuasan pelanggan menggunakan analisis sentimen berbasis AI. Dengan bantuan analisis sentimen AI, para profesional kesehatan kini dapat secara otomatis menganalisis data teks untuk memastikan nada emosional atau suasana hati yang diungkapkan maupun tidak diungkapkan. Analisis sentimen AI memiliki lebih banyak potensi manfaat daripada kerugian, meskipun terdapat beberapa tantangan. Dengan mengatasi masalah ini melalui regulasi yang bijaksana serta penelitian dan pengembangan yang cermat, kami juga dapat menyediakan landasan bagi masa depan di mana AI berperan penting dalam meningkatkan perawatan pasien dan memberdayakan individu untuk mengendalikan kesehatan mereka sendiri.

BAB 14

DUKUNGAN BAHASA DALAM KOMUNIKASI KLINIS MULTIKULTURAL

14.1 PENDAHULUAN

Salah satu tujuan utama dalam layanan kesehatan adalah agar dokter dan pasien dapat berkomunikasi secara efektif satu sama lain. Hal ini memainkan peran penting dalam membangun pemahaman bersama tentang masalah pasien dan pilihan pengobatan terbaik. Hal ini khususnya penting di negara-negara di mana penyedia layanan kesehatan dan pasien mungkin berasal dari latar belakang bahasa dan budaya yang berbeda. Kami melihat skenario yang menyoroti masalah ini dan kemudian menyarankan cara untuk menyediakan beberapa solusi teknologi. Saat mengunjungi dokter atau menggunakan kios perawatan mandiri, pasien mungkin diminta untuk memberikan banyak detail untuk membantu mengidentifikasi masalahnya. Seperti dalam skenario klinis lainnya, perangkat yang tersedia untuk pasien harus beroperasi secara efektif di antara beragam kelompok budaya dan bahasa yang membentuk populasi pasien. Seorang pasien mungkin merasa lebih nyaman menggunakan bahasa pertama mereka daripada bahasa Inggris untuk berinteraksi dengan klinik.

Beberapa pasien mungkin merasa tidak nyaman meminta bantuan resepsionis karena situasi di mana pasien mungkin mengakses layanan gratis yang disediakan oleh pemerintah. Dokter mungkin juga ingin pasien mereka dapat berbagi informasi terperinci dan merasa nyaman melakukannya. Dari perspektif dokter berbahasa Inggris, tidak dapat diterima jika pasien dengan beragam bahasa merasa terkekang untuk berkunjung karena kesulitan bahasa. Terdapat mandat hukum dan etika untuk menciptakan suasana janji temu yang inklusif dan aman. Meskipun kini telah diakui secara luas bahwa kita perlu menyediakan layanan yang memenuhi kebutuhan budaya yang beragam bahasa, deskripsi "bahasa Inggris yang terbata-bata" yang terprogram sebelumnya dalam perangkat lunak kios masih umum ditemukan. Meskipun kurangnya penerjemahan umumnya mengurangi tingkat adopsi e-health di pedesaan, penting untuk melibatkan semua orang agar dapat mengakses manfaat utama dari data kesehatan bersama. Untuk mengusulkan solusi yang layak, esai ini berupaya mengkaji alat yang sedang kami kembangkan lebih lanjut. Kami sedang menjajaki pengembangan alat penerjemahan bahasa lisan yang sepenuhnya otomatis, yang dapat dianggap sebagai alat komputasi yang ada di mana-mana yang digunakan untuk penerjemahan bahasa lisan dan tulisan multimoda atau fungsi apa pun yang diberikan saat berkomunikasi dalam lingkungan medis. Alat ini dapat menghindari keharusan bagi dokter yang hanya menguasai satu bahasa untuk mempelajari bahasa lain atau melatih sejumlah besar staf resepsionis untuk membantu tugas serupa. Alat ini dirancang untuk menyediakan dukungan bahasa untuk konsultasi medis lintas bahasa dan pemesanan triase, serta membantu pengisian formulir dan informasi. Dalam memproses kueri pengguna bahasa lain, beberapa penelitian telah mengidentifikasi bahwa pengetahuan khusus berdasarkan situasi klinis sama pentingnya dengan informasi ucapan pasien itu sendiri.

Preferensi untuk mengobati tidak boleh menggantikan kebutuhan untuk berkomunikasi secara efektif. Efektivitas sistem pelayanan kesehatan dan perawatan pasien berkaitan erat dengan efektivitas dan kualitas komunikasi. Namun, sebagaimana terungkap melalui lintasan evolusi komunikasi dokter-pasien, komunikasi verbal antara staf pelayanan kesehatan dan pasien sedang mengalami revolusi yang mendalam. Pertama dan terpenting, demografi populasi pasien kontemporer telah mencapai puncak heterogenitas. Diversifikasi masyarakat yang semakin meningkat dan pergerakan migrasi berkontribusi pada populasi yang semakin multibahasa. Akibatnya, keragaman kebutuhan linguistik semakin meningkat dalam tatanan pelayanan kesehatan. Realitas yang sering terabaikan adalah bahwa banyak sistem pelayanan kesehatan, pada gilirannya, mencerminkan keragaman populasi pasien masing-masing. Oleh karena itu, solusi untuk meningkatkan keragaman bahasa dan budaya sangat penting untuk pemerataan pelayanan kesehatan.

Kedua, profil spesialis kesehatan medis seringkali bersifat internasional. Pencarian layanan khusus seringkali membutuhkan perjalanan internasional. Oleh karena itu, diakui bahwa komunikasi dokter-pasien semakin bersifat antarbudaya, sementara dunia dan dunia kesehatan sedang menjunjung tinggi internasionalisme. Faktanya, penyediaan layanan kesehatan antarbudaya dan multibahasa dengan cepat berkembang menjadi kebijakan normatif di dalam institusi kesehatan. Meskipun latar belakang ini menunjukkan perubahan penting dalam sistem kesehatan, banyak yang lambat dalam melakukan transformasi, terutama di bidang linguistik. Namun, hambatan bahasa yang berlebihan dikaitkan dengan peningkatan risiko akses yang tidak memadai terhadap perawatan pasien; komunikasi yang tidak efektif menyebabkan kesalahpahaman dan ketidakpuasan. Selain itu, kesalahan pengobatan, kesalahan diagnosis, perawatan yang tidak memadai, perawatan pasca-perawatan yang tidak efektif, dan pencegahan kepatuhan pasien juga merupakan beberapa konsekuensi buruknya. Tinjauan umum tentang mekanisme yang mengintegrasikan dukungan bahasa dalam penanganan komunikasi akan bermanfaat. Secara historis, berbagai macam alat dan teknik inovatif telah diperkenalkan seiring perkembangan zaman. Misalnya, penerjemah lisan, meskipun dalam praktiknya eksklusif, dapat berfungsi sebagai solusi sementara selama interaksi klinis. Yang lain, seperti mediator antarbudaya atau pilot spesialis, mungkin memerlukan pelatihan kepekaan budaya sebelumnya. Namun, integrasi layanan pengungsi, penerjemahan, dan juru bahasa yang disetujui negara secara bertahap bergerak maju. Sebagian besar pakar mendukung layanan komunikasi jarak jauh melalui video karena layanan ini menghemat biaya perekrutan tenaga kerja dalam jumlah besar untuk menyediakan fasilitas bahasa bagi layanan rawat jalan dan rawat inap, dari pedesaan hingga perkotaan, sehingga mengurangi kekurangan stenografer dan pusat layanan.

Bab ini membahas dukungan bahasa dalam konteks hambatan komunikasi antara dokter dan pasien yang tidak berbicara dalam bahasa yang sama. Lima bidang studi kemungkinan menarik bagi pembaca: hambatan saat ini dalam diversifikasi dukungan bahasa dalam layanan kesehatan, solusi teknologi yang ada, ekspektasi dokter terhadap pasien, bagaimana menjembatani perbedaan bahasa dan budaya dapat difasilitasi, dan praktik terbaik dalam mengatasi hambatan bahasa. Perspektifnya bersifat global. Dukungan bahasa yang

buruk atau tidak ada bagi penutur bahasa selain bahasa utama suatu negara mengurangi modal sosial dan akses terhadap manfaat negara kaya. Meskipun tidak selalu menjadi faktor pendorong utama, investasi dalam dukungan bahasa dalam layanan kesehatan merupakan cara untuk mengurangi atau memperbaiki ketimpangan. Negara bagian dan teritori di dunia menerapkan berbagai praktik terbaik dalam dukungan bahasa, menggunakan berbagai alat dan layanan yang sesuai dengan keadaan. Otoritas kesehatan di negara-negara terkait akan memastikan bahwa perpaduan strategi praktis relevan dengan kebutuhan mereka. Banyak determinan sosial yang memengaruhi kesehatan, termasuk bahasa dan budaya. Akses terhadap informasi dan perawatan yang setara merupakan bagian penting dari setiap kebijakan Kesehatan untuk Semua. Salah satu cara untuk menyelidiki inklusi atau paritas dalam kaitannya dengan bahasa dan budaya adalah dengan menemukan apa yang terjadi ketika penyedia layanan kesehatan dan pasien tidak memiliki bahasa yang sama. Kegagalan dalam membangun sarana komunikasi yang efektif dapat mengakibatkan pengalaman buruk pasien dan hasil yang buruk. Setiap tenaga kesehatan biasanya termotivasi dengan baik untuk memberikan perawatan seaman dan seefektif mungkin. Mereka mempelajari cara-cara untuk mengatasi kegagalan dalam komunikasi, mengikuti sistem kepercayaan mereka, dan menggunakan sumber daya lokal. Dalam beberapa budaya, anggota keluarga diharapkan untuk mengambil berbagai peran pada saat perawatan, termasuk bertanggung jawab atas komunikasi. Namun, praktik terbaik profesional dan resmi mengharuskan penggunaan penerjemah dengan pelatihan khusus dan kode etik yang ketat.

14.2 PERAN LINGUISTIK DALAM SISTEM

Departemen Linguistik menempatkan signifikansi khusus pada wacana layanan kesehatan dan komunikasi dokter-pasien. Minat kami berpusat pada penyediaan layanan dukungan bahasa bagi penutur bahasa nondominan di lingkungan layanan kesehatan. Pemahaman tentang sifat proses ini sebelum mencoba memberikan intervensi sangatlah penting. Bagian ini bertujuan untuk mengusulkan kerangka kerja teoretis kami dan meninjau literatur akademis yang ada untuk menganalisis komunikasi dokter-pasien yang didukung bahasa Inggris. Bagian di atas telah memperkenalkan beberapa model untuk menjelaskan proses komunikasi antara dokter dan pasien. Model-model ini sepakat dalam menjelaskan bahwa komunikasi yang efektif menghasilkan empat proses atau luaran:

1. Pertukaran informasi, termasuk keluhan pasien, informasi sosial, gejala, dan sudut pandang atau perspektif pasien;
2. Pasien dan dokter juga saling memberikan informasi yang saling melengkapi, kontekstual, dan afektif tentang diri mereka sendiri dan kekhawatiran mereka;
3. Pasien dan dokter kemudian dapat membuat diagnosis banding, prediksi klinis, dan mengembangkan rencana penatalaksanaan; dan
4. Rencana tersebut dinegosiasikan dan dipatuhi, sehingga penjelasan dan instruksi perawatan dipahami, disetujui, dan diingat kembali.

Aspek kunci dari model-model ini adalah konsep interaksi layanan kesehatan sebagai aktivitas bersama antara dokter dan pasien. Informasi tidak hanya dibagikan, tetapi, terutama

dari perspektif sosio-kognitif, mereka juga mengambil kedua peran, membuat asumsi, dan memahami hak serta kewajiban interaksi. Model-model tersebut menunjukkan persyaratan bagi penyedia layanan kesehatan dan pasien untuk berpartisipasi agar dapat mencapai kemajuan dan berbagi informasi, sehingga proses tersebut menjadi lebih kompleks dan menandainya sebagai proses interaksi. Pendekatan ini mencerminkan teori yang menghubungkan maksud dengan makna dalam penggunaan bahasa dan dianggap menekankan bagaimana komunikasi tertanam dalam konteks sosial. Dalam skenario layanan kesehatan, menarik untuk dicatat bahwa hak-hak pasien ini diakui dalam kode etik dan pernyataan etika organisasi-organisasi kunci, yang mencerminkan bahwa pasien memiliki peran proaktif, atau setidaknya mitra yang setara, dalam interaksi layanan kesehatan. Agar tenaga kesehatan profesional dapat memberikan layanan yang diharapkan dalam memfasilitasi hak atas pilihan yang terinformasi, praktisi harus memiliki kemampuan linguistik dan kompetensi budaya yang diperlukan untuk menangani pasien ini, dengan mengetahui bahwa pertukaran tersebut akan memenuhi karakteristik budaya dan linguistik pasien dan oleh karena itu mewujudkan hak pasien atas pilihan yang terinformasi.

Model Komunikasi

Salah satu model komunikasi yang paling sering digunakan adalah yang diusulkan oleh Claude Shannon dan Warren Weaver. Pengirim mengirimkan pesan melalui suatu saluran kepada penerima, yang kemudian mendekodekannya. Saluran itu sendiri dirancang untuk melindungi pesan dari gangguan eksternal. Model ini mengandung beberapa sumber gangguan, seperti gangguan semantik (masalah dalam pengodean dan dekodean pesan), gangguan psikologis (emosi dan motif), dan gangguan fisik (gangguan eksternal selama transmisi). Baik dokter yang bekerja di fasilitas kesehatan maupun masyarakat awam yang berbagi pengalaman menggunakan model ini. Model ini menggarisbawahi peran dan pentingnya pengirim, administrator, dan penerima pesan. Namun, model ini terlalu menekankan pada transmisi informasi dan bergantung pada umpan balik yang "diintegrasikan" ke dalam proses komunikasi. Hal ini membuat model Shannon dan Weaver kurang efektif dalam komunikasi etis sehari-hari antara dokter dan pasien. Penelitian tentang komunikasi dalam pertemuan dokter-pasien terutama menggunakan sistem terbuka dan penelitian tindakan. Mereka mengkaji bentuk dan cara komunikasi antara pasien dan pengasuh, terutama dalam konteks penyakit metabolik atau kardiovaskular. Perlu dicatat bahwa penerima pesan bukanlah satu-satunya mekanisme model komunikasi standar. Misalnya, dalam model Shannon dan Weaver, penerima hanyalah langkah terakhir dalam proses "memeriksa" keberhasilan penyampaian pesan. Kemungkinan formulasi teori komunikasi linguistik dalam interaksi dokter-pasien juga diamati pada mereka yang menggunakan bahasa Inggris sebagai bahasa kedua.

Teori Kompetensi Budaya

Teori kompetensi budaya menggarisbawahi pentingnya memahami latar belakang budaya dan bahasa individu untuk memberikan layanan kesehatan yang sesuai dengan budaya. Pendekatan ini memungkinkan penyedia layanan kesehatan untuk meningkatkan efektivitas komunikasi mereka dengan pasien. Keyakinan budaya yang berimplikasi pada

interaksi pasien dan persepsi kesehatan dan kesejahteraan meliputi keyakinan tentang kesehatan dan penyakit, persepsi tentang penyebab penyakit, keyakinan tentang cara menangani penyakit, perilaku dan praktik kesehatan, serta isu-isu hubungan seperti konsep otoritas, otonomi, dan pengambilan keputusan, peran keluarga, dan perbedaan gender atau generasi. Perawatan yang tepat dapat mencakup adaptasi terhadap keyakinan dan nilai-nilai pasien terkait intervensi medis.

Selain itu, kemampuan untuk berinteraksi melalui bahasa lisan pasien mengarah pada peningkatan kesadaran akan banyak keyakinan dan persepsi yang tak terucapkan yang tersembunyi dalam budaya. Memang, kompetensi budaya terpadu sekarang termasuk dalam kurikulum program pendidikan medis. Sementara komunikasi medis mengenai penerjemahan dapat memberikan konseling praktis, pedoman penerjemah layanan kesehatan dapat berguna dalam konseling teoretis dengan menekankan pentingnya menangani bahasa dan budaya dalam setiap interaksi dokter-pasien. Dalam layanan kesehatan pasca-modern, yang ditandai dengan munculnya pengobatan yang berpusat pada pasien, relevansi layanan kesehatan yang peka terhadap budaya bahkan lebih jelas. Sebagai kesimpulan, setiap komunikasi antara orang-orang—dan terutama antara pasien dan praktisi kesehatan—sangat terkait dengan budaya dan, terlebih lagi, dengan bahasa karena hubungan yang rumit antara keduanya.

14.3 HAMBATAN BAHASA DALAM PELAYANAN KESEHATAN

Komunikasi yang efektif antara dokter dan pasien dapat membantu memberikan layanan kesehatan yang berkualitas dan memperkuat hubungan dokter-pasien. Namun, komunikasi dokter-pasien rentan terhadap hambatan bahasa seperti perbedaan bahasa ibu, penggunaan jargon, dan gangguan kelancaran verbal pada penutur non-asli, serta penggunaan nada, tinggi rendah nada, dan aksen yang tidak tepat yang memengaruhi konteks, alur, dan intonasi pesan. Hambatan bahasa akibat penggunaan bahasa ibu yang berbeda yang digunakan oleh komunikator sebagian disebabkan oleh keterbatasan pengetahuan tentang bahasa dominan. Hambatan bahasa akibat komunikasi dalam bahasa dominan dapat dikategorikan sebagai (i) terminologi yang berbeda, bahasa Inggris yang berpusat pada industri, terutama jargon bahasa Inggris medis, dan (ii) ketidakmampuan untuk berbicara dengan prosodi yang tepat karena respons emosional dan terkondisi.

Hambatan bahasa dalam lingkungan pelayanan kesehatan dapat menyebabkan kesalahpahaman, komunikasi yang tidak efektif antara dokter dan pasien, duplikasi tes atau informasi, kurangnya tindak lanjut pasien, dan kepatuhan pengobatan. Selain itu, hal ini dapat mengakibatkan kesalahan dalam konseptualisasi masalah medis dan perawatan pasien, serta peningkatan jumlah kesalahan terkait pemeriksaan, diagnosis, dan manajemen pasien. Berbagai studi menunjukkan bahwa dengan beberapa pergeseran demografis yang diproyeksikan, lebih banyak pasien akan lebih memilih untuk berkomunikasi dengan penyedia layanan kesehatan dan mengakses perawatan klinis serta informasi kesehatan tertulis dalam bahasa Inggris. Komunikasi klinis yang tidak efektif bagi pasien yang tidak berbahasa Inggris merupakan faktor dalam persamaan disparitas layanan kesehatan. Penelitian analisis pekerjaan dan teknik observasi merupakan metode optimal untuk mengenali dan

mengevaluasi resepsionis medis dengan keterbatasan berbahasa Inggris secara cepat. Analisis pekerjaan harus dilakukan pada setiap tahap praktik klinis untuk mengukur kinerja menulis dan berbicara dalam menilai penggunaan bahasa Inggris oleh mereka yang bukan penutur asli bahasa Inggris selama penerimaan dan pendaftaran pasien.

Kebutuhan untuk menyediakan layanan dan pemberian layanan kesehatan dalam bahasa kedua dengan cepat menjadi prioritas, mengingat terus meningkatnya jumlah pasien internasional yang mencari layanan medis di negara-negara Barat dan pariwisata medis. Melakukan evaluasi kinerja penerimaan memberikan definisi dan deskripsi yang dapat diverifikasi tentang apa yang membuat penerimaan yang efisien dan berorientasi pada layanan medis, baik dari sudut pandang resepsionis maupun pasien. Mengoptimalkan observasi ini dapat menjadi dasar bagi alat asesmen bahasa untuk mengenali kekurangan layanan bahasa yang memadai di fasilitas pelayanan kesehatan bagi penutur non-asli, dan selanjutnya merancang serta menerapkan kurikulum yang terarah untuk mengisi kesenjangan layanan ini. Penelitian masih perlu dilakukan untuk mengenali kemahiran berbahasa pada resepsionis medis masa kini yang berorientasi pada layanan.

Jenis-jenis Hambatan Bahasa

Bukti dari penyediaan layanan kesehatan multibahasa menunjukkan bahwa beberapa jenis kebutuhan dukungan bahasa relevan dengan komunikasi klinis. Berdasarkan fokus linguistik masing-masing hambatan, hambatan tersebut secara umum dapat diklasifikasikan menjadi hambatan kelancaran, hambatan terminologi dan konseptual, serta hambatan variasi dan keragaman dialektika. Meskipun beberapa pelaku memiliki tingkat kemahiran berbahasa yang tinggi, banyak yang menghadapi tantangan di berbagai titik layanan kesehatan. Sekitar 4% populasi dewasa di Inggris menilai sendiri kemahiran berbahasa Inggris mereka sebagai lancar dan "Tidak sama sekali." Lebih lanjut, 5% dari mereka merasa kesulitan untuk berbicara dalam bahasa Inggris tersebut. Dalam populasi seperti pengungsi dan pencari suaka, statistik ini bahkan bisa lebih tinggi untuk beberapa bahasa dalam konteks Inggris. Dengan orang-orang yang berbicara hingga 3.500 bahasa setiap hari, seperti mereka yang mencari layanan kesehatan di Inggris, terdapat berbagai tingkat kemahiran berbahasa di antara populasi penyedia layanan kesehatan. Implikasi dari hambatan-hambatan ini terhadap interaksi klinis telah lama ada dan terdokumentasi dengan baik. Misalnya, jarak linguistik dapat menyebabkan kesulitan komunikasi antara orang-orang dengan latar belakang bahasa yang berbeda. Penutur bahasa donor mungkin secara tidak sadar menggunakan istilah medis yang rumit, terutama dalam mencampur bahasa ibu mereka dengan bahasa kedua atau bahasa pekerjaan mereka. Hal ini, pada gilirannya, dapat memiliki efek yang tidak disengaja yaitu mengasingkan pihak yang tidak mengetahui istilah-istilah ini dan mencegah mereka untuk mengambil bagian dalam percakapan yang bermakna. Hal ini dapat memiliki dampak lebih lanjut, dengan kurangnya kepercayaan antara pihak-pihak yang ditemukan membuat konflik lebih menantang untuk dikelola. Kurangnya diskusi eksplisit mengenai komunikasi antara kedua risiko meninggalkan salah satu pihak dengan kegelisahan yang lebih tinggi dan juga menempatkan minoritas linguistik pada risiko yang lebih tinggi. Mengingat bahwa data menunjukkan peningkatan persentase orang yang berbicara bahasa lain atau meminta penerjemah bukti hukum untuk

interaksi hukum, kita dapat dengan aman berasumsi bahwa tren ini kemungkinan berlaku untuk interaksi dokter-pasien. Ketidaktampakan permintaan akan bahasa seperti itu dapat berkontribusi pada ketidaksetaraan perawatan kesehatan.

Dampak terhadap Hasil Pelayanan Kesehatan

Hambatan bahasa dalam pelayanan kesehatan dapat mengakibatkan berbagai hasil yang merugikan bagi pasien. Miskomunikasi yang disebabkan oleh hambatan bahasa dapat menyebabkan kesalahan dalam diagnosis, rencana perawatan, serta resep dan pemberian obat. Kesalahan pengobatan ini seringkali tidak terdeteksi hingga pasien mengalami efek samping yang toksik. Studi menunjukkan bahwa hambatan bahasa mengakibatkan peningkatan tingkat readmisi, kepatuhan yang jauh lebih rendah terhadap pengobatan yang diresepkan, dan penurunan kepuasan pasien. Pasien dengan hambatan bahasa seringkali menerima lebih sedikit tes diagnostik awal, prosedur bedah, dan rujukan ke spesialis. Kurangnya dukungan bahasa memperburuk kesenjangan kesehatan yang ada di antara kelompok minoritas dan kelompok yang kurang beruntung secara sosial-ekonomi. Selain itu, pasien yang terdampak menilai perawatan mereka secara signifikan lebih buruk daripada kelompok kontrol, dan mereka juga memiliki tingkat depresi yang tinggi. Pertemuan yang tidak selaras bahasa juga dikaitkan dengan ketidaknyamanan fisik karena prosedur diagnostik dan terapeutik memiliki risiko lebih tinggi menyebabkan rasa sakit dan ketidakpuasan pasien. Jumlah komunikasi verbal antara pasien dan penyedia layanan kesehatan selama pertemuan ini dikaitkan dengan skor emosi pasien, yang menunjukkan bahwa komunikasi yang efektif bukan tentang kuantitas, melainkan kualitas pesan yang dikomunikasikan. Bukti empiris menunjukkan bahwa pendekatan proaktif terhadap akses bahasa dapat mencegah potensi bahaya bagi pasien akibat hambatan bahasa. Rumah sakit yang menyediakan layanan bahasa kepada pasien cenderung memberikan perawatan yang berpusat pada pasien di semua area layanan. Selain itu, rumah sakit dengan staf yang beragam dan multibahasa menunjukkan komitmen terhadap perawatan yang disesuaikan dengan preferensi individu, pengalaman perawatan kesehatan, dan nilai-nilai pasien.

14.4 SOLUSI TEKNOLOGI

Organisasi layanan kesehatan mencari teknologi sebagai solusi untuk berkomunikasi dengan pasien yang berbicara dalam berbagai bahasa dan memahami penyakit mereka. Selama beberapa tahun terakhir, berbagai investasi dan inisiatif inovatif dalam ruang komunikasi digital telah mengemuka. Aplikasi penerjemahan, serta tablet digital dan aplikasi video, telah digunakan untuk menerjemahkan dan menciptakan cara-cara inovatif bagi pasien untuk berkomunikasi dalam bahasa ibu mereka dengan dokter, di mana pun lokasi mereka. Jika digunakan secara efektif, perkembangan ini dapat membantu menyediakan layanan penerjemahan yang lancar dan membuat pasien merasa lebih nyaman saat mengunjungi layanan kesehatan selama masa sakit, ketidakpastian, atau tekanan. Penelitian dalam layanan telepon pintar atau telemedis telah mengidentifikasi bahwa perangkat penerjemahan terbaru menawarkan terjemahan yang efektif dan akurat, sehingga menawarkan solusi yang sangat baik. Banyak platform telemedis menawarkan fasilitas untuk mengakses penerjemah

profesional multibahasa virtual serta mengakses konsultasi medis dengan penyedia layanan multibahasa yang dapat menyediakan konsultasi dokter-pasien yang selaras bahasa.

Selain SMS untuk membantu pemahaman, platform ini juga dapat menyediakan materi edukasi, informasi pasien, video, dan perangkat penilaian. Bukti peningkatan efektivitas diperlukan untuk membuktikan potensi inovasi dalam solusi digital dalam memfasilitasi proses ini. Integrasi aplikasi penerjemahan bersama layanan bahasa digital yang memungkinkan komunikasi tatap muka atau berbasis teks dalam antarmuka telemedis dapat memberikan solusi efektif untuk mengatasi hambatan bahasa dalam layanan kesehatan. Pertimbangan harus diberikan pada dampak terhadap pemerataan penyebaran teknologi dan perangkat tersebut, yang mungkin tidak mudah diakses oleh semua anggota masyarakat hanya karena kemiskinan. Kemajuan teknologi berpotensi menjembatani kesenjangan komunikasi dan membuat pasien merasa lebih terlibat dan menjadi bagian yang lebih setara dalam masyarakat. Banyak alat komunikasi digital yang belum dievaluasi secara menyeluruh, sehingga efektivitasnya belum diketahui. Tanggung jawab terletak pada pembuat platform, aplikasi, atau alat bantu komunikasi untuk menyediakan informasi yang valid dan andal mengenai efektivitas sistem penerjemahan mereka. Menyediakan akses kepada penerjemah dapat meningkatkan kepuasan pasien dan akses mereka terhadap layanan kesehatan. Meningkatkan kepercayaan dan mendukung kesetaraan dengan memfasilitasi inklusi yang beragam akan berdampak luas.

Aplikasi dan Alat Penerjemahan

Terdapat banyak aplikasi dan alat yang tersedia untuk keperluan penerjemahan yang dapat digunakan dalam lingkungan layanan kesehatan. Seseorang dapat mengunduh aplikasi di ponsel pintar mereka atau mengakses alat daring secara gratis. Salah satu aplikasi yang paling umum memungkinkan orang mengetik frasa dan melihat terjemahannya dalam bahasa kontak. Alat-alat ini dapat mempercepat proses penerjemahan dan mungkin berguna untuk beberapa tugas komunikasi berbasis frasa, tetapi seseorang tidak boleh sepenuhnya bergantung pada keakuratan hasil yang dihasilkan oleh alat-alat ini. Salah satu kelemahan platform digital adalah tidak semua pasien atau anggota keluarga dapat dengan mudah memahami atau familier dengan konsep aplikasi penerjemahan atau mungkin tidak memiliki akses ke ponsel pintar, yang dapat membuat fasilitasi lebih menantang. Aplikasi dan alat penerjemahan gratis ini biasanya terdiri dari fitur-fitur utama berikut: pengenalan suara; penerjemahan teks, teks ketikan, dan tulisan tangan; penerjemahan ucapan ke dalam teks; penerjemahan teks ke dalam bahasa asing; pemutaran terjemahan dalam bahasa asing; mode percakapan (memungkinkan percakapan multibahasa secara waktu nyata); daftar frasa umum yang diterjemahkan ke dalam bahasa asing; deteksi otomatis bahasa sumber; dan tersedia untuk penggunaan luring/mode pribadi. Beberapa alat khusus perawatan kesehatan untuk pasien lanjut usia mencakup glosarium medis, yang mungkin berisi daftar kemungkinan skenario medis atau kata-kata yang mungkin didengar pasien dalam pengaturan perawatan kesehatan untuk membantu memasukkan tingkat pemahaman. Umumnya, sejumlah aplikasi terus meningkat seiring waktu melalui pembaruan dan umpan balik pengguna. Penggunaan aplikasi penerjemahan dapat mengurangi hambatan bahasa dan membantu dalam proses dan

hasil komunikasi, dan juga dapat memperkuat hal-hal positif yang berpusat pada pasien, seperti meningkatkan kemampuan pasien untuk memahami, mempertimbangkan, mereplikasi, berdebat, mensintesis, menilai, dan mengusulkan. Profesional perawatan kesehatan memerlukan pelatihan tentang cara menggunakan aplikasi penerjemahan saat berkomunikasi dengan pasien yang tidak berbahasa Inggris agar antarmuka dapat digunakan secara paling efektif. Penggunaan teknologi, seperti aplikasi penerjemahan, dalam pengaturan kesehatan memerlukan kehati-hatian, pertimbangan, dan penelitian di masa mendatang. Keandalan aplikasi penerjemahan dapat dipengaruhi oleh akses internet yang tidak konsisten dan persyaratan pembaruan dan algoritma baru untuk melanjutkan kemajuan dan menyediakan informasi yang aman, akurat, relevan bagi pasien, dan terkini. Produk teknologi umumnya dipandang perlu diadaptasi dalam lingkungan yang terus berkembang.

Platform Telemedis

Platform telemedis dapat dipandang sebagai solusi untuk memanfaatkan layanan interpretasi jarak jauh bagi pasien yang berbicara dalam bahasa selain bahasa yang digunakan di klinik. Platform ini menyediakan sistem lengkap untuk perawatan jarak jauh dan biasanya menjadi pilihan kedua ketika pasien tidak dapat memperoleh konsultasi langsung dalam suasana tatap muka. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan telemedis telah berkembang dan diprediksi akan terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi dan layanan kesehatan. Sebagian besar telemedis kini disediakan secara real-time, dengan melibatkan video dan telepon, meskipun setidaknya ada satu perusahaan yang bekerja dengan konsultasi asinkron dan telah mengembangkan layanan telemedis secara eksklusif melalui pesan teks. Selain itu, banyak layanan teleinterpretasi mandiri dapat membantu membuka pintu bagi semua jenis telekesehatan yang ditawarkan oleh penyedia layanan. Model bisnis telemedis yang paling banyak dipublikasikan adalah yang diakses langsung oleh pasien. Mereka sering menggunakan bahasa sebagai keunggulan kompetitif dibandingkan penyedia layanan lain secara lokal.

Perusahaan multinasional menggunakan berbagai model, termasuk klinik, platform, dan alat komunikasi yang tersedia bagi karyawan perusahaan mereka, sementara platform perjalanan medis terencana telah memproduksi prosedur gabungan, termasuk telekonsultasi dan teletravel, untuk beberapa waktu. Terdapat juga layanan telemedis bagi para profesional yang dapat langsung menghubungi penutur berbagai bahasa sebagai bagian dari alur kerja rutin mereka. Model telemedis gig atau marketplace menghubungkan dokter secara langsung dengan pasien berdasarkan permintaan, dengan platform tidak memainkan peran signifikan dalam penyediaan layanan kesehatan. Pertimbangan lain adalah bahwa beberapa platform telemedis menjalankan sistem pemberian layanan kesehatan mereka, sementara yang lain mensubkontrakkan layanan kesehatan, terutama layanan penerjemahan atau interpretasi, langsung kepada penyedia layanan kesehatan yang berpraktik. Dalam model ini, teknologi korporat menawarkan layanan klinis dalam skala yang jauh lebih kecil, tetapi serupa, dibandingkan dengan penyedia layanan kesehatan besar. Meskipun masing-masing strategi ini mungkin lebih atau kurang sesuai dengan model di atas dan pasien yang dijangkau, semuanya menunjukkan peningkatan pengakuan akan peran komunikasi dan umpan balik yang efisien

dan didukung secara teknis dalam meningkatkan penyediaan layanan kesehatan secara keseluruhan. Singkatnya, penyedia layanan telemedis yang berusaha meningkatkan komunikasi (terutama mengatasi hambatan bahasa) merupakan gambaran kecil dari keseluruhan institusi layanan kesehatan. Mereka menemukan bahwa investasi dalam bantuan bahasa dapat menambah pendapatan nyata. Layanan ini dapat membuat perbedaan tidak hanya dalam skor kepuasan pasien tetapi juga dalam tingkat rujukan dan penawaran layanan. Telemedicine telah ditawarkan sebagai pilihan khusus untuk memberikan perawatan. Terkadang, perawatan telemedis diberikan langsung di klinik virtual atau bahkan ruang gawat darurat, di mana dokter tidak hanya melihat tetapi juga berinteraksi dengan staf perawat di tempat dan pasien. Di tempat-tempat ini, interpretasi di tempat atau melalui telepon juga praktis dan tersedia. Apa yang telah kita lihat di Amerika Serikat selama dekade terakhir adalah penggunaan layanan telemedicine dan semakin diterimanya serta digunakannya layanan penerjemah kontrak. Ada tantangan dalam menggunakan telemedicine, sama seperti dalam menghubungkan pasien dan penyedia layanan di lingkungan fisik. Tidak semua orang dapat menerima interpretasi jarak jauh melalui telepon dari rumah mereka atau memerlukan interpretasi yang diinstal di komputer atau telepon mereka. Beberapa orang memiliki akses internet berkualitas rendah, jika ada.

14.5 PRAKTIK TERBAIK UNTUK KOMUNIKASI YANG EFEKTIF

Bagaimana praktik terbaik dapat memastikan komunikasi yang efektif dalam beragam tatanan komunikasi di bidang kesehatan, sebagaimana lazimnya dalam praktik klinis sehari-hari? Pertanyaan inilah yang dijawab oleh penelitian ini. Berdasarkan tinjauan pustaka naratif dan hasil studi kelayakan singkat untuk pelatihan bahasa dan penerjemah bagi tenaga kesehatan profesional, kami telah mengidentifikasi praktik komunikasi terbaik utama yang berkontribusi pada keberhasilan komunikasi yang beragam dalam percakapan di bidang kesehatan, khususnya dalam penggunaan penerjemah. Praktik terbaik ini terdiri dari berbagai strategi yang menargetkan perilaku verbal, paraverbal, dan nonverbal yang efektif, termasuk strategi untuk tatanan komunikasi, keterampilan komunikasi individu, dan organisasi kesehatan. Strategi-strategi ini mencakup langkah-langkah pelatihan bagi dokter, seperti mendengarkan secara aktif dan empatik, termasuk konfirmasi implisit atas pemahaman. Proses penyesuaian untuk mencapai pemahaman tampaknya memainkan peran krusial dalam komunikasi dwibahasa di bidang kesehatan dan telah mendapatkan perhatian yang semakin meningkat dalam penelitian. Pelatihan pemahaman konfirmatori telah terbukti efektif dalam mengadaptasi wacana pertemuan medis dalam tatanan komunikasi non-monolingual. Hasil studi kelayakan singkat kami menunjukkan retensi pengetahuan dan keterampilan setelah enam bulan, serta keberhasilan transfer pengetahuan dan konsolidasi keterampilan. Hal ini menunjukkan bahwa pelatihan bahasa bagi tenaga kesehatan profesional memang dapat menjadi strategi yang layak untuk mencapai praktik terbaik yang efektif, terutama di organisasi layanan kesehatan yang kemungkinan besar memiliki pergantian staf yang relatif tinggi. Organisasi layanan kesehatan juga direkomendasikan untuk mengadopsi pelatihan bahasa bagi staf mereka sebagai proses atau pedoman standar. Pedoman praktik terbaik ini jelas juga

merupakan alat penting untuk meningkatkan hubungan mitra percakapan dengan latar belakang bahasa dan budaya yang berbeda, yaitu penerjemah dengan orang lain atau pasien, dan untuk meningkatkan hasil percakapan medis yang diterjemahkan.

Pelatihan Bahasa bagi Tenaga Kesehatan Profesional

Hubungan komunikasi antarbudaya sehari-hari yang terjalin antara pasien berbahasa Spanyol dan tenaga kesehatan profesional dari berbagai bahasa ibu menunjukkan relevansi program yang berfokus pada peningkatan bahasa di bidang ini. Seminar pembelajaran bahasa dalam ilmu kesehatan telah berfokus pada berbagai bidang dan ditujukan kepada mahasiswa, dosen, dan tenaga profesional di sektor ini. Hubungan pasien-dokter harus mengarah pada hasil yang positif, terlepas dari tempat asal, usia, atau jenis kelamin; Dua hal penting yang perlu dipertimbangkan:

1. Penting untuk mempelajari bahasa negara tuan rumah agar dapat berkomunikasi dengan penduduk;
2. Aspek sosio-medis dan perbedaan budaya, karena persepsi terhadap patologi tertentu dan penilaian emosionalnya merupakan dua aspek yang saling berkaitan erat.

Intervensi Bahasa dalam Hubungan Dokter-Pasien

Penerimaannya selalu signifikan; proposal metodologis yang lebih singkat untuk intervensi bahasa improvisasi dalam hubungan dokter-pasien sangat banyak. Pada saat yang sama, para profesional, terutama dokter, membutuhkan peningkatan berkelanjutan dan seumur hidup dalam aspek linguistik karena keberhasilan banyak keluhan medis bergantung pada fungsi lingkungan kerja yang baik dan proses pembelajaran yang berkelanjutan. Tidak mudah untuk menerapkan program peningkatan keterampilan linguistik bagi tenaga kesehatan kita. Kursus khusus dalam komunikasi berisi unit bahasa di mana wawancara pasien-dokter disimulasikan dalam kehidupan nyata. Kursus ini digunakan dalam seminar tentang kesehatan dan narasi lisan yang mensimulasikan tindakan hubungan. Selain itu, kita dapat menemukan teknik-teknik ini dalam seminar, lokakarya, diskusi panel, dan hari-hari khusus tentang kesehatan dan pendidikan dalam pelatihan profesional. Dalam spesialisasi lain, mereka mungkin telah disesuaikan dengan kegiatan linguistik umum yang tidak terkait dengan kesehatan. Mengenai penerapan aspek linguistik dalam studi kedokteran berbasis kesehatan, akan tepat untuk mengorganisasikan kelompok kerja dengan guru dari unit yang berbeda. Namun, kami percaya bahwa bahasa harus "digarap." Ini melibatkan guru kesehatan yang mengetahui tata bahasa komunikatif dan ucapan yang sehat. Oleh karena itu, dengan mempertimbangkan kompetensi guru umum mata pelajaran kesehatan dalam konteks bilingualisme, kami memperluas konsep tentang apa itu guru komunikasi kesehatan. Proposal praktis kami ditujukan pada pelatihan linguistik khusus bagi para profesional kesehatan agar lebih siap menghadapi situasi medis-sosio-budaya yang berbeda dan beragam dalam konteks pekerjaan mereka dengan populasi yang ada di wilayah sementara dan permanen mereka.

14.6 PELATIHAN KEPEKAAN BUDAYA

Komunikasi dokter-pasien yang efektif dan penuh hormat bergantung pada pemahaman yang baik tentang beragam tradisi budaya, nilai-nilai, dan saluran komunikasi.

Budaya dan Model Filosofis Etis

Karena budaya masyarakat medis yang plural sering dipengaruhi oleh perubahan akibat imigrasi atau diversifikasi budaya, akses dan penyediaan perawatan yang disesuaikan secara individual meningkat sesuai dengan kepekaan budaya yang beralasan. Saat ini, tenaga kesehatan profesional umumnya dilatih melalui program khusus yang mengembangkan empati mereka, menunjukkan rasa hormat dan minat kepada orang lain tanpa memandang asal mereka, dan meningkatkan kesadaran akan bentuk-bentuk komunikasi yang dominan dalam budaya lain dan perilaku diskriminatif mereka. Pelatihan budaya mengajarkan nilai-nilai budaya lain dan model etika dan filosofis dan juga harus mencakup pelatihan tanggung jawab etis. Untuk memperjelas, kompetensi antarbudaya adalah pengetahuan dan kemampuan gabungan yang diperlukan untuk komunikasi antara tenaga profesional dan tenaga medis awam dengan latar belakang budaya yang berbeda, yang memastikan keterbukaan, minat, dan pemahaman akan kebutuhan pasien dan, pada saat yang sama, mempertimbangkan aspek linguistik, agama, dan sosial dari orang sehat dan sakit.

Pelatihan Keterampilan Klinis dan Komunikasi Profesional

Isi dan metode pelatihan harus didiskusikan bersama para profesional. Dengan fokus yang jelas, program kepekaan budaya internal harus menjadi bagian dari pelatihan keterampilan klinis dan komunikasi profesional serta pelatihan profesional lanjutan. Pendekatan ini akan mendorong perolehan struktur dan strategi yang diperlukan serta berkontribusi pada penerimaan yang luas. Program kepekaan budaya diimplementasikan secara berbeda dalam hal ini, masing-masing sesuai dengan tujuan khusus perusahaan dan tujuan strategis serta bidang pelayanan kesehatan, tetapi dari praktik pelaksanaannya, dari satu komunitas ke komunitas lainnya, strategi yang berhasil dilaporkan. Ada beberapa tantangan dalam memahami tenaga kerja sebagai kelompok sasaran untuk pekerjaan keberagaman budaya—pelatihan apa pun dapat menjadi sia-sia jika, seperti dalam kebanyakan kasus, hanya pihak yang berkepentingan yang dijangkau; naturalisasi dan etnosentrisme di tingkat individu dan institusional menimbulkan pertanyaan tentang perlunya perhatian transkultural di klinik.

Penyangkalan atas Ketidakadilan dan Ketimpangan Kesehatan

Kurangnya kesadaran atau penyangkalan atas ketidakadilan dan ketimpangan kesehatan yang berkaitan dengan rasisme dan bentuk-bentuk pengaruh lain yang berkaitan dengan perawatan kesehatan memberikan landasan yang subur bagi ilusi bahwa pendekatan profesional terhadap keberagaman budaya tidak membutuhkan sumber daya yang besar dan dapat diselesaikan sebagai kebijakan terpisah yang marginal. Implementasi yang tepat dari inisiatif-inisiatif tersebut pada akhirnya membutuhkan intervensi dan perubahan di tingkat institusi. Perawatan yang tepat bagi imigran membutuhkan perawatan yang komprehensif dan pemanfaatan tenaga kerja multikultural. Kurangnya keberagaman budaya merupakan salah satu alasan menurunnya kualitas layanan medis dalam hal dampak perawatan dan proses pembentukan hubungan. Sehubungan dengan keterampilan bekerja dengan orang lain, kemungkinan mengintegrasikan komponen budaya sebagai terapis sangat penting, tetapi ada lebih dari itu. Hasil dari layanan medis adalah penyediaan layanan kesehatan yang berkualitas,

yang dapat memiliki implikasi yang sangat berbeda di berbagai wilayah di dunia. Integrasi yang tepat juga merupakan aspek sosial yang dimungkinkan dalam kerangka kehalusan, yang dapat dihadirkan oleh pendekatan yang tepat terhadap perawatan antarbudaya.

14.7 STUDI KASUS DAN KISAH SUKSES

Peningkatan pendanaan dan dukungan telah memungkinkan pihak lain untuk mengembangkan layanan yang lebih inovatif dan berjangka panjang. Departemen Kesehatan bersama-sama mengeksplorasi sikap konsultan terhadap dukungan bahasa di NHS. Departemen Pendidikan dan Keterampilan memberikan beberapa hibah tambahan untuk portofolio program komunikasi DECSU. Berbeda dengan tahun 1995, konferensi NALA pada bulan Mei 1998 menghasilkan laporan yang bermanfaat dalam sebuah publikasi medis. Baru-baru ini, sebuah program televisi membahas praktik komunikasi yang baik dengan penduduk Tuli setempat di Torquay, Inggris.

Berinvestasi di Divisi Dukungan Komunikasi

Karena keterbatasan waktu dan sumber daya, daftar ini bukanlah daftar yang lengkap, tetapi berisi studi kasus dari beberapa inisiatif di Inggris yang diwakili dalam LEON Work Clinic di Cambridge pada Juni 2003. Tujuh studi kasus menggambarkan keragaman strategi yang digunakan, jenis masalah yang perlu diatasi, dan hasil mengesankan yang telah dicapai. Dimulai dengan contoh-contoh yang menjadi ciri khas banyak inisiatif yang diselenggarakan di luar jam kerja normal, Learn Clinic menyediakan waktu untuk mendengarkan para ahli dari luar negeri, berkontribusi dalam diskusi panel, dan berjejaring dengan pihak lain di samping isu-isu Tanggung Jawab Sosial Perusahaan yang relevan, serta memenuhi kebutuhan komunikasi. Sebuah perusahaan TI dan organisasi Tuli nasional yang sedang berkampanye sering ditanya tentang berapa keuntungan yang akan diperoleh dari investasi di divisi Dukungan Komunikasi. Apakah ini akan merugikan, tidak ada keuntungan finansial, atau hanya berkaitan dengan Tanggung Jawab Sosial Perusahaan? Jawabannya sederhana! Semua hal di atas adalah benar, dan berhasil! Pernyataan yang luar biasa! Melanjutkan kontribusi sebelumnya, berikut adalah beberapa bukti yang mendukung pernyataan ini. Saat ini, Unit Dukungan Komunikasi Ketulian lebih berkelanjutan dan mampu memanfaatkan dana inti Universitas dengan lebih baik karena mereka dapat mensubsidi beberapa layanan melalui perdagangan. Kenyataannya, Leicester saat ini memimpin Inggris dalam praktik terbaik, karya inovatif, dan memberikan layanan berkualitas tinggi kepada staf, mahasiswa, dan klien eksternal dengan kebutuhan komunikasi. Tingkat keberhasilan ini tidak akan mungkin tercapai tanpa investasi yang menyediakan dana awal untuk memulai rangkaian layanan berkualitas profesional ini. Bagian layanan klinik dan penempatan departemen menyediakan kursus berstandar tinggi bagi para penutur isyarat yang akan mendapatkan penghasilan hingga Rp.750.000 per jam. Melalui kolaborasi, para spesialis, audiolog, dan profesional anak usia dini secara kolektif menyimpulkan bahwa "langkah awal terbaik" adalah mengiklankan, mengidentifikasi, dan melatih orang-orang yang sudah tinggal di Australia dan memegang CIV Australia. Kelompok ini dikenal sebagai "proxyTAP". Program Pelatihan Individual telah dimulai untuk individu-individu ini. Program ini didukung oleh organisasi-organisasi terkait yang menganut praktik terbaik internasional.

Program Dukungan Bahasa Inovatif

Tindak lanjut dari Santiago Rivera: Salah satu program populer adalah Lingkaran Bahasa Kesehatan Multibahasa Sick Kids. Lingkaran ini menyambut pasien dan penerjemah multibahasa untuk bekerja sama mengatasi masalah kesehatan yang kompleks menggunakan strategi bahasa sehari-hari dan telah diperluas ke Pusat Kesehatan Wellington Barat. Interpretasi dua arah telah menunjukkan kepada para peserta dalam pergeseran Timur Laut Kanada dinamika kekuatan pasien-penyedia layanan. Tinjauan Sistematis tentang Hambatan Bahasa dan Komunikasi dalam Perawatan Medis menambahkan kerangka kerja keterlibatan pasien yang diidentifikasi dalam literatur, di mana literasi kesehatan yang dibutuhkan pasien diciptakan melalui "proses konsultatif" dengan penyedia layanan, administrator, peneliti, dan pakar kebijakan.

Umpan balik dari para pemimpin dan inovator komunitas sangat bulat – semua orang senang dengan tim dan dukungan interpretasi bahasa kami; kami sedang memperbarui dukungan bahasa di lantai 2 Corktown dan di Regent Park. Misalnya, "Ini telah berkembang dari pekerjaan Proyek TALK yang Anda bantu sekitar 10 tahun yang lalu. Saat itu fokusnya hanya menawarkan layanan penerjemahan untuk mendukung komunitas berbahasa Katalan. Selama 10 tahun ini, program Anda telah berkembang luas dan mendalam hingga menjadi, bagi saya, sistem layanan kesehatan terkemuka yang sesuai dengan penerjemah yang menghubungkan dan berkomunikasi dengan komunitas yang beragam budaya yang merupakan mitra pasien kami dalam layanan kesehatan. Anda telah menanggapi kebutuhan dan pandangan mereka, dan singkatan baru ini, "Proyek TALK," mewakili yang terbaik dalam layanan ini untuk ratusan ribu penduduk Toronto. Melibatkan Anda sebagai konsultan berarti pendekatan, pengalaman, dan metode Anda untuk melibatkan dan mendukung komunitas bahasa yang beragam dalam sistem layanan kesehatan akan berdampak pada mereka yang menawarkan dan mengevaluasi ketiga opsi mesin ini.

14.8 TANTANGAN DAN KETERBATASAN

Berbagai faktor kontekstual menghambat implementasi dukungan bahasa dalam tatanan layanan kesehatan. Keberhasilan sebagian besar bergantung pada ketersediaan dana, sumber daya dukungan bahasa (personel, modal, waktu, dan lainnya.), dan kebijakan institusi yang secara bersamaan mendukung dan memungkinkan integrasi staf pendukung bahasa ke dalam kehidupan sehari-hari organisasi layanan kesehatan. Intervensi yang tidak mempertimbangkan kesiapan atau kapasitas institusi untuk menyediakan dukungan bahasa kemungkinan besar akan gagal menghasilkan komunikasi dokter-pasien yang optimal sebagaimana yang diharapkan oleh penelitian di lapangan. Resistensi tambahan di tingkat praktisi dapat menghambat upaya implementasi. Upaya yang lebih luas untuk mencapai strategi pelibatan pemangku kepentingan yang lebih baik dalam hal ini menawarkan rekomendasi untuk perubahan praktik yang berhasil.

Mengingat bahwa organisasi layanan kesehatan dapat mempekerjakan penerjemah atau menerima materi terjemahan dengan pemahaman bahwa tidak ada sertifikasi yang secara rasional mengurangi potensi, atau hasil dari, litigasi malapraktik medis, dapat

dimengerti jika praktisi penerjemahan akan skeptis terhadap profesionalisasi bidang mereka. Namun, hasil kognitif dan layanan yang seragam positif dari komunikasi pasien-dokter LEP adalah yang terkait dengan program yang dipimpin secara profesional dan bersertifikat/terakreditasi secara institusional. Masalah lain yang diidentifikasi sebagai potensi kerugian bagi keterlibatan pasien LEP dalam penelitian adalah ketakutan akan kualitas data yang menurun, biaya layanan bahasa yang dilaporkan cukup tinggi, dan, khususnya, kegelisahan atas tingkat dan kualitas pemantauan pasien dan penyimpanan data terkait dengan masalah privasi dan etika. Isi dari kekhawatiran partisipan terakhir ini memiliki efek dunia nyata terutama pada tingkat sistem, sering kali melampaui batas konsensus tentang menjaga otonomi pasien untuk fokus pada norma situasional layanan bahasa umum dan kebijakan penggunaan. Pengawasan yang disesuaikan biasanya mengawasi hal-hal ini bersamaan dengan hubungan subjek penelitian manusia yang dipantau dengan pengobatan klinis atau penelitian penyakit. Hal-hal ini terlalu diselesaikan dengan baik melalui penilaian untuk persetujuan yang mumpuni untuk menimbulkan pertanyaan pasien tersirat tentang privasi, kepercayaan sistem, dan keadilan. Secara praktis, seperti yang dikhawatirkan para informan, kontrol variabel yang lebih baik, data basis penelitian yang lebih representatif, dan kolaborasi lintas studi yang difasilitasi yang mengarah pada pengambilan keputusan yang lebih berbasis bukti membutuhkan partisipasi dan kepercayaan yang dapat dikonversi dengan tingkat detail demografis, bahkan seperti yang dilaporkan dalam persetujuan informasi pasien yang lebih tua yang diharapkan memperluas metadata pada tingkat skrining sistem dan komunitas.

Kekhawatiran Privasi

Beberapa upaya telah dilakukan untuk mendukung komunikasi antara pasien dan penyedia layanan kesehatan dengan membantu percakapan mengalir melalui alat penerjemahan dan interpretasi. Namun, inisiatif dukungan bahasa berskala besar dalam layanan kesehatan harus dengan cermat menyeimbangkan manfaat yang mungkin diperoleh dengan pentingnya memastikan privasi data pasien. Kondisi dan perawatan medis bersifat sangat pribadi, dan menjaga privasi data pasien dapat menjadi sulit karena sifat publik dari dukungan bahasa melalui platform digital, terutama obrolan. Yang khususnya relevan adalah pelepasan data pasien sebagai hasil dari layanan penerjemahan atau akses bahasa. Alat perantara ini menyimpan salinan percakapan dan membocorkan detail kasus pasien ke media. Dengan munculnya platform akses bahasa digital daring yang aman dan terenkripsi, banyak yang telah meningkatkan standar kepatuhan dan penggunaan kerangka kerja regulasi, pelatihan praktik terbaik, dan ketentuan NDA. Namun, masalah masih dapat muncul, terutama ketika perlindungan hukum tersebut tidak mematuhi ekspor data dan undang-undang privasi pasien yang menghalangi penyedia terjemahan dan akses bahasa untuk mendapatkan akses ke data mentah.

Karena banyaknya informasi pasien terperinci yang sedang dibahas, baik secara artifisial melalui chatbot maupun melalui proses penerjemahan mesin atau manusia, yang sekarang cenderung disimpan, terdapat potensi risiko yang lebih besar terhadap hilangnya data kesehatan pribadi. Percakapan terenkripsi yang rentan untuk dipulihkan baik oleh pihak-

pihak dengan kunci dekripsi yang sesuai atau penyedia layanan merupakan perhatian utama dalam dukungan bahasa dan penerjemahan mesin. Secara tradisional, dalam penelitian dan pengembangan teknologi dukungan bahasa, terdapat penerimaan yang terbatas terhadap pernyataan dampak privasi, dan hanya sedikit, jika ada, proyek sebelum menjalankan uji coba dengan pasien atau penyedia telah tunduk pada proses tinjauan etik atau undang-undang hukum yang dipersonalisasi. Dengan demikian, privasi sering kali menjadi pengawasan yang signifikan dalam perencanaan teknologi dukungan bahasa selama siklus pengembangan produk dan dalam tinjauan adopsi, penggunaan, dan dampak. Pembagian data pasien yang bersifat rahasia, bahkan secara tidak sengaja, dapat menimbulkan dampak serius. Menyediakan akses dan alat pendukung bahasa kesehatan memang penting, namun dampak dari kesalahan proses bahasa dan pelanggaran rekam medis pribadi pasien, dalam skenario terburuk, dapat mengakibatkan bunuh diri, kematian, dampak pada perawatan medis, masalah hukum, atau diskriminasi, atau kerugian, seperti dalam hal pekerjaan. Pelatihan bagi chatbot dan penyedia alat pendukung bahasa tentang cara menerjemahkan dan menginterpretasi secara efektif sekaligus memastikan privasi pasien tetap terjaga merupakan kegiatan yang penting dan berkelanjutan.

Kualitas Layanan Penerjemahan

Layanan penerjemahan yang efektif diperlukan bagi penyedia layanan kesehatan untuk memahami kebutuhan pasien mereka, yang tampak sebagai kebutuhan eksplisit dalam standar American College of Emergency Physicians dan Joint Commission. Meskipun perangkat penerjemahan berbasis TI telah banyak digunakan di fasilitas pelayanan kesehatan selama dekade terakhir, layanan yang paling canggih sekalipun masih dapat menghasilkan terjemahan yang sulit dipahami atau memperpanjang waktu interpretasi karena tidak memenuhi persyaratan sektor kesehatan. Ada beberapa alasan di balik perbedaan yang tampak antara keberhasilan layanan penerjemahan berbasis TI di berbagai rumah sakit: perbedaan dalam administrasi, kriteria, saturasi, permintaan, pencegahan, dan penggunaan perangkat QCAT. Mengenai pertanyaan tentang bagaimana mengintegrasikan solusi berbasis TI, elemen evaluasi akan diperkenalkan. Contoh kesalahan medis yang dilakukan karena kurangnya penerjemah yang ideal. Konsekuensi serius dapat timbul dari kesalahan dalam sertifikasi penerjemahan. Kematian seorang perempuan pada tahun 2007, di mana kata "intoxicado" keliru diterjemahkan sebagai "mabuk" alih-alih "racun", menunjukkan pentingnya informasi tentang obat-obatan yang dikonsumsi pasien. Sesak napas yang dialaminya secara tidak akurat hanya dicantumkan sebagai "sesak napas ringan". Bahaya-bahaya ini telah mendorong beberapa peneliti untuk mengadvokasi sertifikasi permanen dan pendidikan berkelanjutan HSP sebagai tolok ukur pengganti evaluasi perangkat lunak guna memaksimalkan produktivitas dan kualitas keluaran mereka. Studi mendatang mungkin menunjukkan bahwa keberadaan penyedia data dapat memengaruhi pertumbuhan dan cakupan neologisme. Tentu saja, keberadaan perangkat lunak QCAT juga mungkin krusial saat ini. Namun, masih belum terbukti seberapa valid bukti tersebut dan apakah penyedia perangkat lunak akan tertarik pada bukti tersebut. Menjalankan evaluasi yang tepat sulit dilakukan terutama karena adanya disonansi antara standar operasional dan berbagai konteks di mana HSP berfungsi. Selain itu, karena TI

memenuhi sertifikasi dengan sangat baik, semacam sertifikasi manual atau metode reorganisasi mungkin disertakan dalam penilaian QCAT. Oleh karena itu, evaluasi di masa mendatang sangat dianjurkan meskipun kebutuhan akan pengujian lebih lanjut terhadap pengembangan TI masih sangat besar.

14.9 ARAH DAN REKOMENDASI MENDATANG

Temuan kami penting karena negara ini diperkirakan memiliki proporsi penutur bahasa Inggris terbatas terbesar. Temuan kami yang menghubungkan dukungan bahasa dengan keberagaman bahasa dapat berimplikasi pada banyak konteks di mana akses terhadap komunikasi efektif dengan penyedia layanan kesehatan dan informasi kesehatan masih menjadi tantangan. Yang penting, meskipun temuan kami menawarkan beberapa bahan pertimbangan untuk kebijakan yang diarahkan pada peningkatan keberagaman bahasa, kami menekankan kembali bahwa penerapan layanan bahasa dan kebijakan terkait tanpa mengintegrasikan kebutuhan bahasa populasi yang beragam kepada pengguna akhir teknologi kesehatan justru dapat menciptakan disparitas kesehatan yang lebih besar.

Strategi untuk memperkenalkan teknologi yang lebih maju, seperti agen percakapan AI yang mampu menyediakan komunikasi real-time, peka bahasa, dan akurat, memiliki potensi besar untuk diimplementasikan dalam layanan kesehatan. Hal ini sangat penting, mengingat perkembangan terbaru dalam AI percakapan multibahasa yang mengintegrasikan lapisan penerjemahan, yang memungkinkan agen percakapan menerjemahkan dan merespons pasien dalam bahasa baru secara bersamaan, sehingga untuk pertama kalinya layanan penerjemahan yang hampir real-time dan akurat dalam banyak bahasa tersedia. Studi perilaku dan kegunaan juga diperlukan untuk mengevaluasi tidak hanya kelayakan sistem tetapi juga berbagai faktor penerimaan sosial yang berperan. Penting bagi setiap layanan kesehatan untuk mempertimbangkan penerapan sistem pendukung bahasa AI terlebih dahulu guna mengembangkan pemahaman yang jelas tentang kebutuhan dan keinginan nyata komunitas LEP setempat. Hal ini hanya dapat dilakukan melalui konsultasi dengan para ahli linguistik, pasien, dan komunitas. Selain itu, kami merekomendasikan agar otoritas kesehatan, peneliti, dan pembuat kebijakan mengeksplorasi solusi lebih lanjut untuk mengintegrasikan kebutuhan bahasa pasien ke dalam komunikasi kesehatan yang berfokus pada komunitas yang lebih luas, bukan sistem layanan kesehatan. Solusi-solusi ini mewujudkan prinsip-prinsip desain universal dan memberikan pemangku kepentingan komunitas, termasuk individu LEP, suara dalam desain sistem yang dibuat untuk memenuhi kebutuhan mereka. Misalnya, pada tingkat komunitas yang lebih luas, prinsip-prinsip desain universal yang sama dapat digunakan melalui strategi komunikasi yang ditargetkan yang membahas perilaku kesehatan tertentu di antara kelompok-kelompok linguistik tertentu. Inisiatif berbasis populasi seperti itu dalam komunikasi dan akses ke layanan kesehatan juga dapat difasilitasi oleh perubahan undang-undang akses bahasa federal dan negara bagian, yang mengamankan akses eksklusif untuk individu LEP di titik perawatan daripada terlibat dengan kebutuhan kelompok linguistik tertentu di seluruh komunitas yang mereka layani. Selain itu, otoritas kesehatan masyarakat federal dan negara bagian dan badan akreditasi dapat fokus untuk memberikan insentif yang besar kepada sistem

kesehatan untuk berinvestasi dalam sistem dan kebijakan komunikasi multibahasa, serta pengumpulan data tentang bahasa pasien dan preferensi bahasa yang diinginkan, di luar layanan penerjemah. Langkah terakhir dalam penelitian mendatang harus berfokus pada studi kebijakan untuk layanan kesehatan interpersonal dan komunikasi kesehatan yang inklusif terhadap keberagaman bahasa, serta mengeksplorasi konvergensi keadilan bahasa dan kesetaraan kesehatan, yaitu masyarakat di mana setiap orang dapat berkomunikasi dan mengakses sistem kesehatan dalam bahasa pilihan mereka.

Integrasi AI dalam Dukungan Bahasa

Perbedaan bahasa dan budaya menunjukkan perlunya intervensi dukungan bahasa. Dengan menambahkan AI, Pemrosesan Bahasa Alami (Natural Language Processing/NLP) yang disempurnakan dan didukung AI dapat mencapai interpretasi waktu nyata (real-time) sambil menangani dialek dan beragam gaya komunikasi. Melalui solusi cloud, manfaat evolusi berkelanjutan dari pembelajaran mesin dapat dimanfaatkan. Penyedia layanan kesehatan tidak perlu khawatir tentang pembaruan. Selain itu, algoritma pembelajaran mesin dapat dilatih secara berkelanjutan untuk setiap komunikasi pasien. Dengan menggunakan konteks, terminal dapat menyempurnakan dialek komunikasi untuk diskusi berikutnya. Seiring waktu, tingkat kepercayaan akan meningkat. Sistem dapat beralih ke diskusi mayoritas, yang dapat secara signifikan memangkas biaya atau meningkatkan kinerja. Pasien tetap harus menyetujuinya, dan menyatakannya sebagai alat dan mekanisme pengumpulan data. Ini berfungsi dengan baik sebagai perangkat seluler untuk berdiskusi. Laporan menyarankan agar ini dibuat lebih fleksibel dan juga menjadi bagian dari rekam medis pasien untuk perawatan di masa mendatang. Namun, mengintegrasikan warisan budaya dalam dukungan empati dan agen percakapan memerlukan pengujian menyeluruh sebelum implementasi. AI tidak sempurna dan tidak selalu mengarah pada kepercayaan pasien. Perawat bertindak sebagai lini kedua kontrol kualitas selama pendaftaran untuk memastikan bahwa komputer berbicara dalam bahasa Inggris yang dapat diterima. Bahasa Inggris menerima 13 orang yang berbeda. Karena pilihan untuk menggunakan 13 penutur bahasa Inggris yang berbeda untuk menciptakan sejumlah besar situasi pelatihan dan ujian, hal ini diperlukan. Sistem ini mungkin sensitif secara budaya dan demografis.

Ringkasan Temuan Utama

Meningkatnya keragaman dan hambatan bahasa menjadikan komunikasi antara pasien dan tenaga kesehatan sebagai tantangan berkelanjutan. Karena komunikasi ini terkait dengan berbagai hasil kesehatan, tantangan-tantangan ini perlu diatasi. Esai ini membahas isu-isu dalam komunikasi dokter-pasien, dampak keragaman terhadap layanan kesehatan, dan berbagai strategi untuk meningkatkan komunikasi. Beberapa strategi yang paling berhasil meliputi perekrutan staf bilingual atau multilingual, penggunaan penerjemah terlatih, dan penggunaan teknologi interpretasi atau penerjemahan. Meskipun kemajuan teknologi telah memungkinkan beberapa organisasi layanan kesehatan untuk menawarkan layanan interpretasi bahasa, terdapat bukti yang menunjukkan bahwa perangkat ini harus digunakan bersamaan dengan layanan penerjemahan agar sepenuhnya efektif dan harus sesuai secara budaya dengan komunitas yang dilayani. Terlepas dari pilihan-pilihan dukungan bahasa ini,

pendidikan atau pelatihan yang terbatas tentang cara memberikan perawatan ketika terdapat hambatan bahasa mungkin tidak akan sepenuhnya memanfaatkan program-program ini. Pemanfaatan penuh program dukungan bahasa dan kompetensi budaya akan bermanfaat di banyak tatanan layanan kesehatan. Meskipun dukungan bahasa memiliki manfaat yang jelas, penting untuk terus menilai dan mengadaptasi sistem pendukung guna mengoptimalkan perawatan pasien dengan keterbatasan kemampuan bahasa Inggris. Keahlian ideal bagi juru bahasa kesehatan tidak hanya mencakup kefasihan dalam bahasa yang diminta, tetapi juga kompetensi budaya dan kemampuan untuk menjaga kerahasiaan serta mematuhi peraturan. Penyedia layanan kesehatan harus menyadari potensi disparitas yang dapat memengaruhi layanan kesehatan dan menggunakan program serta pelatihan yang efektif untuk memfasilitasi interaksi yang bermakna. Selain itu, undang-undang mewajibkan penyediaan juru bahasa medis terlatih di banyak negara bagian. Penyediaan juru bahasa yang lebih baik juga dapat membantu pendidik medis melatih calon dokter untuk berinteraksi dengan juru bahasa dan secara khusus meminta persetujuan pasien untuk menggunakan juru bahasa. Regulasi dan evaluasi yang berkelanjutan akan membantu meningkatkan layanan bahasa, terutama karena semakin banyak bahasa lisan dan tak lisan yang digunakan di berbagai komunitas.

Pentingnya Dukungan Bahasa yang Ditingkatkan

Kemampuan berkomunikasi dalam bahasa sendiri sangat penting untuk mencari layanan kesehatan. Diperkirakan 21% orang di Amerika Serikat berbicara bahasa selain bahasa Inggris di rumah. Akibatnya, perawat, apoteker, pekerja sosial, dan penyedia layanan kesehatan sekunder lainnya berkomunikasi dengan pasien dalam bahasa mereka setiap hari. Komunikasi yang efektif ini penting tidak hanya untuk memberikan perawatan tetapi juga untuk membangun kepercayaan antara dokter dan pasien. Beragam strategi dapat efektif untuk menyediakan dukungan bahasa dan meningkatkan komunikasi pasien-penyedia layanan, mulai dari menggunakan penerjemah hingga memanfaatkan bahasa yang lugas atau mengurangi jargon. Bagian ini membahas metode yang dikenal untuk komunikasi efektif ini, strategi-strategi di atas untuk memastikan semua pasien memiliki akses ke dukungan bahasa yang tepat, dan cara mengevaluasi kualitas layanan komunikasi. Kami juga membahas manfaat dukungan bahasa. Beragam pemangku kepentingan dan organisasi mendapatkan manfaat dari membawa komunikasi ke tingkat yang memprioritaskan pasien.

Dukungan bahasa yang ditingkatkan menghasilkan pengalaman pasien yang lebih baik, peningkatan kepatuhan terhadap pengobatan dan tindakan pencegahan, serta hasil yang lebih baik. Sistem layanan kesehatan yang seragam dan mengharuskan setiap orang menemukan solusi mereka sendiri untuk mengatasi hambatan bahasa merupakan hal yang menuntut dan tidak logis. Karena semua alasan ini, menyediakan dukungan bahasa efektif yang telah terdokumentasi dapat mengurangi kesenjangan kesehatan dan memiliki dampak positif jangka panjang pada kesehatan fisik dan mental. Bagian ini dimaksudkan untuk menunjukkan bahwa beberapa institusi dan organisasi tidak hanya memiliki kekuatan untuk berkomitmen menyediakan dukungan bahasa yang ditingkatkan tetapi juga dapat melakukannya dengan segera karena para pemimpin menyadari manfaat besar dari pendekatan ini dan akan memprioritaskan sumber daya yang diperlukan juga. Faktanya, beberapa entitas telah

menetapkan norma-norma baru yang inovatif, membuktikan bahwa mereka mampu menciptakan perubahan substansial saat ini. Normalisasikan hal tersebut untuk menginspirasi perubahan besar, bukan untuk mengakui kemajuan yang telah dicapai.

14.10 KESIMPULAN

Salah satu alasan utama untuk meningkatkan pengalaman pasien selama konsultasi adalah untuk meningkatkan kepatuhan dan pemahaman pasien terhadap informasi yang diberikan, sehingga bermanfaat bagi luaran klinis. Hambatan bahasa merugikan pasien dan berkontribusi pada luaran dan kepuasan kesehatan yang kurang optimal. Di era yang ditandai oleh tim layanan kesehatan multikultural dan komunitas pasien yang beragam, prioritasnya mencakup peningkatan dukungan bahasa bagi tenaga kesehatan dan pasien, sehingga mendorong partisipasi yang setara dalam masyarakat. Pengembangan penerjemah layanan kesehatan tambahan dan materi pasien multibahasa merupakan aspek penting dari perluasan kebijakan bahasa dalam layanan kesehatan. Selain itu, pengembangan teknologi yang mendukung tenaga kesehatan dan pasien dalam upaya bersama mereka untuk saling memahami perlu terus dikembangkan. Singkatnya, wawasan kunci berikut muncul: keberagaman memang penting untuk komunikasi dokter-pasien, termasuk dalam konteks pendidikan; pertemuan praktis dan praktik terbaik yang diharapkan membentuk bidang ini; dan teknologi menawarkan kemungkinan inovatif dan mendorong kita untuk melibatkan lebih banyak pemangku kepentingan. Mengingat masyarakat kita yang menua dan semakin beragam, teknologi juga merupakan salah satu cara untuk menjamin komunikasi yang lebih baik dalam konteks multikultural dan untuk meningkatkan kompetensi tenaga kesehatan di masa depan. Meminta perspektif orang-orang di lapangan merupakan langkah penting dalam membantu bergerak ke arah ini. Hambatan bahasa antara tenaga kesehatan dan pasien memiliki efek negatif pada kualitas layanan kesehatan. Ada tren global menuju peningkatan ketersediaan layanan bahasa profesional di rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya. Akibatnya, banyak negara juga telah meningkatkan pelatihan profesional dan penelitian dalam penerjemahan layanan kesehatan. Namun, sebagai akibat dari perubahan kebijakan tersebut menuju dukungan bahasa yang lebih baik dan terstandarisasi, banyak peneliti tidak bekerja dengan penerjemah nonprofesional sama sekali. Kontribusi kami terhadap percakapan ini bergabung dengan beberapa untaian penelitian. Sebagai refleksi penutup, komunikasi selama dan di sekitar pertemuan layanan kesehatan melibatkan banyak lapisan. Wacana medis memengaruhi konstruksi realitas bagi tenaga kesehatan dan peserta. Namun, presentasi medis menganalisis antarmuka kecil antara pasien dan tenaga kesehatan, memunculkan beberapa masalah, beberapa di antaranya melintasi esai. Dalam karya ini, tujuan utama kami adalah menyatukan wawasan paling berharga yang diangkat untuk memperluas dan memperdalam diskusi tentang keberagaman dan komunikasi dokter-pasien, seperti isu-isu yang mungkin mendikte atau menghambatnya sebagai fokus utama, mengeksplorasi berbagai pendekatan, dan khususnya, memperhatikan jalur-jalur yang lebih baru dan paling inovatif. Dengan demikian, esai-esai ini akan memberikan panduan berharga seiring kita melangkah maju dengan keterbatasan komunikasi dan interaksi dokter-pasien saat ini dalam lingkungan

multibahasa. Lebih lanjut, esai-esai ini bertujuan untuk bertindak sebagai tinjauan atas salah satu topik yang akan dibahas, yang memberikan landasan penting bagi penelitian kolaboratif mengenai pertanyaan ini. Kami mengantisipasi aktivitas penelitian lebih lanjut, terutama pada isu-isu pelik tentang siapa yang seharusnya bertanggung jawab atas hal ini, tinjauan atas praktik inovatif di bidang ini, dan isu-isu yang terlibat dalam interaksi antarbudaya.

BAB 15

PENJADWALAN STAFF PENGOBATAN BERBASIS GAN–ELEPHANT CLAN

15.1 PENDAHULUAN

Penjadwalan pegawai, khususnya di rumah sakit, khususnya unit gawat darurat (UGD), merupakan aktivitas penting yang menentukan kualitas layanan yang diberikan kepada pasien. Permintaan di UGD tidak dapat diprediksi; akibatnya, pendekatan umum penjadwalan menjadi tidak efektif dalam mengelola permintaan. Hal ini dapat mengakibatkan kekurangan atau kelebihan staf, yang dapat merugikan kesehatan pasien dan efektivitas program asuhan keperawatan. Metode canggih seperti metode genetika dan terdistribusi digunakan untuk mendistribusikan beban pasien secara efektif dan dengan demikian meningkatkan efisiensi penjadwalan.

Penjadwalan staf di layanan kesehatan tidak hanya melibatkan alokasi jam kerja, tetapi juga mempertimbangkan faktor-faktor berpengaruh yang berpengaruh, seperti ketidakhadiran, permintaan cuti, dan penyediaan layanan 24 jam di area tertentu dalam layanan gawat darurat. Sebagian besar metode penjadwalan tradisional tidak mampu menangani faktor-faktor tersebut, sehingga mengakibatkan staf yang bekerja berlebihan atau, sebaliknya, sumber daya yang kurang dimanfaatkan, sehingga meningkatkan biaya operasional. Terlepas dari tantangan-tantangan ini, kemajuan terkini dalam pembelajaran mesin (ML) dan metodologi optimasi menghadirkan solusi potensial.

Penelitian ini bertujuan untuk menghadirkan solusi baru, Generative Adversarial Network (GAN)–Resilient Elephant Clan Optimization (RECO), untuk meningkatkan penjadwalan staf di UGD. Dengan menggabungkan metode-metode ampuh ini, proposal penelitian ini diharapkan menghasilkan pendekatan yang lebih efektif dan lebih murah untuk mengatasi tantangan penjadwalan akibat lingkungan permintaan yang tidak pasti.

15.2 PENJADWALAN DAN PENEMPATAN STAFF

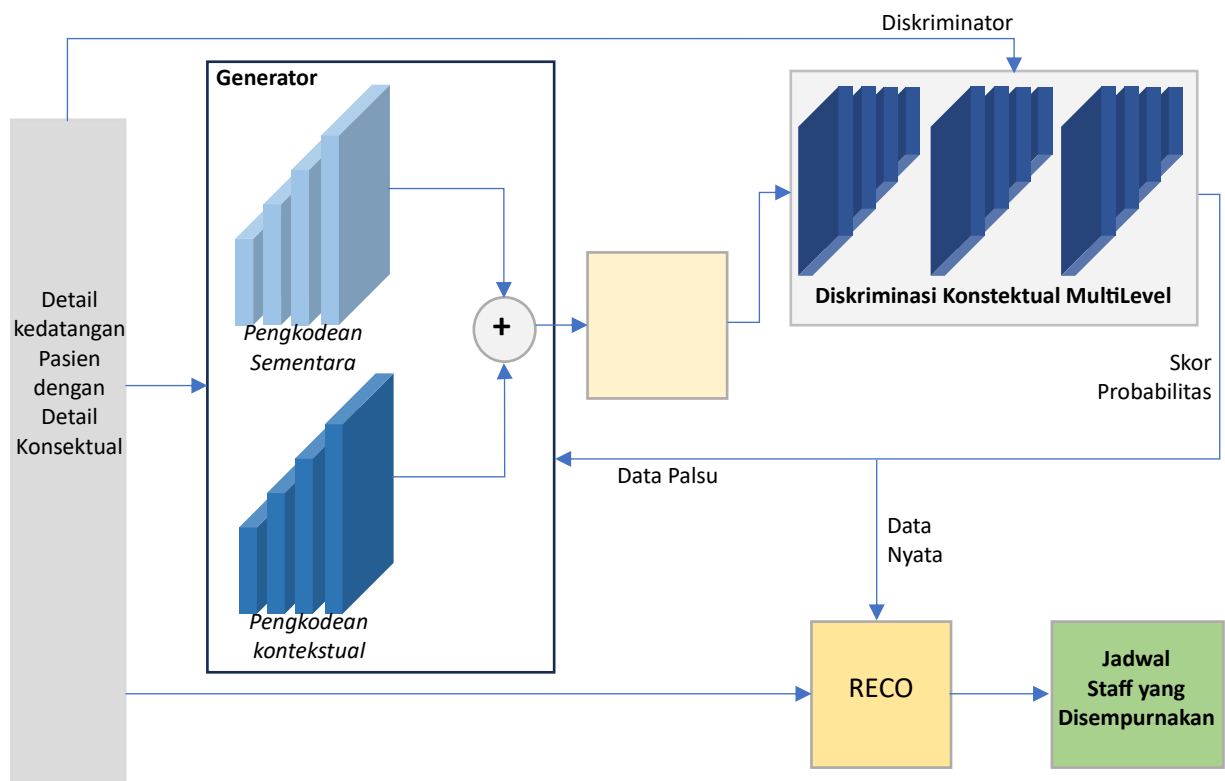
Metode penempatan staf dan penjadwalan dalam kondisi kepastian menggambarkan beberapa pendekatan ampuh untuk skenario dunia nyata. Matinrad dan rekan-rekan telah mencoba studi yang lebih baru di mana kekhawatiran tentang pengiriman sukarelawan dalam situasi tanggap darurat telah diajukan, dan mereka menyadari bahwa menetapkan tugas sebelum mengetahui ketersediaan sukarelawan itu sulit. Meskipun metode heuristik memberikan beberapa peningkatan pada strategi yang ada, kompleksitas komputasinya mencegah penggunaannya untuk masalah besar. Dalam penjadwalan ulang produksi, terutama selama permintaan dan waktu pemrosesan yang tidak pasti, Rohaninejad dan rekan-rekan mengusulkan bahwa penggabungan teknik Pembelajaran Mesin (ML) berpotensi memberikan efek menguntungkan pada penjadwalan dan biaya produksi.

Guerriero dan Guido menyelidiki penjadwalan staf yang fleksibel menggunakan model optimasi, terutama dalam respons terhadap virus COVID-19 yang membutuhkan langkah-langkah keamanan dalam penjadwalan staf sekaligus memperhatikan tanggung jawab pribadi karyawan. Demikian pula, Koruca dan rekan-rekan memperkenalkan konsep penjadwalan staf yang dipersonalisasi dalam organisasi pelayanan kesehatan dengan tujuan meningkatkan keseimbangan kerja-kehidupan melalui preferensi waktu kerja dan waktu mulai kerja karena efisiensi diharapkan dapat mengurangi kelelahan kerja. Pendekatan ini menekankan penerapan metode optimasi dan pembelajaran mesin (ML) untuk meningkatkan pengambilan keputusan di berbagai domain kepegawaian dan penjadwalan, dan dapat memberikan ide untuk meningkatkan ketahanan sistem tersebut.

Namun, metode yang digunakan untuk menjadwalkan staf di UGD menghadapi tantangan yang signifikan, terutama terkait dengan pengelolaan arus pasien yang bervariasi. Masalah umum yang terkait dengan pendekatan ini meliputi waktu tunggu yang lama, kurangnya ketersediaan staf selama puncak permintaan pasien, dan pola kepegawaian yang tidak efisien. Untuk mengatasi keterbatasan ini, sebuah kerangka kerja inovatif yang menggabungkan GAN dengan RECO diusulkan untuk penjadwalan staf yang efisien. Kerangka kerja ini memiliki keuntungan karena lebih fleksibel dan adaptif dalam penjadwalan, yang membantu menghindari masalah pendekatan konvensional dan meningkatkan kualitas kerja, mengurangi waktu tunggu, serta menyelaraskan staf dengan kebutuhan pasien secara lebih efektif untuk mencapai luaran pelayanan kesehatan yang sebenarnya di UGD.

15.3 TEKNIK OPTIMASI CERDAS

Kerangka kerja GAN-RECO (Gambar 15.1) meningkatkan penjadwalan staf UGD dengan menggabungkan pembangkitan data tingkat lanjut dengan teknik optimasi cerdas. Proses ini dimulai dengan mengumpulkan data historis kedatangan pasien, beserta konteks seperti waktu, cuaca, dan acara publik. Dengan menggunakan informasi ini, generator GAN menciptakan pola kedatangan pasien sintetis yang sangat mencerminkan variasi di dunia nyata, memastikan data akurat dan relevan. Diskriminator kemudian memeriksa seberapa realistis data yang dihasilkan dengan membandingkannya dengan pola aktual dan memberikan umpan balik untuk menyempurnakan keluaran generator. Untuk lebih meningkatkan akurasi proses ini, RECO menyempurnakan parameter utama GAN, seperti laju pembelajaran dan sensitivitas, untuk meningkatkan kualitas data yang dihasilkan dan jadwal staf yang dihasilkan. Setelah data disempurnakan, GAN menggunakannya untuk membuat jadwal staf, yang kemudian dioptimalkan melalui Elephant Clan Optimization (ECO). Resilient Clan Formation (RCF) ECO menyeimbangkan jadwal yang stabil dan andal untuk lalu lintas pasien reguler dengan opsi yang lebih fleksibel dan adaptif untuk menangani lonjakan permintaan yang tiba-tiba. Seiring perkembangan ECO, ECO terus menyesuaikan jadwal yang berkinerja buruk, memindahkannya antar klan untuk meningkatkan efisiensi. Kombinasi pembangkitan data GAN yang canggih dan optimasi ECO yang fleksibel memastikan bahwa jadwal akhir realistis, adaptif terhadap fluktuasi permintaan, hemat biaya, dan meningkatkan kepuasan staf.



Gambar 15.1 Kerangka Kerja GAN-RECO.

Pengumpulan Data

Untuk membuat model yang efektif dalam memprediksi permintaan dan jadwal optimal untuk kepegawaian, pengumpulan data historis yang luas dan lengkap diperlukan. Data ini membentuk dasar riwayat permintaan dan konteks untuk pelatihan GAN dan untuk pengoperasian RECO pada set data permintaan multi-tahap. Proses pengumpulan data melibatkan pengumpulan catatan ekstensif dari UGD, dan set data ini mencakup beberapa komponen utama:

Variabel Waktu: Detail jam, hari dalam seminggu, dan perubahan musim memengaruhi lalu lintas pasien ke rumah sakit. Pola yang ditentukan oleh waktu ini sangat relevan untuk menangkap variasi harian dan mingguan dalam permintaan UGD. Menurut Naderi dan rekan-rekan, variabel temporal harus dimasukkan untuk mendukung optimasi penjadwalan.

Variabel Kontekstual: Faktor lingkungan lainnya termasuk kondisi cuaca, acara, hari libur, dan situasi sosial ekonomi yang juga dapat menentukan kedatangan pasien di rumah sakit. Variabel kontekstual memungkinkan representasi permintaan riil secara lebih akurat dibandingkan dengan menggunakan data asli, sebagaimana diilustrasikan secara jelas oleh Yu bersama rekan, dan penggunaan data kontekstual untuk meningkatkan model penjadwalan.

Data tersebut direpresentasikan secara matematis sebagai:

$$Data = \{T_t, C_c\} \quad (15.1)$$

di mana T_t merepresentasikan variabel waktu, C_c merepresentasikan variabel kontekstual, dan P_a merepresentasikan pola kedatangan pasien. Hal ini memungkinkan pembuatan skenario permintaan sintetis yang realistis dengan kumpulan data komprehensif ini.

Prediksi Permintaan Berbasis GAN

Dengan menerapkan model generatif berbasis GAN, permintaan dapat dimodelkan dalam rentang yang luas, yang membantu meningkatkan akurasi rencana kepegawaian. Model GAN menghasilkan data palsu yang menyerupai volatilitas dinamis permintaan di dunia nyata, sehingga memungkinkan identifikasi dan penilaian model menjadi lebih efektif. Selain itu, ketika menggunakan Dynamic Temporal Contextual Embedding dalam pembuatan data sintetis, replikasi pola rumit dalam riwayat data permintaan menjadi mungkin.

Generator

Generator GAN terdiri dari dua komponen utama: encoder dan jaringan generator. Encoder menganalisis informasi temporal dan kontekstual serta menghasilkan embedding yang merepresentasikan tren dalam arus pasien.

Pengodean Temporal ($f(t)$): Fungsi ini juga mengonversi parameter terkait waktu seperti jam, hari, dan komponen musiman menjadi satu nilai. Variasi kedatangan pasien dapat terjadi tergantung pada waktu, hari, atau bahkan musim. Lebih lanjut, Leung bersama rekan juga menyediakan optimasi penjadwalan berbasis waktu terkait.

Pengodean Kontekstual (C_c): Faktor-faktor modulasi tertentu yang memengaruhi tingkat kedatangan pasien di fasilitas kesehatan meliputi peristiwa lokal, kondisi cuaca, atau faktor sosial ekonomi yang dikodekan dalam fungsi ini. Yu dan rekan-rekan menekankan bahwa faktor-faktor kontekstual ini sangat meningkatkan akurasi model penjadwalan. Detail kontekstual ini mencakup hari libur nasional atau peristiwa penting yang menentukan tingkat kedatangan pasien.

Fungsi penggabungan temporal dan kontekstual ini dinyatakan sebagai:

$$E_m = E_c(T_t, C_c) \quad (15.2)$$

Penanaman ganda ini memungkinkan representasi data historis yang ideal, dengan mempertimbangkan faktor temporal dan kontekstual. Berdasarkan penanaman ini, generator kini dapat menciptakan pola kedatangan pasien sintetis, yang serupa dengan osilasi permintaan riil. Generator ini bertujuan untuk menghasilkan titik data yang selaras dengan pola yang diamati, sebagaimana dibahas oleh Vali bersama rekan dalam pendekatan penjadwalan kecerdasan swarm hibrida mereka, yang memungkinkan evaluasi strategi penjadwalan dalam berbagai skenario:

$$P_a^s = G(E(T_i, C_c)) \quad (15.3)$$

di mana T_i dan C_c mewakili variabel temporal dan kontekstual yang dikodekan, dan P_a^s menunjukkan pola kedatangan pasien yang dihasilkan. Data sintetis yang dihasilkan

mencakup variasi volume dan waktu kedatangan pasien, yang mencerminkan potensi skenario dunia nyata untuk pengujian dan penyempurnaan strategi penjadwalan.

Komponen Diskriminator

Untuk menentukan tingkat realisme data sintetis yang dihasilkan oleh GAN, tugas penting dibebankan kepada diskriminator. Diskriminator menggunakan data aktual untuk membandingkannya dengan data sintetis dan dengan demikian menjamin bahwa pola yang dihasilkan mencerminkan osilasi permintaan yang sebenarnya. Diskriminator menerapkan Diskriminasi Kontekstual Multi-Level dan penilaian probabilitas untuk menilai berbagai aspek keaslian data.

Jaringan Diskriminator Kontekstual: Diskriminator terdiri dari beberapa jaringan khusus, masing-masing dilatih untuk mengevaluasi fitur spesifik dari data sintetis:

$$D(t', c', p') = \{d_1(t', c'), d_2(t', c'), \dots, d_k(t', c')\} \quad (15.4)$$

Setiap jaringan, d_j menilai berbagai aspek data sintetis, seperti:

Pola Temporal: Menguji hipotesis apakah pola terkait waktu dalam data sintetis selaras dengan pola masa lalu, sebagaimana dibahas oleh Kraul dan Brunner dalam pendekatan mereka untuk menangani ketidakpastian operasional.

Faktor Kontekstual: Data sintetis harus dinormalisasi untuk memastikan bahwa nilai variabel kontekstual menyerupai pengaruh seperti peristiwa lokal atau cuaca.

Deteksi Anomali: Menemukan pola apa pun, variasi apa pun yang tidak sinkron dengan permintaan yang diharapkan.

Perhitungan Skor Probabilitas: Skor probabilitas untuk setiap titik data sintetis dihitung untuk mengukur keasliannya:

$$P_{\text{score}} = \sigma(W \cdot D_f + b) \quad (15.5)$$

di mana W adalah matriks bobot yang menyesuaikan pengaruh berbagai fitur, D_f adalah vektor fitur dari diskriminator, dan b adalah suku bias. Fungsi sigmoid σ memastikan skor berada di antara 0 dan 1, dengan skor mendekati 1 menunjukkan realisme yang tinggi. Umpan balik ini memandu generator untuk menyempurnakan keluarannya, yang menghasilkan pembangkitan data sintetis yang lebih akurat.

Optimasi Penjadwalan Staf Menggunakan Optimasi Klan Gajah Resilience (RECO)

Setelah memperoleh profil permintaan stokastik menggunakan GAN, proses selanjutnya adalah mengoptimalkan jadwal staf dengan mengacu pada pola permintaan stokastik tersebut. Optimasi Klan Gajah (ECO) adalah algoritma meta-heuristik yang baru dikembangkan berdasarkan model sosial matriarkal gajah dan perilaku perjalanannya. Hal ini menunjukkan bahwa ECO efektif dalam ruang solusi yang besar sehingga ideal untuk menyelesaikan masalah penjadwalan yang kompleks dalam lingkungan ED yang tidak pasti.

Teknik Resilient Clan Formation (RCF) ECO sangat penting untuk merespons perbedaan pola permintaan secara adaptif sekaligus meningkatkan fleksibilitas dan kinerja dalam

pendekatan penjadwalan. Belhor dan rekan-rekan menyelidiki algoritma optimasi yang digunakan dalam penjadwalan, dan mengidentifikasi bahwa ECO efisien dalam menangani kondisi dinamis dan stokastik, sehingga dapat diterapkan untuk penjadwalan staf di ED.

Dalam algoritma ECO, setiap jadwal staf potensial direpresentasikan sebagai "gajah", dan sekelompok jadwal serupa membentuk "klan". Tujuannya adalah untuk menemukan jadwal optimal yang meminimalkan biaya operasional dan memaksimalkan kepuasan staf sekaligus memastikan cakupan yang memadai selama periode permintaan puncak.

Pembuatan Jadwal Awal

Algoritma ECO dimulai dengan pembuatan serangkaian jadwal staf awal. Jadwal ini dapat dibuat secara acak atau menggunakan aturan heuristik yang diturunkan dari data historis:

$$S_{\text{initial}} = \text{Generate}(R_s, H_h) \quad (15.6)$$

Di sini, R_s merepresentasikan pembangkitan jadwal acak dan H_h merepresentasikan jadwal yang diperoleh dari pola data historis. Hal ini mencakup berbagai kemungkinan skenario dan kendala, yang memberikan dasar untuk optimasi lebih lanjut. Aturan heuristik dapat mencakup pertimbangan seperti pola arus masuk pasien rata-rata dan persyaratan staf minimum.

Struktur Klan Adaptif (RCF)

RCF memainkan peran penting dalam mengelola dan menyempurnakan aktivitas penjadwalan secara adaptif. RCF meningkatkan ketahanan dan efisiensi penjadwalan dengan menggabungkan strategi agresif dan konservatif.

Pembentukan Klan: Jadwal awal relatif dikelompokkan ke dalam klan sesuai dengan strategi yang dipelajari. Strategi ini dapat berupa strategi konservatif (risiko rendah) atau strategi agresif (penggunaan sumber daya tinggi).

$$\text{Klan} = \{C_o, A_g\} \quad (15.7)$$

di mana setiap klan berisi jadwal yang menggunakan strategi serupa, baik C_o konservatif (meminimalkan risiko) maupun A_g agresif (memaksimalkan pemanfaatan). Pengelompokan ini memungkinkan penyempurnaan yang terarah dalam setiap klan, sejalan dengan temuan Manitz dan Piehl dalam algoritma penempatan staf yang bergantung waktu.

- **Strategi Konservatif:** Bahkan selama masa penerimaan pasien rendah, penekanannya adalah pada pengurangan risiko dan memastikan cakupan yang konsisten. Meskipun memberikan stabilitas, jadwal ini dapat mengakibatkan kelebihan staf.
- **Strategi Agresif:** Jadwal ini menempatkan prioritas tinggi pada pengoptimalan penggunaan sumber daya dan segera menyesuaikan diri dengan perubahan permintaan. Selama masa permintaan reguler dan tinggi, mereka lebih adaptif dan ekonomis, tetapi selama peningkatan tak terduga, mereka menghadapi risiko kekurangan staf.

Pengelompokan ini memungkinkan penyempurnaan strategi yang terarah dalam setiap klan, memastikan bahwa algoritma dapat mengeksplorasi berbagai kemungkinan solusi.

Pembaruan Klan: Dalam setiap klan, jadwal diperbarui berdasarkan kinerja jadwal terbaik di klan tersebut:

$$S_{\text{update}} = S_{\text{best}} + \eta \cdot \nabla S \quad (15.8)$$

di mana S_{best} adalah jadwal berkinerja terbaik dalam klan, dan β adalah laju pembelajaran. Menurut Milicka dan rekan-rekan, proses pembaruan ini memungkinkan pemanfaatan teknik yang efektif sekaligus menyelidiki peluang baru untuk meningkatkan kinerja lebih lanjut.

Pembaruan Separatis: Jadwal berkinerja buruk dipindahkan ke klan berkinerja lebih baik:

$$S_i^{\text{new}} = S_{\text{better}} + \beta \cdot (S_i - S_{\text{better}}) \quad (15.9)$$

di mana S_{better} adalah jadwal dari klan berkinerja lebih tinggi, dan β adalah faktor penyesuaian. Prosedur ini meningkatkan kualitas penjadwalan secara keseluruhan dan membantu jadwal yang berkinerja buruk mendapatkan manfaat dari strategi yang berhasil.

Optimasi dan Umpan Balik

Optimasi iteratif dan masukan yang konstan sangat penting untuk menyesuaikan jadwal staf agar sesuai dengan profil permintaan aktual. Diskriminator secara berkala menilai apakah jadwal karyawan sesuai dengan permintaan yang diantisipasi:

$$\text{Feedback} = D(S) \quad (15.10)$$

di mana $D(S)$ merupakan penilaian diskriminator terhadap jadwal staf berdasarkan seberapa baik jadwal tersebut memenuhi permintaan yang diprediksi.

Optimasi Iteratif: Masukan diskriminator digunakan oleh algoritma ECO untuk melakukan iterasi melalui proses optimasi guna meningkatkan jadwal:

$$S_{\text{opt}} = S_{\text{ct}} + \Delta S \quad (15.11)$$

di mana S_{opt} menunjukkan optimasi jadwal, S_{ct} adalah jadwal saat ini, dan ΔS adalah perubahan dalam jadwal. Proses iteratif ini memastikan bahwa jadwal terus disesuaikan untuk meningkatkan kinerja dan selaras dengan kondisi permintaan riil.

Jadwal Staf yang Dioptimalkan: Hasil dari prosedur optimasi adalah serangkaian jadwal staf yang dioptimalkan secara stokastik yang disusun untuk pola intensitas kedatangan pasien. Jadwal-jadwal ini juga bertujuan untuk membuat operasi seefisien mungkin dengan tetap menjaga biaya tetap rendah dan menyediakan staf yang memadai di UGD pada saat-saat tersibuknya.

Kerangka kerja ini menghasilkan serangkaian jadwal staf yang dioptimalkan:

$$\text{Jadwal yang dioptimisasi} = (S_i | i = 1, \dots, M) \quad (15.12)$$

Jadwal-jadwal ini sebagian besar ditujukan untuk menyesuaikan dengan permintaan yang diharapkan; untuk mengoptimalkan penempatan staf guna meminimalkan biaya operasional.

Jadwal-jadwal yang dioptimalkan ini diimplementasikan dalam konteks UGD, dengan menghubungkan penempatan staf dengan volume pasien yang diharapkan. Implementasi ini akan membantu mengurangi biaya operasional secara substansial, meningkatkan kepuasan kerja karyawan, dan memastikan lebih banyak tenaga kerja yang direkrut untuk departemen tersebut guna memenuhi variabilitas pasien. Dalam penerapan ini, terdapat kendali jadwal, yang didasarkan pada pengumpulan data waktu nyata (real-time) sehingga sistem mengakomodasi keunikan dan kondisi yang ada di lingkungan operasional.

Metodologi ini menggabungkan kerangka kerja GAN mutakhir untuk menghasilkan data sintetis dengan optimasi fleksibel algoritma RECO untuk tugas penjadwalan staf di UGD. Algoritma untuk proses RECO diberikan di bawah ini:

Input: Data historis, profil permintaan yang dihasilkan GAN, dan parameter algoritma.

Output: Jadwal staf yang dioptimalkan dan metrik kinerja terkait, siap diterapkan di Unit Gawat Darurat.

#Step1: Pembuatan Jadwal Awal

initialize schedules = $S_{initial} = \text{Generate}(R_s, H_h)$

for each schedule S_i *in* *schedule*:

generate S_i *randomly or using heuristic rules based on* h_i

end for

#Step 2: Adaptive Clan Structure (Resilient Clan Formation - RCF)

#Step 2.1: Clan Formation

initialize clans = $Clans = \{C_o, A_g\}$

for each schedule *in* *schedules*:

if S_i *follows a conservative strategy*:

assign S_i *to a conservative clan* C_o

else:

assign S_i *to an aggressive clan* A_g

end if

end for

#Step 2.2: Clan Update (Exploit Best Schedule in Each Clan)

for each clan C_j *in* *clans*:

identify S_{best} *in* C_j

for each schedule S_i *in* C_j :

update S_i :

```


$$S_{update} = S_{best} + \eta \cdot \nabla S$$

    end for
end for
#Step 2.3: Separatist Update (Reassign Poor-Performing Schedules)
for each clan  $C_j$  in clans:
    for each schedule  $S_i$  in  $C_j$ :
        if  $S_i$  is underperforming:
            identify  $S_{better}$  from a higher performing clan  $C_{better}$ 
            update  $S_i$ :

$$S_i^{new} = S_{better} + \beta \cdot (S_i + S_{better})$$

        end if
    end for
end for

#Step 3: Optimization and Feedback
#Step 3.1: Discriminator Feedback
for each schedule  $S_i$  in Schedules:
    evaluate  $Feedback = D(S)$ 
end for
#Step 3.2: Iterative Optimization
while not Converged: # Iteratively optimize until convergence criteria met
    for each schedule  $S_i$  in Schedules:
        optimize  $S_i$ :

$$S_{opt} = S_{ct} + \nabla S$$
 # Refine  $S_i$  based on feedback  $Di(S_i)$ 
    end for
end while

#Step 4: Optimized Staff Schedules

$$Optimized\ Schedules = (S_i | i = 1, \dots, M)$$


#Step 5: Implementation
Deploy Optimized Schedules in the ED

```

Detail Eksperimen

Kumpulan data kedatangan pasien diambil dari basis data UGD di Rumah Sakit South West Jutland di Esbjerg, Denmark, dan mencakup data selama 3,5 tahun serta kondisi meteorologi dari Bandara Esbjerg. Semua model GAN-RECO dilatih dengan bantuan bahasa pemrograman dan pustaka Python, dan sebagian terpisah dari kumpulan data digunakan untuk menguji prediksi permintaan. Setelah pelatihan, GAN menghasilkan profil permintaan sintetis yang digunakan dalam algoritma RECO selanjutnya untuk menentukan penjadwalan layanan staf. Kinerja umum model diuji dengan melakukan simulasi dalam berbagai kondisi

permintaan, termasuk puncak dan hari libur. Pengukuran kuantitatif seperti waktu tunggu pasien, staf, dan operasional beserta indikator kinerja lainnya digunakan untuk membandingkan kerangka kerja GAN-RECO dengan pendekatan tradisional.

Deskripsi Kumpulan Data

Informasi kumpulan data bersumber dari Sudarshan dan rekan-rekan yang menggambarkan kedatangan pasien di Unit Gawat Darurat Rumah Sakit South West Jutland di Esbjerg, Denmark. Dataset 3,5 tahun ini mencakup bulan Mei 2015 hingga Oktober 2017 dan Januari hingga Desember 2019. Data ini berisi catatan kedatangan pasien per jam, yang jumlahnya mencapai sekitar 935,05, serta data cuaca dari Bandara Esbjerg dan faktor kalender lainnya seperti hari libur dan tanggal-tanggal tertentu.

Kedatangan Pasien dalam Berbagai Skenario: Dataset ini berisi analisis komprehensif tentang jumlah rata-rata kedatangan di UGD terkait dengan berbagai variabel kalender dan kondisi cuaca. Ikhtisar kedatangan pasien di berbagai situasi ditunjukkan pada Tabel 15.1:

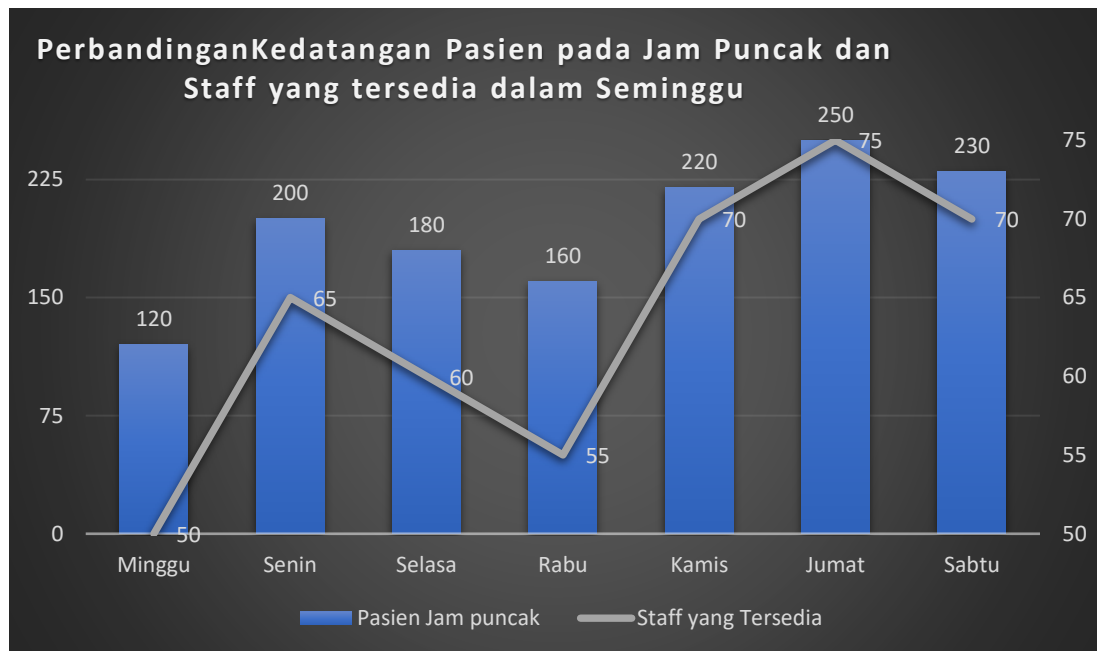
Tabel 15.1 Ikhtisar Kedatangan Pasien Di Berbagai Situasi.

<i>Skenario</i>	<i>Metrik</i>	<i>Rata – rata jumlah kedatangan</i>
Suhu	Tertinggi (9,90°C)	168,00
Terendah (19,56°C)	148,00	
Kecepatan angin	13,65 menit	159,00
Titik embun	Tertinggi (0,96)	140,00
Terendah (0,72)	-	95,00
Variabel kalender	Desember (Tertinggi)	114,71
Agustus (Terendah)		119,74
Distribusi bulanan		
Desember		7,88%
November		8,16%
Oktober		8,19%
September		8,54%
Agustus		8,53%
Juli		8,22%
Juni		8,67%
Mei		8,66%
April		8,47%
Maret		8,39%
Februari		8,11%
Januari		8,19%

15.4 MENGELOLA ARUS PASIEN DAN EFISIENSI KEPEGAWAIAN

Pada bagian ini, kami mengkaji pola kedatangan pasien dengan ketersediaan staf berdasarkan cara-cara utama untuk meningkatkan kinerja sistem. GAN-RECO dievaluasi berdasarkan arus pasien dan penjadwalan staf untuk memahami seberapa bermanfaatnya dibandingkan dengan alat optimasi lainnya.

Dalam konteks pelayanan kesehatan, khususnya rumah sakit, pengendalian penerimaan pasien selama jam sibuk sangat penting untuk mempertahankan kinerja normal.

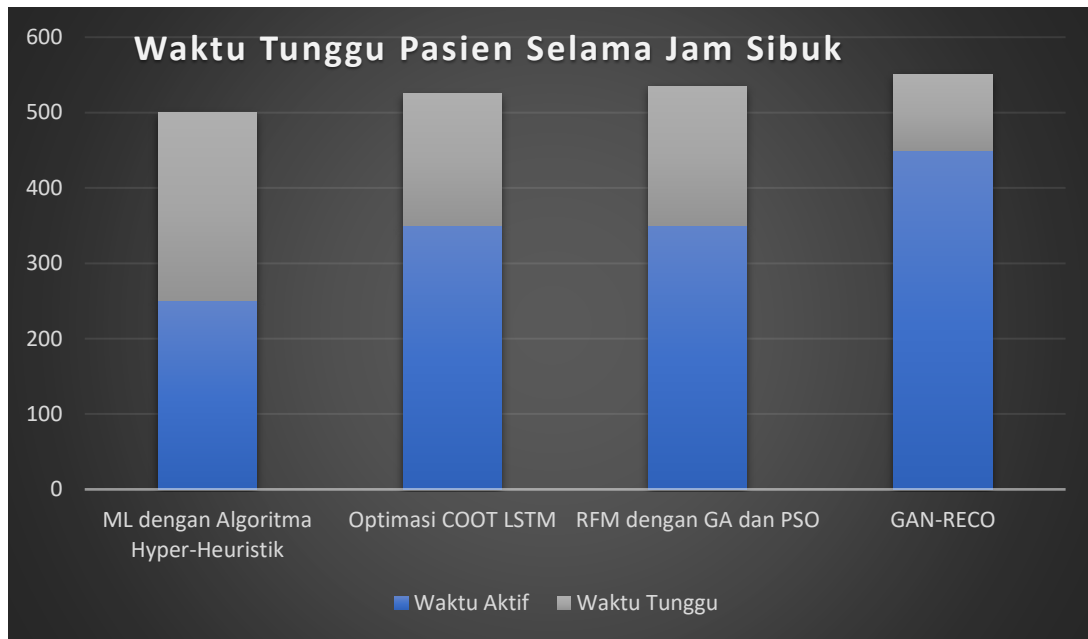


Gambar 15.2 Korelasi Kedatangan Pasien & Ketersediaan Staf

Gambar 15.2 menggambarkan kedatangan pasien selama jam sibuk terkait ketersediaan staf dari Senin hingga Minggu, yang menampilkan rencana mingguan operasional rumah sakit. Jumlah pasien dapat berbeda tergantung pada kunjungan mereka pada jam sibuk, yaitu pada hari Jumat dengan 250 pasien, dan terendah pada hari Minggu dengan 120 pasien. Demikian pula, ketersediaan staf meningkat dari 50 pada hari Minggu menjadi 75 pada hari Jumat secara taktis karena permintaan yang diperkirakan. Penyelarasan ini menunjukkan bahwa bahkan pada jam sibuk, rumah sakit memastikan pemberian layanan yang efektif dengan memodifikasi tingkat kepegawaian untuk menangani peningkatan volume pasien menjelang akhir minggu.

Kinerja GAN-RECO dalam Mengoptimalkan Arus Pasien selama Jam Sibuk

Bagian ini membahas analisis komparatif berbagai pendekatan optimasi yang menyoroti indikator kinerja operasional termasuk Penjadwalan Pasien, Pemanfaatan Staf, Waktu Luang, Keluhan Pasien, dan Tingkat Kunjungan Ulang UGD. Dalam menilai kemandirian empat metode yang berbeda, yaitu ML dengan Algoritma Hyper-Heuristic, COOT dengan Long Short Term Memory (LSTM), Random Forest Model (RFM) dengan Particle Swarm Optimization (PSO) dan Algoritma Genetika (GA), serta GAN-RECO, analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi strategi yang paling efektif untuk meningkatkan arus pasien dan kinerja ED secara keseluruhan.



Gambar 15.3 Perbandingan Waktu Tunggu Pasien Dan Waktu Aktif Untuk Berbagai Strategi Optimasi.

Gambar 15.3 memberikan deskripsi perbandingan empat model yang digunakan untuk meningkatkan metrik operasional UGD yang paling krusial, dengan utas-utasnya seperti penjadwalan pasien, pemanfaatan staf, waktu mengganggu, keluhan pasien, dan kehadiran kembali UGD. Pemanfaatan staf ML yang diteliti dengan Algoritma Hiper-Heuristik awalnya moderat di berbagai nilai, dan secara keseluruhan berada pada kategori sedang untuk kinerja penjadwalan janji temu pasien. Meskipun demikian, nilai tersebut lebih tinggi untuk Waktu Mengganggu dan Keluhan Pasien, yang menunjukkan bahwa meskipun teknik ini mengendalikan arus pasien secara efektif, masih terdapat potensi untuk mengurangi inefisiensi dan frustrasi pasien.

Serupa dengan itu, Pemanfaatan Staf dan Waktu Mengganggu untuk COOT dengan LSTM dan RFM dengan GA dan PSO menunjukkan hasil yang moderat untuk kedua strategi. Teknik-teknik ini terlihat memiliki Keluhan Pasien dan Kehadiran Kembali ED yang sedikit lebih buruk daripada ML dengan Algoritma Hyper-Heuristik tetapi hasilnya masih menandakan pencapaian fungsionalitas sistem yang baik dengan hasil perawatan pasien yang sedikit lebih baik. Dari keempat metode yang dibandingkan, GAN-RECO paling menonjol mengungguli teknik lain untuk memaksimalkan Penjadwalan Pasien, dan Pemanfaatan Staf, dengan skor Waktu Idle, Keluhan Pasien, dan Kehadiran Kembali ED terendah.

Memang, hal itu menetapkan potensi tinggi GAN-RECO dalam meningkatkan kualitas solusi ED mengenai permintaan dan keterlambatan pasien. Adapun data kuantitatif, hasilnya sekali lagi menunjukkan bahwa GAN-RECO menghasilkan Waktu Idle, Keluhan Pasien terendah, sehingga menunjukkan tentang peningkatan kemandirian pendekatan mengenai pembentukan pekerjaan ED yang lancar dan fleksibel. Hal ini menjadikan metode GAN-RECO sebagai pendekatan yang paling efisien dalam analisis komparatif ini dengan tingkat efisiensi yang menetapkan tolok ukur untuk operasi perawatan kesehatan darurat.

Dampak Optimalisasi GAN-RECO terhadap Kepegawaian UGD

Tingkat kepegawaian UGD disesuaikan untuk mencerminkan perubahan arus masuk pasien dengan menggunakan algoritma GAN-RECO untuk mengoptimalkan penjadwalan staf. Terutama selama jam sibuk, optimalisasi ini penting untuk menjaga operasional dan meningkatkan efektivitas pemberian layanan kesehatan.

Dampak optimalisasi GAN-RECO terhadap kepegawaian UGD dalam berbagai kondisi dapat dilihat pada Tabel 15.2 Optimalisasi ini terbukti sangat efektif pada jam sibuk, ketika staf tambahan dibutuhkan karena faktor-faktor seperti cuaca buruk, acara publik yang penting, dan periode lalu lintas yang padat. Misalnya, selama kondisi cuaca buruk pada jam sibuk, arus masuk pasien mencapai 60 per jam, tetapi tingkat kepegawaian awal mengakibatkan waktu menganggur sebesar 25%. Setelah optimalisasi, staf yang tersedia ditingkatkan menjadi 60, sehingga mengurangi waktu menganggur menjadi 5%.

Tabel 15.2 Dampak Optimalisasi GAN-RECO Terhadap Ketersediaan Staf Dan Waktu Menganggur Di Berbagai Skenario Arus Masuk Pasien.

<i>Periode waktu</i>	<i>Arus masuk pasien (per jam)</i>	<i>Staf tersedia (sebelum optimasi GAN-RECO)</i>	<i>Staf tersedia (setelah optimasi GAN-RECO)</i>	<i>Waktu idle (sebelum optimasi GAN-RECO)</i>	<i>Waktu idle (setelah optimasi GAN-RECO)</i>
Jam sibuk	60	45	60	25%	5%
Jam non-sibuk	30	45	35	50%	15%
Jam sibuk	70	50	70	28%	7%
Jam non-sibuk	25	40	30	37%	10%
Jam sibuk	65	48	65	26%	6%
Jam non-sibuk (hari libur nasional)	20	38	25	47%	12%

Demikian pula, pada jam-jam non-sibuk di hari libur nasional, optimasi menghasilkan pengurangan waktu menganggur dari 50% menjadi 15% dengan menyelaraskan ketersediaan staf dengan arus masuk pasien yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan kemampuan algoritma GAN-RECO untuk menyesuaikan tingkat kepegawaian secara dinamis, memastikan efisiensi dan kesiapan di berbagai skenario, termasuk hari libur nasional dan hari-hari biasa.

Analisis Tenaga Kerja Normal vs. Krisis dengan GAN-RECO

Analisis kondisi normal dan krisis distribusi tenaga kerja di HSWJ, dengan referensi khusus pada kuantitas dan keragaman staf yang bekerja di berbagai departemen, serta hubungan antara implementasi model optimasi GAN-RECO dan kepuasan staf, dilakukan.

Tabel 15.3 membandingkan tingkat kepegawaian di berbagai departemen dalam kondisi normal dan krisis, sekaligus menunjukkan dampak optimasi GAN-RECO terhadap penjadwalan dan kepuasan staf. Dalam skenario krisis, tenaga kerja yang tersedia di setiap departemen secara alami berkurang karena berbagai kendala. Kolom berjudul "Total Tenaga Kerja yang Dibutuhkan selama Kondisi Krisis" mencerminkan jumlah tenaga kerja minimum yang dibutuhkan untuk mempertahankan operasional. Setelah menerapkan optimalisasi GAN-

RECO, tenaga kerja dijadwalkan ulang agar lebih selaras dengan kebutuhan masing-masing departemen, dengan mempertimbangkan kondisi krisis.

Tabel 15.3 Manajemen SDM Era Normal Dan Krisis

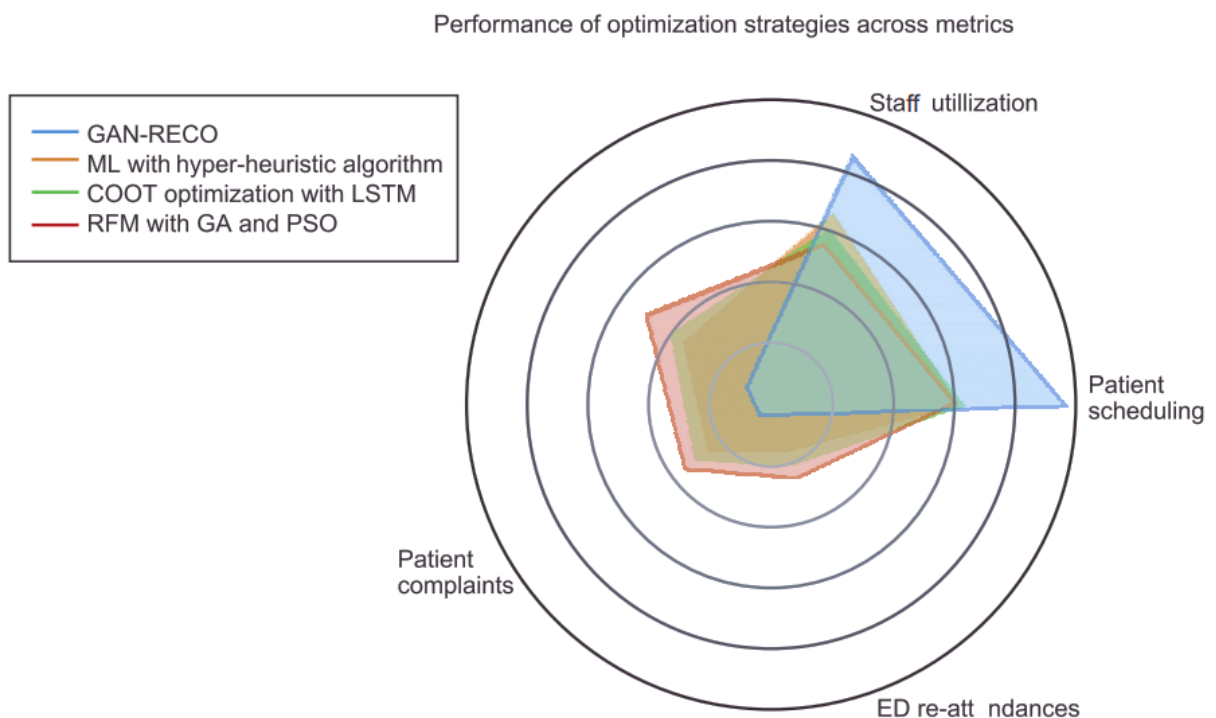
<i>Departemen</i>	<i>Tenaga kerja awal</i>	<i>Tenaga kerja yang tersedia dalam kondisi krisis</i>	<i>Tenaga kerja yang dibutuhkan dalam kondisi krisis</i>	<i>Tenaga kerja yang dijadwalkan setelah optimasi GAN-RECO</i>	<i>Kepuasan staf sebelum optimalisasi</i>	<i>Kepuasan staf setelah optimalisasi</i>
Manajemen tingkat tinggi	5	4,50	3,27	3,50	70%	85%
Manajemen tingkat menengah	25	24,01	23,33	26,00	68%	83%
Administrasi umum	82	73,70	68,86	72,00	65%	80%
Administrasi pendukung	12	10,70	10,10	10,50	72%	88%
Administrasi keuangan	47	42,20	41,41	41,00	66%	82%
Layanan sumber daya manusia	13	10,85	11,07	10,50	75%	90%
Layanan informasi	110	98,90	94,10	97,00	64%	79%
Staf medis	45	38,50	38,01	40,00	60%	78%
Staf keperawatan	197	173,24	175,25	175,00	58%	76%
Staf pendukung	25	24,00	13,50	17,00	67%	84%

Kolom "Kepuasan Staf sebelum Optimalisasi" menunjukkan tingkat kepuasan sebelum implementasi model GAN-RECO, yang ternyata lebih rendah karena selama periode krusial, beban kerja tidak merata dan jumlah staf yang direkrut tidak selalu mencukupi. Setelah proses optimalisasi, reorganisasi staf kembali dilakukan terkait tingkat kepuasan mereka, yang tercermin dalam gambar "Kepuasan Staf setelah Optimalisasi" di mana semua departemen mengalami peningkatan tingkat kepuasan yang signifikan. Misalnya, optimalisasi model menghasilkan peningkatan kepuasan yang signifikan di antara Staf Keperawatan dari 58% menjadi 76% ketika beban kerja diseimbangkan secara efisien, bahkan dengan keterbatasan staf.

Secara umum, optimalisasi GAN-RECO telah berhasil mempertahankan tingkat kepegawaian yang memadai dalam menanggapi kebutuhan operasional selama krisis dan meningkatkan tingkat kepuasan staf secara signifikan dengan menyediakan distribusi beban kerja yang wajar.

Perbandingan Strategi Optimasi pada Metrik Operasional UGD

Analisis komparatif dari empat strategi optimasi yang berbeda: CobWEB-RECO direalisasikan bersama dengan ML dengan Algoritma Hyper-Heuristic oleh Schafer dengan rekan-rekan, dan COOT dengan LSTM oleh Varnasi dan Malathi, serta RFM oleh Eshghali dan rekan-rekan dengan GA dan PSO untuk membandingkan dampaknya terhadap pengukuran UGD yang penting. Parameter yang dievaluasi saat ini adalah penunjukan dan distribusi pasien, produktivitas staf, waktu kerja karyawan, keluhan pasien, dan kunjungan ulang ke UGD. Berdasarkan kinerjanya untuk setiap indikator, setiap strategi kemudian dinilai sebagai alat untuk meningkatkan metrik ini, yang membedakan kelebihan dan kekurangan setiap pendekatan untuk mengoptimalkan kinerja departemen UGD. Dengan demikian, perbandingan ini memainkan peran penting dalam praktik yang bertujuan untuk menemukan pendekatan optimasi terbaik terkait efektivitas keseluruhan di fasilitas pelayanan kesehatan darurat.



Gambar 15.4 Perbandingan Metrik Operasional Untuk Berbagai Strategi Optimasi.

Gambar 15.4 mengilustrasikan dampak dari empat strategi optimasi: Optimasi RECO GAN, Pembelajaran Mesin dengan Algoritma Hiper-Heuristik, optimasi COOT dengan Memori Jangka Pendek Panjang, dan RFM menggunakan GA dan PSO terhadap parameter kinerja utama di UGD. Strategi GAN-RECO memiliki kinerja tertinggi dalam penjadwalan pasien dan manajemen sumber daya manusia, serta memaksimalkan waktu untuk perawatan pasien yang produktif, dan jumlah keluhan tentang waktu tunggu dan kunjungan UGD berulang. Di sisi lain, meskipun Pembelajaran Mesin dengan Algoritma Hiper-Heuristik memiliki tingkat efisiensi yang moderat, strategi ini menghasilkan waktu tunggu yang lebih tinggi dan pasien mengeluh. COOT dengan LSTM memiliki dampak yang lebih rendah pada pengukuran lain, namun

meminimalkan waktu tunggu dan keluhan pasien. GA dan PSO yang diusulkan untuk Model Hutan Acak (RFM) memberikan hasil yang cukup baik pada semua metrik, tetapi tidak seoptimal GAN-RECO. Secara keseluruhan, Optimasi GAN-RECO tampaknya merupakan pendekatan paling efisien untuk meningkatkan operasional UGD dan mengurangi berbagai dampak negatif sekaligus mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya.

15.5 INTEGRASI GAN DAN ECO

Potensi integrasi GAN dengan ECO untuk meningkatkan operasional UGD dikaji secara detail. Dengan menggabungkan laporan basis data UGD dari Rumah Sakit South West Jutland di Esbjerg, Denmark, diperoleh kumpulan data besar tentang kunjungan UGD terkait kedatangan pasien dan jumlah staf untuk melatih dan menguji model GAN-RECO. Lebih lanjut, hasil eksperimen menunjukkan bahwa pendekatan GAN-RECO meningkatkan penjadwalan dalam urusan arus pasien, khususnya selama jam sibuk, dengan menciptakan profil permintaan sintetis untuk keperluan kepegawaian. Metode ini telah menghasilkan peningkatan signifikan yang signifikan pada parameter operasional dasar seperti waktu tunggu pasien yang berulang dan waktu menganggur staf dibandingkan dengan metode yang sudah ada seperti pembelajaran mesin dengan algoritma hiper-heuristik, COOT dengan LSTM, dan Random Forest Model (RFM) dengan GA & PSO. Lebih lanjut, penerapan GAN-RECO juga meningkatkan rasio staf terhadap pasien, di mana rasio pasien meningkat seiring dengan kepuasan staf di berbagai departemen. Sebagai kesimpulan, hasil penelitian menunjukkan efektivitas model GAN-RECO dalam menangani tantangan yang menjadi ciri khas organisasi UGD dan meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem pemberian layanan kesehatan.

15.6 KESIMPULAN

Penelitian ini mengusulkan algoritma heuristik baru untuk membuat dan mengelola jadwal staf di UGD, menggunakan GAN dan RECO. Hal ini didasari oleh catatan bahwa kerangka kerja yang diusulkan memiliki cara untuk menangani fluktuasi permintaan pasien, yang tidak mudah ditangkap oleh penjadwalan tradisional. Metode yang diusulkan meningkatkan fleksibilitas dan efektivitas solusi penjadwalan dengan menggunakan pembangkitan data sintetis dan algoritma optimasi evolusioner. Diskusi menyoroti kondisi indikator kontekstual dan pemrosesan data tepat waktu, yang akan membantu meningkatkan efektivitas kerja, serta pemanfaatan sumber daya. Gambar 2 dan 3 mengilustrasikan efektivitas kerangka kerja GAN-RECO dalam mengurangi waktu tunggu pasien dan menyelaraskan ketersediaan staf dengan permintaan yang berfluktuasi. Tujuannya adalah untuk membuka jalan bagi penelitian di masa mendatang yang lebih jauh mengeksplorasi penerapan teknik pembelajaran mesin tingkat lanjut dalam penjadwalan layanan kesehatan, memastikan bahwa kompleksitas staf UGD dikelola secara ketat dan efektif.

BAB 16

TEKNOLOGI MULTISENSORI UNTUK PEMBELAJARAN ANAK DISABILITAS

16.1 PENDAHULUAN

Istilah disabilitas sering digunakan secara sinonim (meskipun maknanya berbeda) dengan terminologi lain seperti handicap, impotensi, penyandang disabilitas khusus, dan penyandang disabilitas. Penting bahwa nomenklatur yang digunakan bersifat sensitif dan tidak merendahkan manusia mana pun. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) mendukung bahwa mereka dapat disebut sebagai penyandang disabilitas (PWD). Pada tahun 1980, manual berjudul “International Classification of Impairments, Disabilities, and Handicaps,” yang diterbitkan oleh WHO, mendefinisikan impotensi, handicap, dan disabilitas. Impairmen dipahami sebagai “kelainan struktur tubuh” dan mengacu pada perbedaan pada tingkat organ. Disabilitas dipandang sebagai konsekuensi dari impotensi yang menyebabkan kesulitan dalam beraktivitas. Handicap dipandang sebagai kerugian yang dialami individu akibat gangguan dan disabilitas. Konsep handicap menantang bagi penyandang disabilitas karena mereka ditempatkan pada posisi yang kurang menguntungkan dibandingkan dengan teman sebayanya akibat norma sosial yang tidak setara. Norma sosial tersebut seringkali mengakibatkan penyandang disabilitas mengalami tantangan dalam integrasi sosial dan ekonomi.

Pendidikan merupakan hak asasi bagi penyandang disabilitas, dan perwujudan hak ini dapat menciptakan masyarakat yang setara, berkeadilan sosial, dan demokratis. Memandang penyandang disabilitas sebagai bagian dari angkatan kerja tidak hanya berkontribusi bagi mereka, tetapi juga bagi perekonomian. Terdapat hubungan erat antara disabilitas, kemampuan kerja, dan kemiskinan. Dapat dilihat bahwa disabilitas dapat menjadi penyebab dan akibat kemiskinan. Persepsi penyandang disabilitas sebagai beban dan tanggungan sosial menjebak dan mengucilkan mereka dari perekonomian. Lebih lanjut, menganggap anggota keluarga tidak layak bekerja dalam perekonomian meningkatkan beban mencari nafkah bagi anggota keluarga lainnya, yang menyebabkan standar hidup yang lebih buruk. Oleh karena itu, disabilitas menjadi penyebab kemiskinan. Disabilitas dapat menjadi akibat dari kemiskinan akibat kesehatan, gizi, kondisi sanitasi yang buruk, dan kurangnya vaksinasi. Hal ini meningkatkan risiko gangguan pada anak-anak. Oleh karena itu, disabilitas merupakan akibat dari kemiskinan. Untuk memutus siklus kemiskinan, penting untuk mengakui penyandang disabilitas sebagai kontributor bagi perekonomian. Hal ini memberikan kemandirian finansial, memutus siklus deprivasi, dan berkontribusi bagi perekonomian. Oleh karena itu, pendidikan merupakan faktor penting dalam pemerataan pembangunan bagi penyandang disabilitas.

Perspektif yang Berkembang tentang Model Disabilitas

Pada bagian ini, perkembangan model disabilitas, kebijakan, sistem sekolah, dan area utama yang perlu difokuskan untuk menjadikan pendidikan inklusif bagi penyandang disabilitas akan dibahas.

Model Amal: Model amal disabilitas telah ada sejak era kolonial. Pada tahun 1800-an, para misionaris mendirikan sekolah untuk anak-anak dengan gangguan penglihatan dan pendengaran. Para misionaris memandang pendirian sekolah terpisah untuk penyandang disabilitas sebagai tindakan filantropi. Mereka percaya bahwa anak-anak penyandang disabilitas membutuhkan perawatan khusus. Model ini menyebabkan segregasi penyandang disabilitas dari sistem pendidikan arus utama. Jejak model amal terlihat di "sekolah khusus" saat ini. Sebagaimana "model sekolah khusus" dan "model amal" menganjurkan bahwa sekolah umum tidak melayani kebutuhan khusus penyandang disabilitas.

Model Medis: Model lain yang jejaknya terlihat dalam wacana disabilitas adalah model medis. Model medis menganggap disabilitas sebagai kondisi atau defisit medis. Model ini memiliki gagasan individual tentang disabilitas, dan hambatan sosial seringkali diabaikan. Tanggung jawab atas kesejahteraan PWD berada di pundak individu dan tidak diakui sebagai tanggung jawab sosial.

Model Sosial: Seseorang menjadi disabilitas ketika fungsinya dalam kehidupan sosial terbatas karena disabilitas yang dimilikinya. Keterbatasan ini dapat merugikan dan menjadi hambatan bagi orang tersebut, di mana ia bergantung pada orang lain untuk menjalani kehidupan sehari-hari. Oleh karena itu, disabilitas dan hambatan tidak hanya disebabkan oleh disabilitas individu tetapi juga karena kurangnya dukungan sosial yang tidak mengakomodasi PWD. Pemahaman tentang disabilitas ini berasal dari "model sosial". Oleh karena itu, model sosial tentang disabilitas bertujuan untuk menciptakan lingkungan inklusif bagi PWD yang didukung oleh berbagai teknologi bantu dan adaptif. Wacana tentang disabilitas telah berkembang jauh dari model amal dan medis ke model sosial. Meskipun jejak model medis dan amal ditemukan dalam praktik, dalam dokumen kebijakan, advokasi mengarah pada model sosial disabilitas yang berpusat pada hak asasi manusia. Perubahan paradigma pemahaman disabilitas dari "patologi individu menjadi masalah sosial" telah mengakibatkan perubahan pada tingkat kebijakan yang mempengaruhi kehidupan penyandang disabilitas.

Evolusi Perspektif Kebijakan Disabilitas

Evolusi perspektif kebijakan dapat dipahami dalam tiga kategori. Kategori pertama mencakup kebijakan yang secara eksklusif menekankan disabilitas. Kategori kedua berupaya menciptakan ruang bagi penyandang disabilitas dalam sistem arus utama. Kategori ketiga berfokus pada kebijakan yang dikembangkan melalui pedoman internasional tentang disabilitas. Semua kategori ini saling terkait; satu undang-undang dibangun di atas undang-undang lainnya. Membaginya ke dalam tiga kategori ini membantu kita melihat bahwa sumber undang-undang khusus tentang disabilitas adalah Kementerian Keadilan Sosial dan Pemberdayaan (MSJE). Sumber undang-undang tentang pendidikan arus utama tentang disabilitas adalah Kementerian Pengembangan Sumber Daya Manusia (MHRD). Inklusi penyandang disabilitas dalam masyarakat, khususnya dalam sistem pendidikan, dipandang sebagai tanggung jawab Kementerian Sumber Daya Manusia dan Pembangunan serta Kementerian Keadilan Sosial dan Pemberdayaan.

Kategori ketiga adalah pertemuan puncak internasional tentang disabilitas, yang merupakan hasil dari gerakan hak-hak disabilitas di tingkat internasional pada tahun 1990-an.

Gerakan hak-hak disabilitas internasional memengaruhi gerakan hak-hak disabilitas. Gerakan berbasis hak telah mengambil dari model sosial disabilitas yang dianjurkan oleh “Laporan Konvensi Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Penyandang Disabilitas 2007” (UNCRPD). UNCRPD menekankan peran negara dalam menciptakan masyarakat yang inklusif bagi PWD. UNCRPD menekankan bahwa negara perlu menjamin hak-hak dasar PWD tentang “non-diskriminasi, partisipasi efektif, kesetaraan kesempatan dan aksesibilitas di bidang pendidikan, pekerjaan”. Refleksi lebih lanjut tentang model disabilitas berbasis hak dapat dilihat dalam “Undang-Undang Penyandang Disabilitas tahun 1995.” Undang-undang tersebut mendefinisikan disabilitas dan mengakui tujuh jenis disabilitas, termasuk disabilitas sensorik, fisik, mental, dan intelektual. Undang-Undang Hak PWD 2016 menggantikan “Undang-Undang Penyandang Disabilitas tahun 1995.” Undang-undang ini memberlakukan Laporan Konvensi UNCRPD tentang Penyandang Disabilitas. Dua puluh satu disabilitas tercakup dalam undang-undang ini. Undang-undang ini menekankan tanggung jawab negara terhadap penyandang disabilitas. Undang-undang ini dianggap sebagai tonggak sejarah karena mengakui tanggung jawab negara terhadap pendidikan dan ketenagakerjaan penyandang disabilitas.

Sistem Pendidikan di Sekolah

Sebagai hasil dari kebijakan pendidikan pada tingkat dasar, terdapat tiga jenis sekolah yang tersedia untuk penyandang disabilitas—sekolah khusus, sekolah terpadu, dan sekolah inklusif. Sekolah khusus dipisahkan sebagai lembaga pendidikan yang didirikan untuk penyandang disabilitas. Jejak awal sekolah khusus dapat dilihat pada tahun 1880-an ketika para misionaris mendirikan sekolah khusus sebagai tindakan amal. Ketidakmampuan sekolah umum untuk memenuhi kebutuhan penyandang disabilitas menyebabkan segregasi tersebut. Oleh karena itu, jika diteliti lebih lanjut, dapat dilihat bahwa pendekatan ini berasal dari filosofi utilitarianisme, di mana sistem dirancang berdasarkan motif memaksimalkan kepuasan mayoritas orang. Pendekatan pendidikan ini menghasilkan terciptanya sekolah khusus. Namun, bertentangan dengan argumen ini, wacana "hak atas pendidikan sebagai hak fundamental" berkembang. Ditekankan bahwa penyandang disabilitas berhak untuk mendapatkan pendidikan di sekolah umum. Mendapatkan pendidikan dianggap sebagai hak dasar manusia. Pendekatan ini menyebabkan tuntutan untuk menguniversalkan pendidikan atau menyediakan pendidikan untuk semua. Pendekatan ini berpuncak pada “Undang-Undang Hak atas Pendidikan 2009 (RTE)” yang diterapkan pada tahun 2010. Ini adalah tindakan penting karena menyediakan akses bagi PWD di sekolah umum. Pendekatan berbasis hak memiliki dasar dalam deontologi, di mana kebenaran tindakan ditekankan. Keadilan dan kesetaraan diberi perhatian. Dapat dikatakan bahwa RTE memang menyediakan akses PWD ke sekolah umum, tetapi hak atas pendidikan mungkin belum terwujud. RTE mengarah pada integrasi, bukan inklusi penuh. Sekolah-sekolah yang mengikuti pendekatan ini memberikan penerimaan kepada PWD, tetapi asumsi mereka adalah bahwa PWD perlu menyesuaikan diri dengan sistem yang ada. Tanggung jawab belajar ada pada anak, dan tidak ada perubahan besar yang dapat dilihat dalam praktik belajar-mengajar dan kurikulum sekolah. Gagasan tentang anak yang cocok dengan sistem yang sudah ada sebelumnya mirip dengan model medis disabilitas. Namun, integrasi semata justru menggagalkan tujuan inklusi penyandang disabilitas di sekolah

umum, yang hanya memberikan hak untuk masuk sekolah, tetapi tidak mewujudkan hak untuk belajar. Memungkinkan pembelajaran bagi semua orang telah mendorong tuntutan untuk menjadikan praktik belajar-mengajar berpusat pada anak dan inklusif. Menjadikan sekolah dan pembelajaran inklusif akan menguntungkan penyandang disabilitas dan menjadikan pembelajaran sesuai untuk semua.

Implikasi dari kebijakan inklusi di tingkat sekolah menjadi perhatian utama. Ditunjukkan bahwa istilah sekolah inklusif bersifat ornamen dan dapat menyesatkan. Studi ini menemukan bahwa kurangnya sumber daya, infrastruktur yang tidak memadai, kurikulum umum, dan praktik belajar mengajar merupakan hambatan bagi pendidikan inklusif. Lebih lanjut, ukuran kelas yang besar menyulitkan guru untuk memahami tingkat pembelajaran individu anak-anak. Studi ini menunjukkan bahwa kurangnya fasilitas pendukung seperti terapi wicara dan terapi fisik menambah eksklusi PWD di sekolah umum. Ada persepsi bahwa praktik belajar mengajar yang melayani anak-anak dengan kebutuhan khusus adalah domain pendidik khusus dan tidak semua guru. Gagasan ini dapat menjadi hasil dari tanggung jawab bersama Kementerian Keadilan Sosial dan Pemberdayaan (MSJE) dan Kementerian Sumber Daya Manusia dan Pembangunan dalam mendidik PWD. Di Indonesia, seperti yang disebutkan sebelumnya, kebijakan pendidikan khusus untuk PWD dipimpin oleh MSJE. MHRD memimpin kebijakan pendidikan inklusif arus utama. Hal ini menyebabkan MSJE mengambil alih pendidikan penyandang disabilitas di lingkungan khusus dan terpisah. MHRD mengambil alih pendidikan penyandang disabilitas di sekolah-sekolah umum. Pembagian ini dapat mengurangi tekanan pada sesi pendidikan khusus dalam kurikulum pendidikan guru umum.

Area Fokus Utama

Namun, penyandang disabilitas memiliki hak untuk mendapatkan pendidikan di sekolah umum. Untuk menjadikan sekolah umum inklusif, perubahan pada tingkat fundamental diperlukan. Melalui tinjauan literatur, penelitian ini mencoba mengidentifikasi dan mengklasifikasikan perubahan yang diperlukan dalam sistem pendidikan untuk menjadikan pembelajaran inklusif bagi penyandang disabilitas. Diidentifikasi bahwa perubahan pada empat tingkat diperlukan: praktik, sementara, komunitas, dan kebijakan.

Praktik: Pada tingkat Praktik, perubahan dalam pelatihan guru, kurikulum, konten, dan ujian diperlukan. Pelatihan guru dalam praktik belajar mengajar yang berpusat pada anak dan inklusif dapat membekali guru di sekolah umum untuk memenuhi kebutuhan belajar semua anak. Kurikulum harus fleksibel, dan beban menyelesaikan silabus perlu diatasi. Dalam hal ujian, sistem saat ini bersifat eksklusif. Oleh karena itu, perubahan pendekatan terhadap ujian diperlukan.

Sementara: Dalam “Dalam Penelitian Diskusi Kelompok Fokus Nasional tahun 2005,” disebutkan bahwa perubahan infrastruktur diperlukan. Pembangunan jalur landai, toilet, pintu, dan lift diwajibkan, dengan mempertimbangkan persyaratan penyandang disabilitas. Penyediaan fasilitas lebih lanjut seperti terapi wicara, terapi okupasi, dan terapi fisik dapat menjadikan sekolah sebagai ruang inklusif bagi penyandang disabilitas.

Komunitas: Di tingkat komunitas, perlu ada perubahan sikap sosial. Stigma yang melekat pada penyandang disabilitas perlu diatasi dengan meningkatkan kesadaran. Lebih

lanjut, di tingkat sekolah, keterlibatan orang tua dalam merancang pembelajaran bersama guru dapat membantu menjadikan pembelajaran inklusif bagi anak. Keterlibatan orang tua dapat membantu guru memahami anak dengan lebih baik dan mengatasi kekhawatiran anak.

Kebijakan: Dalam laporan mereka “Create Pathways to Access,” Katherine Giffard dan Lindsay menekankan perlunya akuntabilitas oleh lembaga pendidikan. Di lembaga pendidikan, terdapat reservasi yang menjamin aksesibilitas, dan ketidakpatuhan terhadap persyaratan tersebut seharusnya mewajibkan akuntabilitas dari lembaga. Dipahami bahwa di tingkat kebijakan, pergeseran paradigma memandang disabilitas sebagai tanggung jawab sosial dan negara telah terwujud. Namun, disparitas dan praktik diskriminatif masih marak. Sistem ini menempatkan tanggung jawab pembelajaran pada anak. Perubahan kurikulum dan pedagogi terbatas di sekolah umum. Perubahan pada kurikulum dan tingkat pedagogis diperlukan untuk menjadikan pendidikan inklusif.

Meskipun argumen tentang pendidikan inklusif telah dijelaskan, penelitian ini bertujuan untuk memahami integrasi teknologi bantu dan adaptif, seperti ruang multisensori, di sekolah khusus. Teknologi bantu dan adaptif dapat meningkatkan kualitas pembelajaran di kalangan penyandang disabilitas. Penyandang disabilitas intelektual dan perkembangan dapat memperoleh manfaat dari teknologi bantu seperti ruang multisensori.

Ruang multisensori adalah lingkungan yang merangsang pengalaman sensorik terkait cahaya, suara, sentuhan, dan penciuman. Ruang ini sedang diintegrasikan ke dalam sekolah khusus untuk anak-anak autis. Bukti yang mendukung kegunaan dan keuntungan ruang multisensori untuk melibatkan anak-anak autis masih terus bermunculan. Ruang-ruang ini menyediakan stimulus terkontrol untuk mengatur reaksi negatif otak dan mengembangkan keterampilan koping melalui pengalaman sensorik yang diperoleh di lingkungan tersebut. Ruang-ruang ini dilaporkan memiliki manfaat terapeutik dan pedagogis yang positif. Habbak dan Khodeir mengeksplorasi elemen spasial berbeda yang membuat anak autis sensitif dan memahami bagaimana elemen tersebut dapat diintegrasikan dengan ruang multisensori untuk meningkatkan kemampuan mereka. Elemen yang telah mereka bahas dapat dikategorikan menjadi—stimuli pendengaran, penglihatan, sentuhan, dan penciuman. Rachakonda dan Kumar mengeksplorasi konsep ruang multisensori yang dipersonalisasi untuk anak autis yang tinggal di sana dalam konteks. Autisme dicirikan oleh sensitivitas terhadap stimulus sensorik, dan ruang multisensori dapat menciptakan suasana yang menenangkan dan meningkatkan fungsionalitas anak autis. Stephenson dan Carter mengeksplorasi bagaimana guru menggunakan lingkungan multisensori untuk melibatkan siswa dengan disabilitas intelektual dalam pembelajaran di Sydney, NSW. Temuan penelitian menunjukkan bahwa guru menganggap bahwa lingkungan multisensori (MSE) berkontribusi positif terhadap stimulasi pengalaman sensorik, dapat digunakan sebagai ruang belajar, meningkatkan keterampilan fokus, dan mendorong relaksasi dan kenikmatan. Ruang multisensori dilaporkan efektif untuk orang dengan disabilitas perkembangan dan autisme.

Grace mengeksplorasi hambatan yang dialami oleh praktisi dalam menggunakan ruang multisensori. Beberapa hambatan yang dibahas adalah menjadi fasilitas umum di sekolah, dan sering kali tantangan yang dihadapi dalam mengalokasikan waktu untuk semua siswa untuk

menggunakan peralatan di ruangan tersebut. Personalisasi peralatan berdasarkan kebutuhan siswa sulit dilakukan karena staf yang rendah dan waktu yang terbatas. Ruang multisensori ini digunakan secara suboptimal. Kurangnya pengetahuan praktisi tentang cara menggunakan peralatan secara bermakna untuk mendukung penyandang disabilitas merupakan hambatan untuk penggunaan ruang multisensori yang efektif. Teknologi bantu berpotensi menciptakan lingkungan belajar adaptif yang sesuai dengan kebutuhan spesifik penyandang disabilitas. Pada saat yang sama, ada kebutuhan untuk melatih pengguna dan fasilitator untuk mengadopsi teknologi bantu di kelas mereka. Pelatihan guru penting dalam menciptakan lingkungan yang inklusif untuk semua siswa. Terutama, pelatihan difokuskan pada perbaikan disabilitas, dan ini memengaruhi bagaimana guru memahami disabilitas. Pelatihan guru yang meningkatkan pemahaman mereka tentang Gangguan Spektrum Autisme akan membantu mereka meningkatkan praktik mengajar dan memenuhi beragam kebutuhan belajar anak-anak. Teknologi membantu dalam dukungan disabilitas; penting untuk mempertimbangkan pelatihan guru guna memastikan pendidikan berkualitas dengan kesetaraan dan keadilan.

Cameron dan rekan-rekan, dalam tinjauan ruang lingkup mereka tentang lingkungan multisensori, telah mengidentifikasi bahwa MSE digunakan di seluruh dunia di antara penyandang disabilitas (intelektual, perkembangan), demensia, persalinan, cedera otak traumatis, dan kondisi kesehatan mental. Di antara penyandang disabilitas, penelitian yang tersedia terbatas, dan ada kebutuhan untuk mengeksplorasi pengalaman berbasis pengguna. Namun, tinjauan tersebut mengamati bahwa karya ilmiah mengakui potensi lingkungan multisensori untuk meningkatkan kualitas hidup di antara penyandang disabilitas intelektual dan menyediakan ruang aman untuk kegiatan rekreasi.

Dalam tinjauan sistematis mereka, Stephenson dan Carter mengeksplorasi penggunaan ruang multisensori dengan penyandang disabilitas perkembangan selain gangguan spektrum autisme. Tinjauan ini menyimpulkan bahwa studi di bidang ini tidak memberikan cukup bukti untuk mempertimbangkan ruang multisensori sebagai pilihan intervensi bagi penyandang disabilitas perkembangan.

Mempertimbangkan semua argumen ini, penting untuk memahami pengalaman guru yang menggunakan teknologi bantu seperti ruang multisensori saat melibatkan penyandang disabilitas dalam pembelajaran.

16.2 YANG MELATARBELAKANGI TEKNOLOGI INI

Studi kasus ini dilakukan di distrik Kasargod, Kerala. Distrik Kasargod terdampak penyemprotan pestisida endosulfan di perkebunan jambu mete. Pada akhir tahun 1980-an, dokter yang berkunjung menemukan masalah kesehatan pada anak-anak. Kemudian, ditemukan bahwa endosulfan dapat merusak sistem saraf pusat sehingga mereka mulai menderita masalah kulit, epilepsi, dan palsy serebral. Dampak kesehatan yang dilaporkan meliputi neurotoksisitas, kematangan seksual yang terlambat, serta disabilitas fisik dan intelektual. Hal ini terus berlanjut dari satu generasi ke generasi berikutnya. Umumnya, kelainan bawaan ini dianggap tidak dapat disembuhkan. Hal ini berkaitan dengan paparan endosulfan pada orang tua. Para dokter mengamati bahwa penggunaan endosulfan telah

menyebabkan disabilitas bawaan, hidrosefalus, penyakit sistem saraf, epilepsi, palsy serebral, serta disabilitas fisik dan mental yang parah. Hal ini sangat memengaruhi kemampuan sensorik dan hak pendidikan anak-anak.

16.3 METODE DESAIN DAN ANALISIS

Penelitian ini bertujuan untuk memahami bagaimana persepsi guru terhadap penerapan ruang multisensori di sebuah sekolah khusus di distrik Kasargod.

Bagaimana pengalaman awal penggunaan ruang multisensori untuk melibatkan anak-anak penyandang disabilitas dalam pembelajaran dari perspektif guru?

Studi kasus ini bersifat eksploratif. Wawancara semi-terstruktur dilakukan dengan tiga pendidik khusus dari sebuah sekolah khusus di distrik Kasargod, Kerala.

Wawancara dilakukan setelah meminta persetujuan dari ketiga partisipan pada awal Oktober 2024. Anonimitas dan kerahasiaan partisipan dijaga selama penelitian ini. Jadwal wawancara semi-terstruktur terdiri dari pertanyaan mengenai detail dan peralatan yang ada di ruang multisensori di sekolah, sifat pelatihan yang diterima para pendidik untuk menggunakan peralatan tersebut, mengapa ruang multisensori didirikan, mengenai penggunaan fasilitas secara teratur, bagaimana anak-anak penyandang disabilitas menanggapi pengalaman di ruang multisensori, dan perubahan yang diamati oleh guru di antara siswa setelah pemasangan ruang multisensori di sekolah mereka.

Wawancara direkam audio dan ditranskripsi untuk dianalisis. Transkrip wawancara dikodekan dan disusun ke dalam tema-tema menggunakan Miles dan Huberman (1994). Empat langkah utama memandu proses ini—pengumpulan data, pengkodean dan reduksi data, menampilkan data dalam format tabel, dan menarik kesimpulan untuk menjawab pertanyaan penelitian. Temuan penelitian ini disajikan dalam empat tema—detail ruang multisensori, pengalaman guru dalam menggunakan ruang multisensori untuk melibatkan anak-anak penyandang disabilitas dalam pembelajaran, tantangan yang dialami oleh para pendidik, dan pentingnya pelatihan guru.

16.4 DETAIL RUANG MULTISENSORI

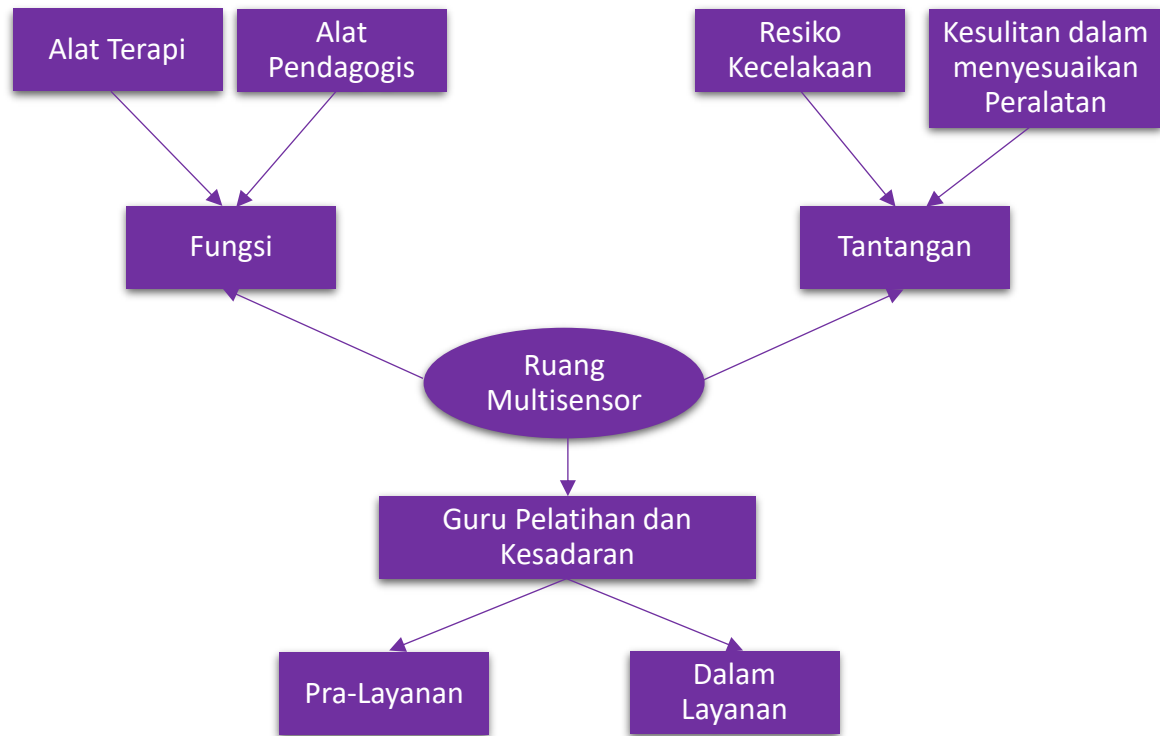
Ruang multisensori didirikan di sekolah khusus tersebut pada bulan Juni 2024. Tiga pendidik khusus berpartisipasi dalam wawancara dan berbagi pengalaman mereka dalam menggunakan ruang multisensori untuk melibatkan anak-anak dengan disabilitas perkembangan dan intelektual dalam pembelajaran. Detail peserta ditampilkan pada Tabel 16.1.

Tabel 16.1 Detail Peserta.

Peserta 1	Perempuan	Dua tahun
Peserta 2	Perempuan	Tiga tahun
Peserta 3	Perempuan	Satu tahun

Para guru menyampaikan bahwa ruang multisensori terdiri dari berbagai peralatan, termasuk kolam bola, bola gelembung, karpet, matras empuk, dinding lunak, benda-benda

berwarna, peralatan suara, panel pro-interaktif piksel, matras bermain multiwarna yang saling mengunci, pod keseimbangan, matras Montessori sensorik, bola rol fisioterapi, dan balok bermain lunak. Para pendidik menyebutkan bahwa kelas mereka mengunjungi ruang multisensori seminggu sekali. Diagram yang menggambarkan temuan penelitian ini disajikan pada Gambar 16.1.



Gambar 16.1 Representasi Diagramatik Tema Dan Temuan.

Menggunakan Ruang Multisensori

Para guru memandang ruang multisensori bermanfaat bagi anak-anak dengan disabilitas intelektual dan perkembangan dalam dua hal—pertama, memberikan ruang bagi mereka untuk bersantai dan menikmati, dan kedua, membantu guru menggunakan peralatan yang tersedia di sana sebagai alat pembelajaran untuk melibatkan anak-anak dengan disabilitas dalam pembelajaran. Ruang ini membantu meningkatkan fokus, perhatian, dan konsentrasi.

“Ruang ini dipenuhi dengan peralatan yang merangsang indra untuk menciptakan lingkungan yang menenangkan. Di sekolah kami, kami memiliki ruang multisensori. Ruang ini bermanfaat khususnya bagi anak-anak dengan autisme. Ruang ini membantu mengelola hiperaktivitas dan meningkatkan perilaku positif. Ini adalah beberapa peralatan yang dapat digunakan untuk mengajarkan kombinasi warna, bentuk, dan berhitung. Kelas multisensori melayani indra, memungkinkan anak-anak untuk melihat, mendengar, merasakan, dan menyentuh benda.”

–Peserta 2

“Ketika kami mengajar anak-anak melalui ruang multisensori, mereka lebih berinisiatif untuk mengerjakan setiap tugas. Ketika anak tertarik melakukan setiap aktivitas, anak akan mempelajari hal-hal baru atau topik baru di ruang multisensori.”

–Peserta 2

“Ruang multisensori sangat bermanfaat untuk membuat anak-anak tenang dan bahagia.”

–Peserta 1

“Setiap peralatan di ruang multisensori dapat digunakan sebagai bahan ajar untuk mengurangi masalah sensorik pada anak-anak. Pencahayaan di ruang multisensori membantu mengurangi rasa takut akan kegelapan. Peralatan suara di ruang sensori membantu anak-anak memahami suara. Alat penting dalam hal ini disebut papan keseimbangan. Papan ini membantu membangun keseimbangan dan stabilitas pada anak-anak yang kurang seimbang saat berjalan. Pengalaman taktil dengan menggunakan matras Montessori membantu anak-anak memahami benda dengan menyentuhnya.”

–Peserta 3

Tantangan dalam Menggunakan Ruang Multisensori

Para pendidik membahas dua tantangan yang mereka hadapi di kelas multisensori. Pertama, ketika semua siswa menggunakan peralatan ruang multisensori secara bersamaan, terdapat risiko kecelakaan. Kedua, tidak semua siswa menikmati peralatan yang sama di ruang multisensori. Hanya sedikit siswa yang takut gelap. Oleh karena itu, guru diharuskan untuk menyiapkan peralatan dengan mempertimbangkan kebutuhan anak-anak.

“Perangkat di ruang multisensori digunakan oleh banyak orang secara bersamaan, dan terdapat risiko kecelakaan ketika anak-anak sering melakukannya tanpa perhatian. Kita harus memahami bahwa kita harus menunggu kesempatan setiap orang tanpa terburu-buru dan melakukan segala sesuatunya sesuai dengan kebutuhan. Belajar untuk mematuhi instruksi yang diberikan itu penting.”

–Peserta 1

“Tidak semua siswa dapat menikmati pembelajaran di ruang multisensori. Hanya sedikit anak di kelas saya yang takut gelap. Untuk membuat anak-anak merasa nyaman, kami menyalakan lampu agar anak-anak dapat berinisiatif untuk mengikuti kegiatan atau menggunakan peralatan yang tersedia di kelas.”

–Peserta 2

Pelatihan Pendidik Khusus dalam Menggunakan Ruang Multisensori

Pelatihan guru merupakan aspek penting dalam membekali pendidik agar dapat menggunakan ruang multisensori secara efektif untuk melibatkan anak-anak penyandang disabilitas dalam pembelajaran. Para pendidik menyampaikan bahwa mereka telah menerima pelatihan pra-jabatan tentang ruang multisensori dalam program Sarjana Pendidikan Khusus (S.Ed. dalam pendidikan khusus). Mereka juga dapat memperoleh manfaat dari pelatihan dalam jabatan untuk menggunakan peralatan tersebut secara bermakna.

"Kami menerima pelatihan multisensori ini saat kami menyelesaikan gelar kami dalam pengajaran khusus, seperti gelar Sarjana Pendidikan (B.Ed) khusus. Kami telah secara khusus menyebutkan multisensori sebagai mata kuliah."

–Peserta 2

"Saya belum menerima pelatihan khusus untuk menggunakan peralatan di ruang multisensori, kami mencoba mengajari anak-anak untuk melihat dan memahaminya."

–Peserta 1

16.5 DISKUSI DAN KESIMPULAN

Studi ini merupakan eksplorasi awal terhadap pengalaman dan perspektif guru dalam penggunaan ruang multisensori untuk melibatkan anak-anak dengan disabilitas perkembangan dan intelektual dalam pembelajaran. Ditemukan bahwa guru memiliki persepsi positif terhadap ruang multisensori, dan mereka menyatakan bahwa hal ini menambah nilai terapeutik dan pedagogis pada praktik pengajaran mereka. Habbak dan Khodeir membahas nilai terapeutik ruang multisensori. Ruang-ruang ini menyediakan lingkungan yang aman untuk mendapatkan pengalaman imersif dari berbagai komponen seperti cahaya, musik, objek, suara, getaran, dan tekstur. Ruang-ruang ini membantu anak-anak autis mengalami berbagai jenis stimulus yang berkaitan dengan penciuman, sentuhan, penglihatan, pendengaran, dan gerakan sambil tetap tenang dan rileks.

Hal ini memberikan kesempatan bagi anak-anak untuk terlibat dalam permainan, eksplorasi, pengalaman, dan mempelajari ide-ide baru di lingkungan yang aman. Dalam meta-analisis mereka, Lotan dan Gold mensintesis bukti awal yang mendukung ruang multisensori/intervensi Snoezelen memiliki nilai terapeutik. Mereka menambahkan bahwa ruangan-ruangan ini dapat menjadi media untuk relaksasi dan memberikan pengalaman sensorik bagi penyandang disabilitas intelektual. Mereka juga menunjukkan bahwa ada kebutuhan untuk penelitian lebih lanjut yang ketat yang mengeksplorasi hasil yang terukur untuk dengan yakin mengklaim bahwa ruang multisensori dapat digunakan sebagai intervensi terapeutik bagi penyandang disabilitas intelektual.

Thompson, melalui penelitian observasi mereka, menemukan bahwa pengalaman multisensori meningkatkan fokus berkelanjutan dari penyandang disabilitas perkembangan.

Studi ini menemukan bahwa guru melihat nilai pedagogis dalam menggunakan peralatan di ruang multisensori untuk mengajarkan konsep bentuk, berhitung, dan warna. Mereka menyebutkan bahwa anak-anak mengambil lebih banyak inisiatif untuk belajar di ruang multisensori karena mereka merasa lebih rileks. Temuan awal ini membuka jalan bagi penelitian lebih lanjut tentang nilai pedagogis ruang multisensori, karena saat ini terdapat bukti terbatas mengenai hasil pembelajaran yang terukur dari perspektif pengguna.

Penelitian ini mengidentifikasi dua tantangan yang dihadapi pendidik di ruang multisensori—pertama, penggunaan ruang ini secara bersamaan oleh semua siswa di kelas dapat menyebabkan risiko kecelakaan dan kedua, kesulitan dalam mempersonalisasi/menyesuaikan ruang multisensori. Temuan ini mendorong diskusi tentang apakah pengalaman ruang multisensori bermanfaat sebagai pengalaman individu atau pengalaman kelompok/bersama. Temuan ini juga mendorong personalisasi pengaturan ruang multisensori berdasarkan kebutuhan anak. Grace membahas bahwa mempersonalisasi ruang multisensori berdasarkan kebutuhan individu dapat menjadi penting untuk penggunaan dan praktik yang efektif. Temuan ini juga didukung dengan menetapkan perlunya guru untuk dilengkapi dengan teknologi adaptif agar dapat memanfaatkan peralatan di ruang multisensori secara bermakna.

Guru perlu diinduksi ke dalam pendidikan dan pelatihan multisensori agar dapat menggunakan peralatan secara bermakna untuk menciptakan pengalaman belajar siswa. Pelatihan ini dapat berlangsung baik pada periode pra-jabatan maupun selama periode jabatan. Gurramkonda dan Vanitha meneliti kesadaran akan teknologi bantu di kalangan calon guru di perguruan tinggi B.Ed. di distrik Kasargod, Kerala. Temuan menunjukkan bahwa para guru memiliki tingkat kesadaran sedang, dan studi menyimpulkan bahwa para guru menyadari adanya alat bantu teknologi bantu, tetapi penerapannya di kelas terbatas.

Studi ini merupakan eksplorasi awal terhadap pengalaman dan persepsi guru dalam penggunaan ruang multisensori di kalangan anak-anak penyandang disabilitas perkembangan dan intelektual. Temuan ini telah menjelaskan potensi nilai terapeutik dan pedagogis ruang sensoris, tantangan bagi para pendidik, dan pentingnya pelatihan pra-jabatan dan dalam jabatan.

16.6 KETERBATASAN DAN ARAHAN UNTUK PENELITIAN MENDATANG

Keterbatasan studi ini perlu diakui. Meskipun ukuran sampelnya kecil (tiga partisipan), respons yang diberikan mencerminkan pengalaman awal guru dalam menggunakan ruang multisensori. Studi observasi perlu dilakukan untuk memahami luaran terukur pada anak-anak sebagai dampak penggunaan ruang multisensori di sekolah khusus dalam konteks distrik Kasargod. Bukti empiris mengenai luaran terukur ini dapat membantu sekolah membuat keputusan yang tepat untuk membangun ruang multisensori. Selain itu, studi longitudinal perlu dilakukan untuk memahami luaran penggunaan ruang multisensori dan apakah ruang multisensori dapat dianggap sebagai teknologi bantu yang efektif dalam mendukung penyandang disabilitas.

BAB 17

ETIKA ASSISTED LIVING PADA PELAYANAN KESEHATAN

17.1 PENDAHULUAN

Epidemi SARS-COVID-19 telah mempercepat peralihan global menuju layanan kesehatan cerdas, dengan mengubah teknik lama menjadi teknik cerdas, sebuah langkah menuju platform digital dengan teknologi kesehatan digital. Teknologi digital memungkinkan pengelolaan data yang efisien dan alokasi sumber daya untuk manajemen layanan kesehatan global. Sistem layanan kesehatan cerdas Industri 4.0 berfokus pada pengelolaan Rekam Medis Elektronik (HER), dan sedang membentuk kembali layanan kesehatan menjadi Layanan Kesehatan 5.0, sebuah inisiatif menuju transformasi Industri 5.0. Pengenalan teknologi baru, yaitu komputasi awan, kecerdasan buatan (AI), pembelajaran mesin (ML), Internet of Things (IoT), teknologi blockchain, dan lainnya., membuat pengelolaan data lebih mudah dan efektif.

Namun, data yang dihosting di cloud rentan terhadap pelanggaran keamanan dan penjualan ilegal. Teknologi baru seperti AI, ML, dan IoT diintegrasikan untuk mengatasi tantangan ini, meningkatkan layanan klinis yang berpusat pada pasien, dan membuka jalan menuju Layanan Kesehatan 5.0. Layanan Kesehatan 5.0, era digital yang bertujuan untuk pengendalian penyakit cerdas, layanan kesehatan virtual, dan pengambilan keputusan klinis, menghadapi tantangan seperti heterogenitas data, ketidakteraturan, dan keterbatasan kemampuan komputasi. Era ini juga kurang mengenali data psikologis dan emosional, sehingga mengakibatkan kurangnya aplikasi yang disesuaikan. Dengan tujuan meningkatkan kualitas hidup, teknologi hunian berbantuan (AL) di Amerika Serikat (AS) menyediakan layanan yang diatur negara bagian untuk lansia.

Namun, karena faktor-faktor seperti biaya, ketajaman penglihatan penghuni, hukum, dan ketersediaan staf, terdapat masalah terkait tingkat kebutaan, kualitas, dan standardisasi. Implikasi etis AI dikaji dalam bab ini dalam sejumlah skenario, seperti teknologi bantu, desain robot, dan agen moral. Bab ini mendorong terciptanya kerangka kerja supervisi dan integrasi etika ke dalam metodologi desain untuk aplikasi klinis yang bermoral. Argumen seputar AL dan robot bantu sosial menyoroiti bagaimana keduanya dapat melemahkan otonomi dan mengganggu penyediaan layanan.

Bab ini menyelidiki implikasi etis AI dalam berbagai konteks, termasuk agen moral, desain robot, dan teknologi bantu. Ia menganjurkan penerapan etika ke dalam metode desain dan pengembangan struktur supervisi baru untuk memastikan implementasi klinis yang etis. Teknologi hunian berbantuan meningkatkan kualitas hidup lansia dengan meningkatkan keselamatan, komunikasi, manajemen kesehatan, dan kemandirian. Teknologi ini dapat mencegah dan mendeteksi jatuh, serta mengoperasikan peralatan rumah pintar dari jarak jauh.

Platform komunikasi, teknologi audio dan video, serta perangkat yang dapat dikenakan dapat membantu lansia tetap terhubung dengan keluarga dan teman. Aplikasi manajemen kesehatan membantu mengingatkan lansia untuk minum obat dan mengisi ulang resep.

Perangkat yang dapat dikenakan dapat melacak latihan dan tingkat kebugaran. Teknologi rumah pintar memungkinkan lansia untuk mengontrol lingkungan sekitar mereka menggunakan perintah suara atau aplikasi ponsel pintar. Pertimbangan etis dalam penggunaan teknologi hunian berbantuan dalam layanan kesehatan meliputi privasi, keadilan, otonomi, akuntabilitas, keamanan data, keterjangkauan, persetujuan, liabilitas, keamanan siber, kendali pengguna, dan martabat. Pertimbangan ini meliputi perlindungan privasi dan data pengguna, menjamin desain yang adil, memastikan otonomi, keterbukaan, dan akuntabilitas, keamanan data, aksesibilitas, dan persetujuan berdasarkan informasi.

Liabilitas dinilai dengan menentukan siapa yang bertanggung jawab atas kerugian yang ditimbulkan oleh teknologi, sementara keamanan siber memastikan perlindungan dari serangan siber. Kendali pengguna memungkinkan pengguna mengonfigurasi teknologi untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri, sementara martabat menjamin martabat dan kemandirian pengguna. Bab ini juga membahas perdebatan seputar robot bantuan sosial dan teknologi Ambient Assisted Living (AAL), yang menekankan potensinya untuk mengganggu pemberian layanan dan melemahkan otonomi lansia. Bab ini mendorong diskusi multiprofesional dan pendekatan yang berpusat pada individu dalam desain fasilitas pelayanan kesehatan, dengan berfokus pada ketidakadilan sosial ekonomi, hambatan akses, perangkat keselamatan konsekuensi, keamanan data, keamanan siber, hak kekayaan intelektual, dan ketidakseimbangan kekuasaan. Mengatasi hambatan organisasi, keteraturan, privasi, dan budaya sangat penting bagi model operasional pelayanan kesehatan yang andal.

17.2 TRANSFORMASI LAYANAN KESEHATAN 4.0 KE 5.0

Layanan Kesehatan 4.0 dan Layanan Kesehatan 5.0 adalah dua paradigma layanan kesehatan yang berbeda. Layanan Kesehatan 4.0 berfokus pada penggunaan teknologi untuk mengotomatiskan operasional, sementara Layanan Kesehatan 5.0 mempromosikan perawatan pasien dan kebutuhan spesifiknya. Hal ini meningkatkan kesejahteraan fisik, mental, dan emosional. Partisipasi pasien, komunikasi terbuka antara dokter dan pasien, keberlanjutan, dan pemanfaatan teknologi canggih seperti sistem bioinspirasi dan solusi energi berkelanjutan merupakan kontras yang signifikan antara kedua pendekatan tersebut.

Layanan Kesehatan 5.0 juga menekankan keterlibatan pasien dalam manajemen kesehatan, yang mendorong transparansi dan lingkungan layanan kesehatan yang lebih berkelanjutan. Kedua model ini berupaya untuk meningkatkan hasil kesehatan pasien dan secara keseluruhan. Layanan Kesehatan 5.0, sebuah transformasi digital yang memanfaatkan nanoteknologi, 5G, dan AI, menawarkan pemantauan jarak jauh dan perawatan yang dipersonalisasi tetapi menghadapi tantangan seperti masalah organisasi, hambatan teknologi dan infrastruktur, kerangka hukum, dan hambatan budaya. Layanan Kesehatan 4.0, yang merupakan kombinasi IoT, Identifikasi Frekuensi Radio (RFID), dan perangkat pintar yang dapat dikenakan (wearable), belum memiliki pengenalan emosi dan aplikasi kesehatan yang dipersonalisasi.

Teknologi Baru yang Penting dan Perannya dalam Layanan Kesehatan 5.0

Layanan Kesehatan 5.0 akan direvolusi oleh teknologi digital yang sedang berkembang seperti nanoteknologi, 5G, drone, blockchain, robotika, big data, IoT, AI, dan komputasi awan. Teknologi-teknologi ini akan meningkatkan terapi, diagnostik, pengawasan, pemantauan, layanan klinis jarak jauh, pasokan medis, konsultasi, rehabilitasi virtual, dan efisiensi layanan kesehatan. Teknologi blockchain juga semakin populer dalam layanan keuangan dan layanan kesehatan.

Layanan Kesehatan Virtual dan Layanan Kesehatan 5.0

Teknologi Layanan Kesehatan 5.0, termasuk pemantauan jarak jauh, telemedis, dan AAL, merevolusi perawatan pasien dengan mempromosikan layanan kesehatan yang terpersonalisasi dan terhubung, serta mengatasi tantangan dalam aspek teknologi, organisasi, hukum, dan budaya. Realitas tertambah, realitas virtual, dan realitas campuran, selain metaverse, juga memainkan peran penting dalam transformasi menuju Layanan Kesehatan 5.0.

Kendala Pelaksanaan, Adopsi, dan Penggunaan Layanan Kesehatan 5.0

Adopsi Layanan Kesehatan 5.0 menghadapi tantangan seperti heterogenitas data, standardisasi, dan keandalan data sensor. Sistem tradisional rentan terhadap misalignment dan medan elektromagnetik. Nanoteknologi menawarkan manfaat tetapi memiliki efek jangka panjang pada tubuh manusia karena keterbatasan kemampuan komputasi. Adopsi Layanan Kesehatan 5.0 di negara-negara berkembang menghadapi tantangan karena kerangka regulasi, standar yang disetujui Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), dan infrastruktur Teknologi Informasi (TI) yang tidak memadai, sehingga memerlukan keterlibatan pemangku kepentingan, regulasi cerdas, dan standar keamanan universal.

17.3 MENATA ULANG TEKNOLOGI PANTI JOMPO (PA)

Panti Jompo (PA) telah menjadi pilihan populer bagi lansia di AS selama beberapa dekade, menyediakan perawatan suportif di lingkungan seperti rumah. Bantuan Hidup (AL), yang awalnya diciptakan untuk menyediakan perawatan yang berpusat pada individu, kini mencakup separuh dari seluruh tempat tidur perawatan jangka panjang. Namun, meningkatnya keterlibatan industri real estat, perhotelan, dan layanan kesehatan telah menimbulkan kekhawatiran tentang variabilitas, kualitas, dan standar Bantuan Hidup. Ketegangan atas model Bantuan Hidup, regulasi, keuangan, ketajaman penghuni, dan personel telah mengakibatkan model perawatan yang tidak sesuai rencana. Untuk mengatasi ketegangan ini, 25 pemangku kepentingan mengadakan dua retreat setengah hari untuk mengidentifikasi isu-isu penting dan bertukar pikiran tentang solusi potensial. Artikel ini membahas latar belakang dan solusi potensial untuk masa depan yang lebih baik dalam kehidupan berbantuan.

Antagonisme Saat Ini dalam Bantuan Hidup dan Kemungkinan Penyelesaiannya

Teknologi Bantuan Hidup (AL) di AS menghadapi tantangan dalam hal model, konsepsi, pendanaan, ketajaman penghuni, dan tenaga kerja karena meningkatnya keterlibatan di sektor

real estat, perhotelan, dan layanan kesehatan. Para peneliti mengadakan retreat untuk mengidentifikasi ketegangan dan membahas solusi potensial.

1. *Model Bantuan Hidup*: Model Bantuan Hidup, yang dikembangkan pada tahun 1940-an, berawal dari ketidaksukaan terhadap panti jompo. Solusinya mencakup edukasi konsumen, pelaporan standar, dan pemisahan layanan dari perumahan, tetapi memahami model terbaik membutuhkan evaluasi dan perbandingan.
2. *Regulasi AL*: Regulasi perawatan jangka panjang yang kompleks dan ketinggalan zaman di AL membutuhkan kebijakan federal yang ekstensif dan persyaratan penjamin keuangan. Lima negara bagian di AS menerapkan kemitraan publik-swasta dan pendekatan profesional untuk meningkatkan kualitas.
3. *Pembiayaan AL*: Komunitas AL menghadapi masalah kepegawaian dan kualitas karena sifatnya yang berafiliasi dengan rantai. Solusinya meliputi perbaikan struktur, diversifikasi pilihan perumahan, modifikasi layanan, pelibatan warga, penggunaan insentif pajak, dan mendorong kesetaraan bagi mereka yang memenuhi syarat asuransi.
4. *Penghuni AL*: Desain, pemerintahan, dan pendanaan AL harus mempertimbangkan peningkatan kebutuhan layanan kesehatan dan preferensi sosiokultural penghuni, karena mereka memiliki tingkat penyakit kronis yang serupa dengan penghuni panti jompo. Solusi alternatif termasuk mengintegrasikan layanan kesejahteraan dan perhatian jangka panjang.
5. *Tenaga Kerja Perawat dan Perawatan Langsung AL*: Industri perawatan jangka panjang menghadapi tantangan tenaga kerja seperti gaji rendah, kesejahteraan yang tidak memadai, pengawasan yang buruk, beban kerja, peran yang direncanakan dengan buruk, peluang kemajuan karier yang kecil, dan berbagai kekurangan.

Kebutuhan untuk Aktivitas, Kebijakan, dan Eksplorasi

Bab ini menyarankan evaluasi ulang layanan AL yang berfokus pada perawatan yang berpusat pada individu, mengatasi ketegangan regulasi, masalah pembiayaan, dan tantangan tenaga kerja, serta merekomendasikan solusi seperti edukasi konsumen.

17.4 HUKUM ETIKA DAN ETIKA MEDIS SERTA PERSPEKTIF LINEAR

Dengan fokus pada isu-isu normatif tentang apa yang seharusnya dilakukan orang atau perilaku apa yang benar secara etis, etika adalah studi filosofis tentang peristiwa-peristiwa moral. Metaetika, etika praktis, dan etika normatif adalah beberapa subbidang utamanya. Prinsip-prinsip umum, isu-isu etika praktis, serta gagasan dan praduga fundamental etika semuanya dikaji dalam bidang-bidang ini. Di antara teori-teori normatif yang menonjol adalah etika kebajikan, deontologi, dan konsekuensialisme. Teori nilai mengkaji jenis dan hakikat nilai, sedangkan psikologi moral mengkaji aspek-aspek psikologis moralitas. Etika deskriptif menjelaskan standar dan ideologi moral yang berlaku dalam berbagai peradaban serta konteks historisnya. Hinduisme, Buddha, Konfusianisme, dan Taoisme semuanya memiliki ajaran tentang etika yang telah ada sejak ribuan tahun yang lalu. Teori etika modern telah

mengadopsi perspektif yang lebih sekuler, yang menekankan pengalaman moral, alasan bertindak, dan konsekuensi dari tindakan.

Subbidang filsafat yang dikenal sebagai etika, atau filsafat moral, mengkaji fenomena moral serta aturan-aturan yang mengatur perilaku, institusi, dan atribut karakter. Bidang ini menekankan tugas, perilaku yang pantas dan tidak pantas, serta menjalani kehidupan yang bermartabat. Terdapat tiga kategori etika: metaetika, etika terapan, dan etika normatif. Di sisi lain, moralitas berkaitan dengan apa yang seharusnya dilakukan orang, bukan apa yang mereka lakukan atau apa yang diharapkan masyarakat dari mereka. Etika juga dapat merujuk pada standar moral tertentu atau teori etika yang dianut oleh profesi atau organisasi tertentu. Meskipun kedua frasa tersebut sering digunakan secara sinonim, beberapa filsuf membedakan keduanya. Etika menekankan kewajiban moral dan etika menekankan perilaku yang baik.

Guru kuno, Charaka, menekankan pentingnya hubungan dokter dengan pasien dan tanggung jawab mereka untuk merawat mereka sebagai anggota keluarga. Meskipun terdapat kemajuan dalam ilmu dan teknologi kedokteran, permasalahan etika tetap ada, seperti perawatan pasien dan penelitian klinis yang tidak memadai. Etika medis merupakan isu penting bagi praktisi kesehatan karena menyediakan kerangka kerja untuk membuat keputusan etis bagi pasien. Etika kedokteran dibangun di atas empat pilar: kebaikan hati, non-maleficence, otonomi, dan keadilan. Untuk bertindak demi kepentingan terbaik pasien mereka, calon dokter harus memiliki kompas moral yang kuat dan pemahaman yang mendalam tentang etika kedokteran.

Pentingnya Etika dalam Konteks Kerja Sama Manusia-AI (HAIT)

Dalam Bab ini ini menekankan pentingnya pertimbangan etika yang berpusat pada manusia dalam pengembangan dan implementasi AI, khususnya dalam kerja sama manusia-AI. Dalam Bab ini ini menyoroti tantangan penerapan prinsip-prinsip etika dalam konteks AI, seperti keselamatan, keandalan, keadilan, dan kewajiban, serta perlunya panduan dan klarifikasi.

Pedoman dan Prinsip Etika dalam AI

Ada tiga teori etika utama: etika kebajikan, deontologi, dan konsekuensialisme yang mengevaluasi situasi etika dalam AI, dengan fokus pada agensi, niat, dan hasil. Etika dalam AI mencakup sembilan prinsip: keadilan, privasi, keselamatan, kendali manusia, transparansi, akuntabilitas, dan pembangunan berkelanjutan. Kategori AI memprioritaskan risiko etika melalui keadilan, non-diskriminasi, privasi, keamanan, dan kendali manusia. Kategori AI juga menekankan liabilitas atau bertindak secara bertanggung jawab dalam batasan hukum, memastikan transparansi dan kemudahan penjelasan. Kategori AI memperbaiki kurangnya nilai-nilai etika dengan mempromosikan nilai-nilai kemanusiaan dan tanggung jawab profesional, serta mempertimbangkan hasil jangka panjang. Sistem regulasi harus memperbaiki keputusan yang tidak adil dan meminta pertanggungjawaban pihak yang bertanggung jawab.

Model Application Delivery Controller (ADC) untuk etika dalam kerja sama manusia-AI: Penerapan etis model ADC dalam teknologi AI dipandu oleh prinsip-prinsip seperti pembangunan berkelanjutan, layanan kesehatan, efisiensi sumber daya, dan tanggung jawab

lingkungan. Model ADC, yang didasarkan pada etika kebajikan, deontologi, dan konsekuensialisme, menyederhanakan pemrograman AI dengan memprediksi penilaian moral. Model ini dapat diterapkan pada model HAIT. Sebuah studi yang mengkaji efektivitas AI dalam menyelamatkan korban dari keruntuhan menyoroti perlunya mempertimbangkan berbagai skenario untuk memastikan hasil yang optimal.

Tantangan dalam Menerapkan Pengambilan Keputusan Moralistik pada Mesin

Model ADC mungkin tidak cocok untuk sistem berbasis AI karena tantangan evaluasi etika, karena sistem AI seringkali memiliki kemampuan komputasi yang superior, dan pemahaman prinsip-prinsip etika sangat penting untuk penerimaan publik. Model kepercayaan interpersonal menekankan kemampuan, kebajikan, dan integritas AI, dengan kompetensi mendominasi kepercayaan. Pertimbangan etika mencakup bias manusia, fitur desain, dan narasi. Tindakan AI membutuhkan akal sehat, transparansi, dan pemahaman pemangku kepentingan. Konsekuensinya meliputi kecelakaan berbasis AI, pertimbangan kontekstual, dan kebutuhan akan interaksi manusia-AI serta teknik pembelajaran terawasi. Pelatihan gabungan antara manusia dan mesin sangat penting bagi prinsip-prinsip etika.

Aplikasi Jangka Pendek untuk Mesin dalam Situasi yang Bermuatan Moral

Carebot berbasis AI dalam layanan kesehatan dan perawatan lansia menghadapi dilema moral karena efektivitasnya yang belum jelas dan potensi bias. Aplikasi bantuan AI virtual, AIBO dan PARO yang menyerupai hewan, serta carebot antropomorfik seperti Romeo menghadapi tantangan dalam HAIT dan desain etis, yang membutuhkan pemrograman yang cermat dan pertimbangan potensi bias.

17.5 PENUAAN 4.0 DAN PERSPEKTIF ETIS TEKNOLOGI AI

Penuaan 4.0 mengkaji tantangan populasi yang menua dalam Industri 4.0, dengan fokus pada peningkatan teknologi, isu sosial budaya, pertimbangan etika, dan sudut pandang perjalanan hidup. Peningkatan teknologi dalam perawatan lansia dapat mentransformasi perawatan, tetapi juga menimbulkan implikasi etika, hukum, dan sosial. Sudut pandang yang lebih luas diperlukan untuk mengadaptasi program jaminan sosial bagi populasi lansia. Bagian kontribusi ini mengkaji implikasi etika teknologi perawatan lansia, dengan fokus pada rekayasa, ilmu komputer, dimensi sosial politik, dan pertanyaan antropologis. Hal ini menekankan perlunya pertimbangan etika yang eksplisit dalam pengembangan teknologi tersebut.

Teknologi AI dalam Perawatan Lansia

Teknologi perawatan lansia telah berkembang secara signifikan dalam dekade terakhir, termasuk perangkat pelacakan mandiri, sensor yang dapat dikenakan, teknologi pemantauan, algoritma pembelajaran, dan perangkat robotik. Varian teknologi 4.0 yang terkait dengan perawatan lansia berbantuan membutuhkan keahlian di bidang teknologi, psikologis, sosiologis, dan gerontologis, serta sangat penting dalam hal keselamatan bagi populasi rentan. Rumah pintar memantau kesehatan, membantu individu dengan gangguan kognitif, dan memberikan dukungan emosional dan sosial. Sistem ko-intelijen menggabungkan AI dan ML, meningkatkan interaksi manusia-mesin dan membedakannya dari perangkat bantu tradisional.

Meninjau Kembali Etika Perawatan Lansia di Era Teknologi AAL

Esai ini menekankan relevansi otonomi, pemberdayaan, privasi, dan keadilan dalam perawatan lansia berbantuan teknologi, menantang gagasan otonomi yang sederhana dan membutuhkan keadaan sistemik yang melampaui dokter dan teknolog individu. Hal ini juga menimbulkan pertanyaan etis tentang perlindungan data dan pengambilan keputusan, serta perlunya mengevaluasi kembali keseimbangan antara kepedulian dan kerugian yang disebabkan oleh bantuan teknis. Kerangka etika harus mempertimbangkan kepentingan sosial-ekonomi, investasi keuangan, keberlanjutan, dan tanggung jawab terhadap generasi mendatang, serta etika teknik dan ilmu komputer, pemangku kepentingan, dan isu-isu filosofis.

17.6 ISU SOSIAL, ETIKA, DAN HUKUM DALAM TEKNOLOGI AI

Teknologi AI menimbulkan beberapa kekhawatiran sosial, etika, hukum, keamanan data, dan privasi. Kekhawatiran privasi data muncul dari banyaknya data pribadi yang dikumpulkan dan diproses oleh sistem AI, yang dapat mengakibatkan pelanggaran dan akses ilegal. Sistem AI juga dapat mereproduksi bias dari data yang digunakan untuk pelatihan, yang berpotensi menghasilkan hasil yang bias. Kekhawatiran transparansi muncul karena sifat sistem AI yang tidak transparan, sehingga sulit untuk mempercayai rekomendasinya. Kumpulan data yang sangat besar yang dibutuhkan untuk pelatihan menimbulkan kekhawatiran hak cipta dan kekayaan intelektual, yang berpotensi mengakibatkan penggunaan materi berhak cipta tanpa izin. Data biometrik, seperti pengenalan wajah, menimbulkan kekhawatiran privasi. Potensi pengaruh teknologi AI pada pekerjaan tradisional menimbulkan kekhawatiran tentang hilangnya pekerjaan dan regulasi. Untuk mengatasi masalah ini, strategi yang diterapkan meliputi mengintegrasikan kekhawatiran privasi ke dalam pengembangan sistem AI, menganonimkan dan mengagregasi data, membatasi waktu penyimpanan data, meningkatkan transparansi dan kontrol pengguna, melibatkan analisis manusia dalam pengambilan keputusan penting, dan menerapkan program manajemen risiko. Teknologi AI, bersama dengan pemanfaatan Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK), sensor yang dapat dikenakan, dan aplikasi kesehatan seluler, sedang merevolusi layanan kesehatan. Namun, tantangan etika muncul akibat ketimpangan sosial dan kesenjangan akses, yang memerlukan pedoman Implikasi Etis, Hukum, dan Sosial (ELSI) untuk integrasinya.

Aspek Etika

Prinsip etika Internet of Things (IoT) Layanan Kesehatan, Internet of Medical Things (IoMT), dan lingkungan yang sadar konteks dalam layanan kesehatan, meskipun menawarkan manfaat keamanan dan privasi, menimbulkan kekhawatiran tentang sensitivitas dan pengawasan data. Sifat obtrusif dalam teknologi AI canggih memengaruhi penerimaan dan penggunaan jangka panjang pengguna, sehingga memerlukan metode yang kuat dan keterlibatan pemangku kepentingan dalam solusi AI.

Aspek Hukum

Peraturan Perlindungan Data Umum (GDPR) dan Perlindungan Data Berdasarkan Desain (DPbD) mengamanatkan perlindungan data, keamanan siber, regulasi perangkat medis,

aturan umum keselamatan pasien, keamanan konsumen, hak kekayaan intelektual, dan regulasi AI. Peraturan GDPR dan DPbD di Eropa mengamankan kualitas, transparansi, keadilan, dan pembatasan niat dalam pemrosesan data, dengan teknologi AI yang menerapkan prinsip-prinsip ini. Keamanan siber sangat penting dalam lingkungan AI, dan peraturan perangkat medis menentukan kepatuhan AI. Undang-undang perlindungan konsumen melindungi pembeli dari praktik yang tidak adil, sementara hak kekayaan intelektual sangat penting bagi pengembang. Pelaku yang tidak patuh menghadapi denda hingga Rp.300 miliar.

Tantangan Sosial

Adopsi AAL di institusi pelayanan kesehatan menghadapi tantangan karena risiko keamanan dan penggunaan data yang dirasakan. Pendekatan usia dalam siklus hidup dapat menyulitkan pengasuh untuk memediasi perawatan dengan perangkat ini. Isolasi dan diskriminasi gender juga dapat menimbulkan masalah etika. Perangkat digital seperti Eons, Rezoom, Multiply, dan Boomj mengatasi kesepian tetapi menimbulkan masalah etika. Ketimpangan sosial dan pertimbangan spasial juga merupakan isu penting, dengan literasi digital dan penentuan nasib sendiri pengguna diperlukan untuk inklusivitas di daerah pedesaan.

Cetak Biru Demokrasi dan Inovasi Sosial sebagai Peluang

Yao dan rekan-rekan, dalam sebuah studi tentang desain rumah pintar yang berfokus pada privasi, berfokus pada kejelasan data, kekuatan, keamanan, keselamatan, utilitas, kecerdasan sistem, dan modalitas sistem. Mereka menciptakan perangkat yang berfokus pada privasi yang disebut ideasi untuk mengatasi masalah privasi dan menyediakan panduan operasional untuk desain sistem. Inovasi sosial mengatasi masalah sosial dengan menawarkan strategi, ide, barang, layanan, dan bentuk organisasi yang inovatif, terutama untuk orang tua, meningkatkan aktivitas publik, meningkatkan modal sosial, dan menumbuhkan budaya kewirausahaan yang etis. Inovasi sosial sangat penting bagi populasi yang menua, memodifikasi kondisi kerja, mempromosikan kemampuan kerja, dan mengembangkan sistem pembelajaran seumur hidup. Berasal dari Global Selatan, hal ini mencakup inovasi produk dan layanan, pengembangan pasar, kepemimpinan politik, dan inovasi budaya, yang membutuhkan kolaborasi pemangku kepentingan.

17.7 DAMPAK ETIS KEHIDUPAN YANG DIBANTU AI

Munculnya instrumen pintar bertenaga AI menimbulkan kekhawatiran etis tentang keputusan otonom. Untuk mengatasi hal ini, program pengawasan AI baru disarankan untuk memantau, mengaudit, dan meminta pertanggungjawaban program AI operasional. Mengintegrasikan nilai-nilai ke dalam sistem panduan mobil tanpa pengemudi sangat penting untuk mencegah perilaku amoral. Pendekatan komunitarian menyarankan integrasi nilai-nilai sosial dan moral ke dalam sistem panduan AI untuk masyarakat sipil, sementara kaum libertarian menganjurkan kebebasan individu dalam privasi. Bot etika, program AI yang menganalisis preferensi moral dan memandu tindakan, dapat menentukan nilai-nilai perlindungan lingkungan dan mengatasi dilema etika serta masalah privasi. Kritikus

berpendapat bahwa agenda AI saat ini berada di luar kemampuannya, dan bot etika memandu instrumen pintar yang dibantu AI.

Pertimbangan Etis untuk Penilaian dan Perancangan Teknologi AAL

Dalam Bab ini ini mengeksplorasi penggunaan simulasi komputasional dalam refleksi etis interaksi manusia-AI, dengan fokus pada etika AI dalam layanan kesehatan dan disabilitas. Dalam Bab mengusulkan pendekatan etika berbantuan AI, yang meningkatkan penilaian etis manusia dalam teknologi bantuan cerdas untuk pasien lansia dan demensia.

1. Konseptualisasi model: Etika berbantuan AI sangat penting untuk pengembangan Transportasi Otonom Individual (IAT), tetapi dapat menjadi tidak etis jika melibatkan orang-orang yang rentan. Secara *in silico*, simulasi menawarkan eksperimen etis berbiaya rendah, dan dapat menganalisis implikasi serta menentukan konsistensi dalam pengembangan model nilai etis.
2. Konsep simulasi berbantuan AI: Studi ini menggunakan simulasi etika berbantuan AI untuk menganalisis panduan pasien demensia dalam sistem Teknologi Informasi dan Atribusi. Studi ini mengidentifikasi penentuan nasib sendiri dan otonomi relasional pasien serta menyarankan penilaian nilai, pertimbangan pemangku kepentingan, dan arsitektur kognitif.
3. Contoh: SimDem, sebuah sistem simulasi, menganalisis teknologi bantuan cerdas (IAT) di panti jompo pasien demensia, dan mengungkapkan bahwa tanpa IAT merupakan strategi yang paling tidak aman, dan pengambilan keputusan evaluatif justru meningkatkan keselamatan. Studi ini mengusulkan metodologi partisipatif untuk pengembangan simulasi berbantuan AI.

Tanggung Jawab Etis

Terdapat berbagai tanggung jawab etis atas penggunaan teknologi AI dan teknologi Assisted Living, khususnya pada lansia.

Aplikasi AI untuk Penelitian Kesehatan

AI dalam layanan kesehatan menghadapi tantangan hukum dan etika seperti privasi, pengawasan, bias, dan penilaian manusia. Memprioritaskan transparansi algoritmik, privasi, dan keamanan internet sangat penting untuk perlindungan pasien. AI dapat melacak penyebab penyakit dan tindakan pencegahan, meningkatkan perawatan klinis, dan mengungkap praktik terbaik. AI diharapkan dapat menyederhanakan pengembangan farmasi dengan mengubah proses padat karya menjadi padat modal dan padat data. AI dapat menggunakan robotika dan model untuk memahami target genetik, obat-obatan, penyakit, perkembangan, farmakokinetik, keamanan, dan efikasi.

Tantangan Etis

AI dalam kenaikan upah di layanan kesehatan menimbulkan kekhawatiran etis seperti persetujuan berdasarkan informasi, keamanan, kejelasan, kebajikan alami heuristik, dan kerahasiaan data. AI mengancam pengambilan keputusan dan kerangka kerja moral, karena mesin dapat mempelajari perilaku baru dan beroperasi tanpa aturan yang tetap. Watson dari IBM dapat merevolusi pengambilan keputusan klinis, menciptakan dinamika pemangku kepentingan, dan membutuhkan peluncuran teknologi baru yang cermat. Parlemen Eropa

telah mengesahkan resolusi yang mendesak pembentukan instrumen legislatif untuk mengatur penggunaan robot dan AI dalam lingkungan layanan kesehatan.

Mengapa Tanggung Jawab Diperlukan?

Penelitian ML berbasis layanan kesehatan ditinjau secara etis, yang mendorong tata kelola data dan metrik kinerja. Namun, kekhawatiran tentang kerentanan keamanan siber yang disebabkan oleh AI, sistem senjata otonom yang mematikan, dan bias seleksi dalam algoritma AI menimbulkan pertanyaan tentang kelayakan, desain, dan etikanya. Penggunaan AI untuk pengawasan, keamanan nasional, dan masalah keamanan domestik menciptakan vektor serangan baru. Selain itu, bias seleksi dalam pengenalan wajah otomatis dapat menyebabkan akurasi yang lebih rendah dan peningkatan kegagalan algoritma pada kelompok pasien yang kurang terlayani.

Siapa yang Bertanggung Jawab?

Perdebatan tentang akuntabilitas AI dalam layanan kesehatan menimbulkan kekhawatiran akan keamanan, yang membutuhkan kerangka kerja baru untuk persetujuan, pelatihan, dan kepatuhan terhadap aturan klinis, yang memastikan dokter tidak dapat menghindari akuntabilitas. Aplikasi ML asistif untuk layanan kesehatan (ML-HCA) menawarkan opini kepada penyedia layanan kesehatan untuk perawatan, perkiraan, atau kontrol, dengan mengandalkan representasi mental satu lawan satu untuk penilaian. ML-HCA yang mandiri melayani pernyataan prognostik dan kriteria langsung tanpa keterlibatan klinisi. Pilihan tahap otonomi memengaruhi tanggung jawab dan liabilitas, sehingga penting untuk menilai apakah penyedia layanan kesehatan dapat mengenali dan memahami risiko, alih-alih hanya menyadarinya.

Bias dalam Penggunaan AI

Model AI dapat menimbulkan bias manusia dan sosial, tetapi data yang mendasarinya dapat dipertanggungjawabkan. Model dapat dididik menggunakan keputusan manusia atau konsekuensi sekunder dari ketidakseimbangan sosial atau historis. Pengumpulan dan penggunaan data berpotensi menimbulkan prasangka. Penelitian selanjutnya sebaiknya mencakup pedoman pelaporan dan perbandingan model AI. Sistem AI yang etis, transparan, dan akuntabel diperlukan untuk meningkatkan luaran pasien dan layanan kesehatan, tetapi AI dapat menggantikan atau bahkan mengurangi sistem yang ada.

Dampak terhadap Kehidupan, Hak, dan Etika Kita

Bagian ini membahas cakupan global, teknologi, dan potensi penerapan AI, mengkaji implikasi ekonomi, sosial, dan etikanya, serta memanfaatkan sumber-sumber akademis untuk pemahaman yang komprehensif. AI berpotensi merevolusi berbagai sektor, tetapi menghadapi masalah etika, keterbatasan teknologi, pengembangan keterampilan, kualitas data, dan masalah hukum. AI harus melayani masyarakat, mempertimbangkan privasi, dan memberikan manfaat bagi masyarakat.

Tren Global AI

Indeks Ekonomi dan Masyarakat Digital memeringkat kinerja dan daya saing digital Eropa, dengan Irlandia memimpin dalam transformasi digital. AI merupakan fokus penting bagi negara-negara industri dan negara berkembang, dengan negara-negara seperti AS, Tiongkok,

Inggris Raya, Prancis, Swedia, Finlandia, dan Jerman berinvestasi dalam riset pertahanan militer. AI dan big data meningkatkan diagnostik medis, perawatan personal, dan prediksi penyakit, sehingga menantang budaya dan kepemimpinan organisasi.

AI dan Etika—Kekerabatan yang Ethereal dan Penting

Aplikasi AI menimbulkan kekhawatiran tentang privasi dan etika karena penerapan algoritma, kesenjangan regulasi, dan prinsip-prinsip etika berdasarkan desain, tetapi masih banyak pekerjaan yang diperlukan untuk mencapai transparansi. Laboratorium Keamanan, Algoritma, Jaringan, dan Data (SAND) Universitas Chicago telah mengembangkan Fawkes, sebuah sistem untuk mencegah pengenalan wajah di pabrik dan kota pintar, menggunakan teknik "cloaking" untuk melindungi hak-hak pekerja dan warga negara. Komisi Eropa mengusulkan regulasi untuk meningkatkan kepercayaan di pasar AI, mengidentifikasi empat tingkat risiko: tidak dapat diterima, tinggi, terbatas, dan minimal, dengan sistem berisiko tinggi yang tunduk pada penilaian dan mitigasi risiko.

Tantangan Global untuk Masa Depan Kita

AI sangat penting dalam pembangunan berkelanjutan dan kesehatan manusia, memengaruhi ke-17 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) melalui analisis data, koneksi pembelajaran, dan prediksi. AI dapat mengidentifikasi kemiskinan, mendukung aksi internasional, meningkatkan produktivitas, mengotomatiskan pengambilan keputusan, dan melindungi keanekaragaman hayati. Aplikasi AI dalam genomika klinis meningkatkan kinerja, mengurangi kesalahan, dan meningkatkan akurasi. Jennifer Doudna, peraih Nobel Kimia 2020, telah merevolusi rekayasa genetika dengan menulis ulang asam deoksiribonukleat (DNA) pada semua organisme hidup menggunakan algoritma AI, yang memungkinkan modifikasi genetik pada sel, hewan, dan manusia.

17.8 TANTANGAN ETIKA DALAM AMBIENT ASSISTED LIVING CERDAS

Isu Etika dalam Teknologi Ambient Assistive Living (AAL)

Artikel ini menganjurkan pendekatan yang berorientasi pada individu dalam desain layanan kesehatan, dengan fokus pada penciptaan perangkat AAL yang dipersonalisasi untuk kehidupan lansia yang mandiri. Teknologi AAL membantu individu dalam aktivitas sehari-hari, mengurangi beban pengasuh, dan meningkatkan kualitas hidup. Namun, menangani implikasi psikologis dan praktis tetap menjadi tantangan. Teori Rentang Hidup Baltes menyarankan adaptasi terhadap kondisi baru dan penggunaan strategi pemulihan. Pengenalan AAL dalam ruang kehidupan lansia dapat memungkinkan penuaan otonom, dengan menggunakan alat kompensasi dan optimalisasi untuk penurunan memori deklaratif.

Isu Etika Terkait AAL pada Lansia

Bagian ini membahas isu-isu etika seputar penggunaan teknologi AAL canggih dalam pengaturan lansia. Bagian ini menekankan pentingnya prinsip-prinsip etika seperti otonomi, kebaikan, non-maleficence, kesetiaan, dan keadilan dalam pengembangan teknologi AAL. Namun, hal ini juga menyoroti perlunya mempertimbangkan martabat manusia dan persepsi robot perawatan di lingkungan perawatan lansia. Artikel ini juga menyoroti perlunya evaluasi aplikasi AAL berbasis Realitas Tertambah (Augmented Reality/AAL), dengan

mempertimbangkan disabilitas individu dan melibatkan pengasuh untuk intervensi yang efektif. Perangkat di masa mendatang harus memantau sinyal sosial untuk bantuan yang disesuaikan.

Kesimpulan dan Arah Masa Depan

AAL dapat meningkatkan kualitas hidup individu dengan otonomi terbatas dan pengasuh, tetapi menimbulkan kekhawatiran psikologis dan etika. Untuk memastikan keberhasilan, perangkat AAL harus berpusat pada individu, mematuhi prinsip-prinsip etika, dan mengurangi risiko bias. Penelitian tentang faktor psikologis yang memengaruhi hubungan pengguna-perangkat menekankan aspek etika, dan pendekatan multidisiplin untuk membantu lansia yang tinggal mandiri di rumah mendorong pendekatan yang berpusat pada individu, menggabungkan konsep etika dan pelatih virtual serta robot yang dipersonalisasi.

Isu Etika Teknologi Intelligent Assistive Living (IAL)

Penggunaan AI, robotika, dan komputasi yang dapat dikenakan dalam perawatan demensia merevolusi bidang ini, tetapi masih terdapat isu-isu etika, seperti otonomi pasien, persetujuan berdasarkan informasi, kualitas data, dan keadilan distributif. Studi ini bertujuan untuk mengatasi isu-isu ini dengan melibatkan tenaga kesehatan profesional dan peneliti, serta mengatasi kurangnya penelitian empiris tentang isu-isu etika dalam perawatan demensia.

Analisis Tematik

Studi ini mengkaji implikasi etika IAT bagi pasien demensia, dengan fokus pada pengambilan keputusan, pengelolaan data, keterjangkauan, dan kontak manusia. Studi ini menekankan perlunya persetujuan berdasarkan informasi, hak kepemilikan data, dan pengurangan biaya untuk mengatasi hambatan dan mendorong adopsi IAT. Studi ini juga menyoroti penggunaan IAT yang kompleks dalam perawatan demensia, menekankan perlunya solusi baru dan kendali pengguna akhir.

17.9 AAL BERBANTUAN AI UNTUK PELAYANAN KESEHATAN

Studi ini mengeksplorasi aplikasi AI dalam perawatan keperawatan, dengan fokus pada rumah sakit dan kehidupan mandiri. Meskipun penelitian telah dilakukan secara ekstensif, aplikasi AI dalam praktik keperawatan masih terbatas. AI dapat meningkatkan perawatan dengan menyediakan dukungan pengambilan keputusan, tugas jarak jauh, dan bantuan, tetapi penerapan praktisnya terbatas, terutama bagi mereka yang memiliki kemampuan kognitif terbatas.

- Tujuan Aplikasi AI: Studi ini mengungkapkan bahwa AI terutama digunakan dalam perawatan keperawatan, dengan 47,6% studi berfokus pada proses perawatan langsung, organisasi layanan perawatan, estimasi risiko, dan kesehatan pengasuh. AI juga mendukung deteksi jatuh, pencegahan, dan pengurangan alarm. Namun, tantangan seperti kepatuhan GDPR Eropa, preferensi pengguna, dan implementasi dalam pengaturan tertentu tetap ada. Penyedia layanan harus memastikan akurasi input data, menjaga kualitas, melibatkan pengasuh, dan mengatasi masalah privasi, keamanan, dan gangguan kognitif.

- Aspek Etika, Hukum, dan Sosial: Enam publikasi mengkaji konsekuensi hukum, etika, dan sosial AI dalam perawatan keperawatan, seperti persetujuan, perlindungan data, dan masalah ketenagakerjaan. Tujuh tinjauan berfokus pada lokasi dunia nyata dan desain humanoid. Sistem AI diterapkan di rumah sakit dan fasilitas hidup mandiri, meskipun dampaknya terhadap hasil klinis minimal. Studi tambahan diperlukan untuk membahas konsekuensi yang sensitif terhadap AI, masalah etika, dan skenario dunia nyata.

Perjuangan atau Dilema Etika Robotika Asisten Sosial (SAR)

Dilema Etika yang Diketahui

Artikel tinjauan ini mengeksplorasi isu-isu etika dalam robotika asisten sosial, dengan fokus pada kesejahteraan, perawatan, dan keadilan. Artikel ini menyarankan penelitian di masa mendatang untuk meningkatkan lanskap etika dalam layanan kesehatan, rehabilitasi, dan pendidikan khusus, terutama dalam perawatan lansia. Artikel ini juga membahas isu-isu etika dalam SAR.

Perenungan terhadap Formulasi Argumen Etis yang Hiperkritis

Studi literatur ini mengkritisi langkah etis menuju SAR, menyoroti fokus yang berpusat pada individu, asumsi teleologis, dan keterbatasan pengetahuan tentang gagasan-gagasan inti etika. Studi ini menekankan perlunya pemahaman yang lebih bernuansa tentang kesejahteraan, praktik perawatan, dan keadilan makro-sosiopolitik. Tinjauan ini menyarankan untuk membahas privasi, keintiman, dan kemungkinan individu untuk meningkatkan etika SAR, sekaligus membahas otonomi, kebebasan, identitas, dan perbedaan.

Keharusan Etis untuk Kualitas Hidup dalam Perawatan Robot Berbantuan

Sebuah survei terhadap staf keperawatan Irlandia mengungkapkan otonomi pasien sebagai perhatian etis utama dalam penggunaan robot dalam perawatan. Para peneliti sedang mengembangkan "moralitas buatan" untuk mengatur perilaku robot, yang membutuhkan pertimbangan ulang terhadap batasan-batasan moral komunitas.

Robot dalam Dunia Perawatan

Penelitian karya Mark Coeckelbergh menunjukkan bahwa robot mungkin tidak memiliki agensi moral karena kurangnya kesadaran dan kondisi mental, yang menyebabkan masalah emosional dan sosial. Laporan Amanda dan Noel Sharkey, *Granny and the Robots*, membahas enam masalah etika terkait robot asisten dalam perawatan lansia, dengan menekankan perlindungan hak asasi manusia. Sparrow dan Sparrow berpendapat bahwa penggunaan robot yang etis dalam perawatan lansia kecil kemungkinannya karena tekanan ekonomi dan potensi berkurangnya kontak manusia.

Temuan Tematik

Studi ini menyelidiki penggunaan robot dalam perawatan lansia, dengan penekanan pada pengenalan dan prospek penggunaannya. Para partisipan mengungkapkan kecemasan tentang hilangnya kontak manusia, serta implikasi etis dari robot yang mengambil alih tanpa persetujuan atau pemahaman. Mereka juga berpendapat bahwa robot seharusnya digunakan sebagai alat pelengkap, alih-alih pengganti pekerjaan manusia. Menurut laporan tersebut, robot seharusnya digunakan sebagai jaring pengaman atau pendamping, bukan untuk

menggantikan aktivitas manusia. Temuan ini menekankan perlunya otonomi pasien dan standar perawatan etis saat menggunakan robot untuk merawat lansia.

Rata-Rata Etis AI Terwujud dalam Psikiatri

Aplikasi AI Terwujud yang Ada

Sebuah studi menyelidiki konsekuensi etis dan sosial dari integrasi AI dalam perawatan kesehatan mental, dengan penekanan pada psikiatri, psikologi, dan psikoterapi. Studi ini menekankan kesenjangan antara pengembangan AI dan keberhasilan adopsi, serta perlunya penelitian tambahan tentang terapi virtual dan robotik berbasis AI.

Implikasi dan Kekhawatiran Etis dan Sosial

Chatbot terapeutik, avatar, dan robot seks diproyeksikan akan digunakan dalam pengaturan terapeutik, mendeteksi gangguan kesehatan mental sejak dini dan mengurangi stigma. Namun, masalah etika meliputi penilaian risiko, pemantauan regulasi, dan etika data, yang membutuhkan norma untuk layanan kesehatan mental dan interaksi praktisi medis.

Tantangan Khusus dalam Aplikasi

Penggunaan AI dalam praktik kesehatan mental menimbulkan kekhawatiran etika, termasuk tanggung jawab penyedia layanan untuk memberikan informasi dan efektivitas intervensi AI dalam menghubungkan individu yang berisiko. Efektivitas terapeutik AI masih belum pasti, dengan manfaat yang sulit diprediksi dan spesifik untuk hubungan individu. Evaluasi kondisi emosional secara real-time merupakan tantangan, dan kurangnya terapis manusia memengaruhi kepatuhan pengguna. Intervensi kesehatan mental AI mungkin mengandung bias dan memperkuat ketidaksetaraan sosial, sehingga membutuhkan transparansi.

Etika dan Kredibilitas Teknologi Rumah Pintar pada Lansia

Meningkatnya permintaan layanan kesehatan bagi lansia telah memperlambat penerimaan teknologi bantu di rumah pintar, sehingga menimbulkan masalah etika, kontrol pengguna, dan kebijakan kepemilikan data. Usia, jenis kelamin, status kesehatan, dan karakteristik psikologis semuanya berkontribusi pada kesulitan adopsi. Model Adopsi Teknologi (TAM) adalah model penelitian yang mempelajari adopsi dan penerimaan teknologi, dengan fokus pada utilitas yang dirasakan, kemudahan penggunaan, biaya, motivasi, dan kebiasaan. Ini digunakan untuk mempelajari adopsi layanan kesehatan digital di kalangan lansia dan niat penggunaan rumah pintar, meskipun terdapat kekhawatiran etika dan penelitian tahap awal yang melampaui produk komersial. Pengembangan teknologi bantu memerlukan pertimbangan cermat terhadap privasi, manfaat, otonomi, biaya, stigma, dan kesadaran. Solusi hibrida harus terintegrasi dengan mulus dan memprioritaskan kebutuhan pengguna, mengatasi masalah privasi, masalah keandalan pengasuh, dan interaksi sosial.

Sistem Perawatan Robot Penginderaan Etis untuk Lansia

Sebuah studi bertujuan untuk mengembangkan Dori, sebuah robot yang dipandu lansia, terbuat dari sensor dan pembelajaran mesin (ML) untuk digunakan dalam perawatan di rumah. Dori mengenali pose manusia, memberikan dukungan kognitif, emosional, fisik, pengobatan, dan pengasuh, serta menjaga martabat manusia dan informasi pribadi. Robot ini dapat dikontrol menggunakan Pose MediaPipe milik Google. Artikel ini mengkaji dampak

robotika terhadap rasa otonomi lansia dalam AI, yang menyoroti perlunya diskusi multiprofesional tentang penerimaan robot dalam pengaturan perawatan. Studi ini mengkaji dampak robotika terhadap rasa otonomi lansia di fasilitas perawatan lansia (AL), dengan fokus pada pengaruh orang lain, kemampuan fungsional, dan strategi koping. Robot dapat meningkatkan rasa otonomi penghuni di fasilitas perawatan lansia dengan mengurangi ketergantungan pada staf, memberdayakan penghuni melalui telepresensi, dan mendorong otonomi berbasis interaksi. Namun, robot juga dapat menimbulkan risiko kesehatan dan membatasi otonomi akibat gangguan kognitif yang parah. Menyeimbangkan otonomi dan martabat sangat penting untuk kehidupan yang bermartabat di panti jompo. Permasalahan etika meliputi hilangnya privasi, dan tindakan pencegahan seperti rehabilitasi dan latihan fisik dapat meningkatkan otonomi.

Sistem Pendukung Keputusan Klinis Berbasis AI (AI-CDSS) pada Lansia

Studi ini mengeksplorasi implikasi etis AI-CDSS pada geriatri, menyoroti potensi manfaatnya bagi gangguan kognitif. Namun, studi ini membutuhkan penelitian lebih lanjut untuk memastikan prinsip-prinsip etika. Penalaran etis terorganisir pertama tentang implementasi AI-CDSS dalam perawatan geriatri disajikan, menyoroti kurangnya analisis sistematis karena tingkat implementasi yang rendah dan terbatasnya keterlibatan pengguna kritis. Artikel ini menyarankan manfaat, terutama untuk gangguan kognitif, tetapi membutuhkan penelitian lebih lanjut untuk mengidentifikasi potensi masalah.

Navigasi Etis AI dalam Big Data Layanan Kesehatan

AI merevolusi pelayanan kesehatan dengan meningkatkan diagnostik, pemantauan pasien, dan sistem pembelajaran. Namun, tantangan etika muncul dalam AI-CDSS. Model Etika untuk Big Data dalam Pelayanan Kesehatan dan eksperimen digunakan untuk menganalisis sistem ini secara etis, menangani isu-isu seperti akuntabilitas, transparansi, bias, kepentingan publik, dan konflik peran profesional. Tantangannya meliputi kumpulan data pelatihan yang besar, potensi kerugian kelompok, dan kebutuhan untuk menyeimbangkan kerugian individu dan kelompok dengan kepentingan publik. Kerangka kerja ini menawarkan nilai-nilai yang relevan untuk AI-CDSS dalam pengaturan layanan kesehatan. Kepala Unit Perawatan Intensif (ICU) sedang bereksperimen dengan aplikasi bertenaga AI untuk memprediksi kelangsungan hidup dan pemulihan ICU, yang bertujuan untuk mencegah perawatan yang tidak perlu dan menjaga kepercayaan pada tenaga kesehatan profesional. Akurasi algoritma AI dalam sistem pendukung keputusan klinis meningkatkan hubungan pasien-dokter, mengurangi perawatan yang tidak perlu, dan meningkatkan efisiensi ICU. Namun, kekhawatiran tentang integritas profesional dan manfaat publik menimbulkan kekhawatiran tentang transparansi dan akuntabilitas.

17.10 ETIKA DAN LAYANAN KESEHATAN 5.0

Fasilitas untuk teknologi AI berbasis AI harus berpusat pada individu, menekankan perspektif, keputusan, dan perilaku unik setiap individu. Hambatan bahasa dan budaya akan dihilangkan, disabilitas akan berkurang, dan layanan sosial akan lebih mudah diperoleh. Selain mempertimbangkan komponen visual untuk kesejahteraan, gawai harus dibuat agar mudah

dipahami, ramah, dan familiar. Agar lansia dapat mengadopsi AAL, transisi dari teknologi produksi massal ke teknologi yang dirancang khusus sangatlah penting.

Menurut standar Komisi Eropa, penggunaan teknologi AL berbasis AI di lingkungan privat harus menghormati konsep-konsep etika, termasuk otonomi, kebaikan, dan kesetiaan. Untuk pengembangan, manufaktur, penyimpanan, dan distribusi alat kesehatan, pertimbangan hukum seperti persyaratan asuransi, peraturan ketenagakerjaan, dan undang-undang privasi data harus dinilai sesuai dengan norma-norma Organisasi Internasional untuk Standardisasi.

Bias dalam teknologi AL yang berkaitan dengan etika dapat membahayakan representasi intervensi. Pada beberapa fase proses desain dan implementasi, termasuk pengumpulan, pemrosesan, analisis, dan penilaian data, bias ini dapat muncul. Validitas eksternal temuan dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti bias normatif dan bias populasi. Penggunaan perangkat AL yang etis bergantung pada penanganan prasangka ini. Menghilangkan bias dan memajukan profesi membutuhkan pengembangan standar dan praktik terbaik metodologis.

Penting untuk melakukan penelitian tentang faktor-faktor psikologis yang memediasi hubungan pengguna-perangkat, dengan penekanan pada pertimbangan etis. Variabel-variabel seperti usia, jenis kelamin, harga diri, gaya keterikatan, dan kualitas ketergantungan perlu dipertimbangkan. Disarankan untuk menggunakan strategi multidisiplin yang melibatkan profesional dari sektor lain guna memahami implikasi etis dari penerapan AI. Metode ini menurunkan kemungkinan ketergantungan sekaligus menekankan manfaat mendapatkan bantuan, seperti rasa memiliki dan rasa syukur. Untuk meningkatkan hubungan antara teori dan praktik, pedoman etika harus diintegrasikan ke dalam proses standarisasi penerapan AI.

I5.0 dalam Layanan Kesehatan

Industri 5.0 (I5.0), sebuah evolusi dari Industri 4.0, menggabungkan kemampuan manusia dengan inovasi teknologi untuk merevolusi layanan kesehatan. Industri ini mendorong kolaborasi antara dokter, pasien, dan mesin, meningkatkan aksesibilitas dan layanan kesehatan yang dipersonalisasi. IoT Masa Depan selaras dengan SDG11, sementara Generasi Z bertujuan untuk menjembatani kesenjangan antara praktik konvensional dan integrasi teknologi I5.0.

Industri 1.0 ke Industri 5.0: Sistem manufaktur bertransisi dari masyarakat agraris menjadi pusat kekuatan industri, dengan Industri 4.0 memperkenalkan otomatisasi, IoT, dan pengambilan keputusan yang terdesentralisasi. Industri 5.0 memprioritaskan produksi yang berpusat pada manusia, tujuan sosial, dan kesejahteraan pekerja, dengan potensi untuk mengatasi masalah kesetaraan layanan kesehatan. Industri 5.0 adalah ide baru yang berfokus pada nilai dan kesejahteraan sosial, menggeser penekanan dari efisiensi menuju nilai sosial. Industri 5.0 didirikan atas tiga pilar: berpusat pada manusia, keberlanjutan, dan ketahanan. Teknologi meningkatkan layanan sosial, keberlanjutan memiliki dampak yang menguntungkan, dan ketahanan berfokus pada ketahanan rantai pasokan dan peningkatan output.

Layanan Kesehatan 1.0 ke Layanan Kesehatan 5.0: Layanan Kesehatan 1.0 berfokus pada layanan berkualitas, sementara Layanan Kesehatan 2.0 menggabungkan rekayasa digital

untuk meningkatkan layanan pasien. Layanan Kesehatan 3.0 dan 4.0 memperkenalkan EHR, AI, IoT, dan komputasi awan, sementara Layanan Kesehatan 4.0 memprioritaskan layanan yang berpusat pada pasien. Healthcare 5.0 menggabungkan teknologi dan sentuhan manusia untuk kesejahteraan holistik, mengatasi kesenjangan akses.

Konsep, Prinsip, dan Terminologi yang Diterapkan pada Kesehatan

Industri 4.0 ke 5.0 dalam kesehatan merupakan transformasi dari solusi berbasis teknologi menjadi paradigma berbasis nilai, yang memprioritaskan kesejahteraan manusia dan tujuan sosial melalui digitalisasi, tanggung jawab etis, dan peningkatan perawatan pasien. Transformasi ini mengintegrasikan perawatan jarak jauh, pengobatan personal, deteksi dini, perawatan preventif, layanan berkelanjutan, quising manusia-mesin, dan Revolusi Tekno-Sosial.

Tren Teknologi dan Penerapannya dalam Kesehatan

Sebuah studi mengungkapkan bahwa 9 dari 11 responden meyakini teknologi yang sedang berkembang meningkatkan efisiensi dan memperluas akses layanan kesehatan, tetapi hanya satu yang menyebutkan perlunya sistem pembayar tunggal untuk mengatasi kesenjangan layanan kesehatan. AI dalam perawatan kesehatan menawarkan efisiensi, ketepatan, dan rencana perawatan yang dipersonalisasi, tetapi memerlukan implementasi yang berpusat pada pasien, kolaborasi multidisiplin, pelatihan yang memadai, infrastruktur yang kuat, dan umpan balik yang berkelanjutan.

Kontes dan Kendala dalam Penegakan I5.0

Para profesional layanan kesehatan menghadapi hambatan signifikan dalam mengintegrasikan teknologi I5.0, termasuk resistensi terhadap perubahan, masalah privasi dan keamanan, kendala finansial, dan cepatnya keusangan teknologi. Hal ini juga menyoroti perlunya peningkatan literasi digital, program pelatihan yang terarah, dan kebutuhan investasi infrastruktur teknologi yang substansial dan berbiaya tinggi. Meskipun terdapat kekhawatiran mengenai kurangnya kemampuan yang umum dalam layanan kesehatan, standar yang telah ditetapkan seperti Health Level 7, Clinical Document Architecture, dan Fast Healthcare Interoperable Resource (FHIR) telah tersedia. Sektor layanan kesehatan menghadapi tantangan dalam mengimplementasikan teknologi I5.0 karena biaya finansial, kurangnya literasi digital, pelatihan yang tidak memadai, privasi, keamanan, interoperabilitas, masalah etika, masalah politik dan keberlanjutan, hilangnya kontak dengan pasien, cepatnya keusangan teknologi, dan rendahnya penelitian dan pengembangan khusus kesehatan.

Prediksi Perubahan Tenaga Kerja dalam Lanskap Industri yang Berkembang

Studi ini mengeksplorasi bagaimana prinsip-prinsip I5.0 mentransformasi tenaga kesehatan menjadi partisipan aktif dalam manajemen kesehatan pasien, dengan fokus pada informasi yang dipersonalisasi dan teknologi pemantauan, yang membutuhkan dukungan profesional untuk interpretasi yang akurat. I5.0 yang merevolusi layanan kesehatan mengharuskan tenaga kesehatan untuk beradaptasi dan mengembangkan keterampilan baru seperti literasi digital, keamanan siber, manajemen data, dan AI. Implementasi yang sukses membutuhkan kerja sama antara tenaga kesehatan, pemangku kepentingan bisnis, dan pembuat kebijakan. Strategi manajemen meliputi integrasi teknologi canggih, penyelarasan

dengan tujuan kebijakan kesehatan, dan memprioritaskan kebijakan strategis pemerintah, pelatihan, pengembangan profesional, insentif keuangan, dan perluasan infrastruktur 5G. Akses yang adil dan universalitas sangat penting bagi transformasi digital layanan kesehatan, dengan program KATI Finlandia ("Penuaan Cerdas dan Perawatan di Rumah" - KATI untuk Akronim Finlandia) yang mengatasi tantangan seperti kurangnya pemahaman profesional dan keterbatasan infrastruktur.

17.11 KESIMPULAN

Healthcare 5.0 bertujuan untuk meningkatkan pemberian layanan dan perawatan virtual melalui sistem kesehatan sensor cerdas dan Teknologi AAL. Namun, tantangan seperti hambatan organisasi, kurangnya kerangka hukum, dan masalah etika masih ada. Untuk mengatasinya, pembuat undang-undang, praktisi, dan regulator harus mengembangkan sistem yang tangguh, mengadopsi model ADC, dan memperbarui peraturan yang ada secara holistik. Simulasi berbantuan AI dapat meningkatkan pemikiran etis tetapi membutuhkan pemrograman dan audit yang ekstensif. Menyeimbangkan perawatan pasien, manfaat sosial, dan kepercayaan pada institusi layanan kesehatan sangat penting karena AI dan robot berkembang pesat. Perangkat yang dikenal sebagai *assistive living* (AL) dimaksudkan untuk mengurangi beban pengasuh dan meningkatkan kualitas hidup lansia. Namun, penerapan teknologi ini untuk populasi lansia menimbulkan pertanyaan etika. Tujuan artikel ini adalah untuk meningkatkan pemahaman praktisi layanan kesehatan dan mempromosikan pendekatan yang berpusat pada individu dalam desain fasilitas layanan kesehatan yang menghormati etika dan karakteristik individu. Paradigma penelitian baru untuk perangkat AL yang disesuaikan untuk kehidupan lansia yang mandiri akan dikembangkan dari sudut pandang ini.

Bab ini mengeksplorasi lanskap I5.0 dalam layanan kesehatan, menyoroti kemajuan teknologi, tantangan, dan pengaruh revolusionernya. Bab ini menyarankan restrukturisasi tenaga kerja dan teknik integrasi yang efektif. Literasi digital Generasi Z dan kebijakan pemerintah dapat membantu mengadopsi perilaku baru, tetapi praktik di lingkungan sosial dan kesadaran pemerintah tetap diperlukan. Laporan ini merekomendasikan penerapan I5.0 ke dalam sistem layanan kesehatan, dengan fokus pada teknik manajemen dan langkah-langkah pemerintah. Penelitian selanjutnya sebaiknya mencakup wawancara, membahas inklusivitas, dan mempertimbangkan determinan sosial kesehatan dan SDGs.

DAFTAR PUSTAKA

- Adebayo, T. S. (2024). Exploring the heterogeneous impact of technological innovation on income inequality: Formulating the SDG policies for the BRICS-T economies. *Energy & Environment*, 35(4), 1773-1792.
- Ali, O., Osmanaj, V., Kwiatek, P., Chimhundu, R., Alryalat, M., & Dwivedi, Y. K. (2023). The impact of technological innovation on marketing: individuals, organizations and environment: a systematic review. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, 36(3).
- Awawdeh, A. E., Ananzeh, M., El-khateeb, A. I., & Aljumah, A. (2022). Role of green financing and corporate social responsibility (CSR) in technological innovation and corporate environmental performance: a COVID-19 perspective. *China Finance Review International*, 12(2), 297-316.
- Cai, X., Zhu, B., Zhang, H., Li, L., & Xie, M. (2020). Can direct environmental regulation promote green technology innovation in heavily polluting industries? Evidence from Chinese listed companies. *Science of the total environment*, 746, 140810.
- Chandio, A. A., Jiang, Y., Akram, W., Adeel, S., Irfan, M., & Jan, I. (2021). Addressing the effect of climate change in the framework of financial and technological development on cereal production in Pakistan. *Journal of Cleaner Production*, 288, 125637.
- Chege, S. M., & Wang, D. (2020). The influence of technology innovation on SME performance through environmental sustainability practices in Kenya. *Technology in Society*, 60, 101210.
- Chen, J., Gao, M., Ma, K., & Song, M. (2020). Different effects of technological progress on China's carbon emissions based on sustainable development. *Business Strategy and the Environment*, 29(2), 481-492.
- Cheng, C., Ren, X., Dong, K., Dong, X., & Wang, Z. (2021). How does technological innovation mitigate CO2 emissions in OECD countries? Heterogeneous analysis using panel quantile regression. *Journal of environmental management*, 280, 111818.
- Chu, L. K. (2024). The role of technological innovation and population aging in environmental degradation in the Organization for Economic Co-operation and Development countries. *Environment, Development and Sustainability*, 26(1), 735-773.
- Dařena, F., & Gotter, F. (2021). Technological development and its effect on IT operations cost and environmental impact. *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(3), 190-201.

- Donbesuur, F., Ampong, G. O. A., Owusu-Yirenkyi, D., & Chu, I. (2020). Technological innovation, organizational innovation and international performance of SMEs: The moderating role of domestic institutional environment. *Technological Forecasting and Social Change*, 161, 120252.
- Ezeigweneme, C. A., Daraojimba, C., Tula, O. A., Adegbite, A. O., & Gidiagba, J. O. (2024). A review of technological innovations and environmental impact mitigation. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(1), 075-082.
- Feng, S., Zhang, R., & Li, G. (2022). Environmental decentralization, digital finance and green technology innovation. *Structural Change and Economic Dynamics*, 61, 70-83.
- González Del Campo, A., & Gazzola, P. (2020). Untapping the potential of technological advancements in Strategic Environmental Assessment. *Journal of Environmental Planning and Management*, 63(4), 585-603.
- Han, S., Eweade, B. S., Uzun, B., & Olanrewaju, V. O. (2025). Do technological advancements, globalization, and corruption impact environmental sustainability in Costa Rica? A wavelet quantile-based analysis. *Environment, Development and Sustainability*, 1-30.
- Ibrahim, R. L., Awosusi, A. A., Ajide, K. B., & Ozdeser, H. (2025). Exploring the renewable energy-environmental sustainability pathways: what do the interplay of technological innovation, structural change, and urbanization portends for BRICS?. *Environment, Development and Sustainability*, 27(1), 191-211.
- Jayachandran, S. (2022). How economic development influences the environment. *Annual Review of Economics*, 14(1), 229-252.
- Jiadio, E., Kibria, M. G., Aspy, N. N., Ullah, E., & Hossain, M. E. (2023). The impact of agricultural employment and technological innovation on the environment: Evidence from BRICS nations considering a novel environmental sustainability indicator. *Sustainability*, 15(20), 15083.
- Kulzhanova, Z. T., Kulzhanova, G. T., Mukhanbetkaliyev, Y. Y., Kakimzhanova, M. K., & Abdildina, K. S. (2020). Impact of technology on modern society-a philosophical analysis of the formation of technogenic environment. *Media Watch*, 11(3), 537-549.
- Lewandrowski, K. U., Elfar, J. C., Li, Z. M., Burkhardt, B. W., Lorio, M. P., Winkler, P. A., ... & Novellino, P. (2023). The changing environment in postgraduate education in orthopedic surgery and neurosurgery and its impact on technology-driven targeted interventional and surgical pain management: perspectives from Europe, Latin America, Asia, and the United States. *Journal of Personalized Medicine*, 13(5), 852.

- Lin, B., & Ma, R. (2022). Green technology innovations, urban innovation environment and CO2 emission reduction in China: Fresh evidence from a partially linear functional-coefficient panel model. *Technological forecasting and social change*, 176, 121434.
- Litvinenko, V. S. (2020). Digital economy as a factor in the technological development of the mineral sector. *Natural Resources Research*, 29(3), 1521-1541.
- Lu, W. C., & Wang, K. H. (2024). Effects of economic globalization, environment-related technology innovation, and industrial structure change on the ecological footprint of top 10 Asian technological innovation countries. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 14(4), 789-802.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., ... & Zhou, B. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. *Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, 2(1), 2391.
- Milindi, C. B., & Inglesi-Lotz, R. (2023). Impact of technological progress on carbon emissions in different country income groups. *Energy & Environment*, 34(5), 1348-1382.
- Olabi, A. G., & Abdelkareem, M. A. (2022). Renewable energy and climate change. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112111.
- Oláh, J., Aburumman, N., Popp, J., Khan, M. A., Haddad, H., & Kitukutha, N. (2020). Impact of Industry 4.0 on environmental sustainability. *Sustainability*, 12(11), 4674.
- Othman, N., Hewage, R. S., Pyeman, J., & Murdipi, R. (2022). Impact of technological advancements on environmental degradation: Evidence from ASEAN. *Environment-Behaviour Proceedings Journal*, 7(21), 401-407.
- Ouyang, X., Li, Q., & Du, K. (2020). How does environmental regulation promote technological innovations in the industrial sector? Evidence from Chinese provincial panel data. *Energy Policy*, 139, 111310.
- Raihan, A. S. I. F., Sarker, T. A. P. A. N., & Zimon, G. R. Z. E. G. O. R. Z. (2024). An investigation on the prospects, challenges and policy consequences of renewable energy technology development for India's environmental sustainability. *WSEAS Transactions on Environment and Development*.
- Sahoo, S., Kumar, A., & Upadhyay, A. (2023). How do green knowledge management and green technology innovation impact corporate environmental performance? Understanding the role of green knowledge acquisition. *Business Strategy and the Environment*, 32(1), 551-569.

- Shao, X., Zhong, Y., Liu, W., & Li, R. Y. M. (2021). Modeling the effect of green technology innovation and renewable energy on carbon neutrality in N-11 countries? Evidence from advance panel estimations. *Journal of Environmental Management*, 296, 113189.
- Sharif, A., Mehmood, U., & Tiwari, S. (2024). A step towards sustainable development: role of green energy and environmental innovation. *Environment, development and sustainability*, 26(4), 9603-9624.
- Sinha, A., Sengupta, T., & Alvarado, R. (2020). Interplay between technological innovation and environmental quality: formulating the SDG policies for next 11 economies. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118549.
- Ulucak, R. (2021). Renewable energy, technological innovation and the environment: A novel dynamic auto-regressive distributive lag simulation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111433.
- Usman, M., & Hammar, N. (2021). Dynamic relationship between technological innovations, financial development, renewable energy, and ecological footprint: fresh insights based on the STIRPAT model for Asia Pacific Economic Cooperation countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(12), 15519-15536.
- Wu, Y., & Tham, J. (2023). The impact of environmental regulation, Environment, Social and Government Performance, and technological innovation on enterprise resilience under a green recovery. *Heliyon*, 9(10).
- Xiao, Z., Peng, H., & Pan, Z. (2022). Innovation, external technological environment and the total factor productivity of enterprises. *Accounting & Finance*, 62(1), 3-29.
- You, J., Zhang, W., Lin, W., Chen, J., Huang, Y., & Jiang, L. (2025). The impact of technological progress and industrial structure optimization on manufacturing carbon emissions: a new perspective based on interaction. *Environment, Development and Sustainability*, 27(7), 16205-16236.
- Yunxia, X., & Yuqing, N. (2025). The technological advancement environmental regulations and their impact on energy efficiency and CO2 emissions. *Scientific Reports*, 15(1), 2781.
- Zhao, J., Xi, X. I., Na, Q. I., Wang, S., Kadry, S. N., & Kumar, P. M. (2021). The technological innovation of hybrid and plug-in electric vehicles for environment carbon pollution control. *Environmental Impact Assessment Review*, 86, 106506.

DAMPAK KEMAJUAN TEKNOLOGI pada LINGKUNGAN HIDUP

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM

BIO DATA PENULIS



Penulis memiliki berbagai disiplin ilmu yang diperoleh dari Universitas Diponegoro (UNDIP) Semarang. dan dari Universitas Kristen Satya Wacana (UKSW) Salatiga. Disiplin ilmu itu antara lain teknik elektro, komputer, manajemen dan ilmu sosiologi. Penulis memiliki pengalaman kerja pada industri elektronik dan sertifikasi keahlian dalam bidang Jaringan Internet, Telekomunikasi, Artificial Intelligence, Internet Of Things (IoT), Augmented Reality (AR), Technopreneurship, Internet Marketing dan bidang pengolahan dan analisa data (komputer statistik).

Penulis adalah pendiri dari Universitas Sains dan Teknologi Komputer (Universitas STEKOM) dan juga seorang dosen yang memiliki Jabatan Fungsional Akademik Lektor Kepala (Associate Professor) yang telah menghasilkan puluhan Buku Ajar ber ISBN, HAKI dari beberapa karya cipta dan Hak Paten pada produk IPTEK. Sejak tahun 2023 penulis tercatat sebagai Dosen luar biasa di Fakultas Ekonomi & Bisnis (FEB) Universitas Diponegoro Semarang. Penulis juga terlibat dalam berbagai organisasi profesi dan industri yang terkait dengan dunia usaha dan industri, khususnya dalam pengembangan sumber daya manusia yang unggul untuk memenuhi kebutuhan dunia kerja secara nyata.



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

PENERBIT :

YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK
Jl. Majapahit No. 605 Semarang
Telp. (024) 6723456. Fax. 024-6710144
Email : penerbit_ypat@stekom.ac.id

ISBN 978-634-7227-76-8 (PDF)



9

786347

227768