

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

TEKNOLOGI 5G DAN SELANJUTNYA



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK



TEKNOLOGI 5G DAN SELANJUTNYA

Dr. 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 978-623-8642-32-8 (PDF)



9 786238 642328

TEKNOLOGI 5G DAN SELANJUTNYA

Penulis :

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

ISBN : 978-623-8642-32-8

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 Yuniato, 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

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan berkat dan rahmatnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan buku yang berjudul *“Teknologi 5G Dan Selanjutnya”*, dengan baik dan maksimal. Dalam era transformasi digital yang pesat, teknologi komunikasi telah mengalami evolusi yang sangat signifikan. 5G, sebagai generasi kelima dari teknologi seluler, menawarkan potensi yang luas dan inovatif, tidak hanya dalam meningkatkan kecepatan dan kapasitas jaringan tetapi juga dalam membuka pintu untuk berbagai aplikasi baru yang dapat merevolusi banyak sektor.

Sejak diperkenalkan, 5G telah menjadi pendorong utama dalam pengembangan berbagai teknologi dan aplikasi canggih. Teknologi ini mendukung Internet of Things (IoT), sistem sensor nirkabel, dan berbagai solusi smart city yang membutuhkan kecepatan tinggi, latensi rendah, dan konektivitas yang andal. Dengan cakupan yang lebih luas dan kemampuan untuk menghubungkan lebih banyak perangkat secara bersamaan, 5G menawarkan fondasi yang kuat untuk inovasi berkelanjutan.

Namun, perjalanan teknologi ini tidak hanya tentang kecepatan dan kapasitas, tetapi juga mencakup tantangan besar seperti efisiensi energi, keamanan, dan keberlanjutan. Bagaimana kita memastikan bahwa infrastruktur 5G dapat mendukung kebutuhan global tanpa mengorbankan sumber daya dan lingkungan? Buku ini berupaya menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut dengan memaparkan berbagai perspektif tentang tren terbaru, peluang, dan tantangan yang dihadapi.

Dalam buku ini akan menemukan bab-bab yang membahas evolusi teknologi komunikasi generasi berikutnya, dari 5G ke arah Beyond 5G (B5G), serta analisis mendalam mengenai arsitektur, protokol, dan algoritma optimasi yang diperlukan untuk memanfaatkan spektrum secara efisien. Selain itu, kami juga membahas isu-isu kritis seperti keamanan jaringan, serangan potensial, dan penanggulangan ancaman dalam konteks 5G dan IoT.

Kami berharap buku ini memberikan wawasan yang mendalam dan bermanfaat bagi para peneliti, praktisi, dan semua yang tertarik dalam memahami dan memanfaatkan potensi luar biasa dari teknologi 5G. Selamat membaca dan semoga informasi yang tersaji dapat memotivasi inovasi serta kontribusi positif untuk perkembangan teknologi komunikasi di masa depan.

Semarang, September 2024

Penulis

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

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----------|
| Halaman Judul | i |
| Kata Pengantar | ii |
| Daftar Isi | iv |
| BAB 1 EVOLUSI TEKNOLOGI KOMUNIKASI GENERASI BERIKUTNYA | 1 |
| 1.1. Pendahuluan | 1 |
| 1.2. Jaringan Seluler Yang Ada Dan Tantangannya | 3 |
| 1.3. Sistem Seluler Konvensional | 6 |
| 1.4. Arsitektur 5G | 8 |
| 1.5. Jaringan Generasi Berikutnya | 10 |
| BAB 2 REVOLUSI INDUSTRI 3.0: 5G DAN IOT | 13 |
| 2.1. Pendahuluan | 13 |
| 2.2. IoT dan perangkatnya | 14 |
| 2.3. Sejarah dan penelitian tentang IoT dan 5G | 17 |
| BAB 3 ARSITEKTUR DAN PROTOKOL JARINGAN 5G | 26 |
| 3.1. Pendahuluan | 26 |
| 3.2. Teknologi Pemungkin | 26 |
| 3.3. Teknologi Multiple-Input Multiple-Output Dalam 5G | 31 |
| 3.4. Manajemen Interferensi Untuk 5G | 33 |
| 3.5. Jaringan Ultra-Padat Dalam Asosiasi Teknologi Akses Multi-Radio | 36 |
| 3.6. Metodologi Desain | 37 |
| BAB 4 ALGORITMA OPTIMASI BACKHAUL NIRKABEL DALAM 5G | 41 |
| 4.1. Pendahuluan | 41 |
| 4.2. Skenario Jaringan dan Asumsi Sistem | 42 |
| 4.3. Analisis Indikator Jitter Penundaan | 44 |
| 4.4. Pembentukan Model Optimasi | 46 |
| BAB 5 KEAMANAN DAN KERENTANAN JARINGAN SELULER | 56 |
| 5.1. Pendahuluan | 56 |
| 5.2. Jenis-jenis Jaringan Seluler Nirkabel | 58 |
| 5.3. Tantangan dan Isu dalam Jaringan Seluler Nirkabel | 60 |
| 5.4. Tujuan Keamanan Jaringan Seluler Nirkabel | 63 |
| 5.5. Serangan Paling Umum dalam Sistem Nirkabel | 64 |
| BAB 6 MANFAAT 5G UNTUK PERTANIAN 4.0: TREN, ISU, DAN TINJAUAN | 73 |
| 6.1. Pendahuluan | 73 |
| 6.2. Tantangan Yang Dihadapi Oleh Teknologi Jaringan Yang Ada | 74 |
| 6.3. Cakupan Jaringan Berbasis 5G Dalam Agriot | 75 |
| 6.4. Area Aplikasi 5G Dalam Pertanian Cerdas | 78 |
| BAB 7 KEAMANAN DAN PENANGGULANGAN SERANGAN IOT PADA 5G | 85 |
| 7.1. Pendahuluan | 85 |

| | |
|--|------------|
| 7.2. IoT Berbasis 5G | 89 |
| 7.3. Arsitektur IoT Berbasis 5G | 90 |
| 7.4. Teknologi dalam IoT yang Mendukung 5G | 92 |
| 7.5. Analisis Ancaman Dalam IOT 5G | 93 |
| 7.6. Penelitian Terkini Untuk 5G dan IOT | 97 |
| BAB 8 EFISIENSI ENERGI DAN SKALABILITAS 5G UNTUK IOT DI JARINGAN SENSOR.. | 100 |
| 8.1. Pendahuluan | 100 |
| 8.2. Efisiensi Energi dalam Jaringan Sensor Nirkabel Seluler | 101 |
| 8.3. Konsep Dasar Teknologi 5G | 102 |
| 8.4. Layanan IoT Berbasis 5G..... | 108 |
| 8.5. Keamanan IoT dalam Sistem 5G..... | 111 |
| BAB 9 LAYANAN KEAMANAN UNTUK SISTEM IOT NIRKABEL 5G..... | 113 |
| 9.1. Pendahuluan | 113 |
| 9.2. Inspirasi Dan Ide Untuk 5G Berbasis lot | 116 |
| 9.3. Struktur lot Dalam Kerjasama Dengan 5G | 117 |
| 9.4. Resolusi Komunikasi lot Saat Ini Dalam 5G | 120 |
| 9.5. Tantangan Dan Kerentanan Keamanan | 125 |
| 9.6. Struktur Jaringan Berbasis Big Data | 128 |
| BAB 10 KEAMANAN JARINGAN SENSOR NIRKABEL IOT DI ERA 5G DAN SETIAPNYA... | 132 |
| 10.1. Pendahuluan | 132 |
| 10.2. Jaringan Nirkabel Berbasis lot | 136 |
| 10.3. Pentingnya 5G..... | 140 |
| BAB 11 INTEGRASI 5G DAN IOT: TREN, PELUANG, DAN RISET MASA DEPAN | 146 |
| 11.1. Pendahuluan | 146 |
| 11.2. Ikhtisar 5G..... | 148 |
| 11.3. Karakteristik Dan Persyaratan Ekosistem 5G | 149 |
| 11.4. Wawasan Tentang lot | 151 |
| 11.5. Persyaratan Untuk Arsitektur lot Terintegrasi 5G..... | 153 |
| 11.6. Peluang lot Terintegrasi 5G..... | 155 |
| 11.7. Masalah Integrasi Blockchain Dengan IOT 5G..... | 160 |
| BAB 12 KRIPTOGRAFI KEAMANAN DALAM JARINGAN SELULER 5G DAN B5G | 165 |
| 12.1. Pendahuluan | 165 |
| 12.2. Jaringan Yang Muncul | 167 |
| 12.3. Taksonomi Sistem Nirkabel 6G/B5G..... | 168 |
| 12.4. Layanan Keamanan Dalam Jaringan Nirkabel 6G/B5G..... | 171 |
| 12.5. Tinjauan Dan Dasar Komputasi Kuantum | 176 |
| 12.6. Kriptografi Pasca-Kuantum | 183 |
| BAB 13 SKALABILITAS EFISIENSI ENERGI DAN JARINGAN SELULER PADA IOT | 190 |
| 13.1. Pendahuluan | 190 |
| 13.2. Narrowband-Internet Of Things (NB-lot) | 192 |
| 13.3. Mode Daya Rendah | 197 |

| | |
|---|------------|
| 13.4. Efisiensi Energi Dan Jaringan Seluler | 199 |
| DAFTAR PUSTAKA | 204 |

BAB 1

EVOLUSI TEKNOLOGI KOMUNIKASI GENERASI BERIKUTNYA

1.1 PENDAHULUAN

Di era teknologi komunikasi nirkabel ini, berbagai perangkat Internet dan zona Wi-Fi memainkan peran penting dalam pertumbuhan pesat penggunaan data. Komunikasi manusia telah direvolusi oleh sistem komunikasi seluler. Peningkatan pesat jumlah pengguna, kecepatan data yang lebih tinggi, dan kebutuhan akan bandwidth yang lebih tinggi dan data yang banyak telah menjadi tantangan bagi penyedia layanan Internet. Semua persyaratan ini diharapkan dapat dipenuhi oleh jaringan komunikasi generasi berikutnya. Evolusi teknologi komunikasi generasi berikutnya bertujuan untuk menekankan pengembangan terminal pengguna yang akan menyediakan akses ke berbagai teknologi dan menggabungkan beberapa aliran dari berbagai teknologi. Dalam buku ini, penulis telah memberikan gambaran rinci tentang berbagai teknologi komunikasi nirkabel dan bagaimana hal itu dapat ditingkatkan di masa mendatang.

Sebuah studi komparatif tentang berbagai generasi teknologi komunikasi telah dilakukan yang mencakup 1G yang telah memenuhi kebutuhan suara seluler dasar, dan 2G yang telah membiasakan kita dengan kapasitas dan jangkauan. Pencarian data berkecepatan tinggi terus berlanjut dengan 3G yang pada gilirannya memberikan pengalaman nyata pada pita lebar seluler dengan 4G dan akhirnya teknologi komunikasi generasi berikutnya—5G. Beragam layanan telekomunikasi seperti layanan seluler canggih, dengan bantuan jaringan seluler dan tetap, dapat diakses dengan bantuan Generasi Keempat (4G). Teknologi pada Generasi Kelima (5G) lebih maju, cerdas, dan saling terhubung dengan seluruh dunia. Selain itu, dalam buku ini, penulis telah membahas berbagai masalah dan tantangan yang dihadapi dalam jaringan seluler yang ada, keterbatasan sistem seluler konvensional, dan alasan perlunya teknologi komunikasi generasi berikutnya. Selain itu, studi terperinci tentang komunikasi jaringan 5G telah dibahas.

Evolusi arsitektur, layanan komunikasi, dan teknologi yang pesat telah mendorong permintaan akan aplikasi baru, inovasi penelitian, dan kemungkinan utama lainnya untuk peningkatan di berbagai tingkatan. Perubahan ini mendorong pergeseran mendasar dalam proses perancangan dan penyediaan infrastruktur dan layanan. Sistem komunikasi pada umumnya telah dibayangkan dan dijalankan sebagai layanan utilitas aman terpusat, dengan lebih sedikit opsi untuk spesialisasi dan kustomisasi, terutama di tepi. Infrastruktur pendukung dibangun dan disediakan secara konsisten, menurut serangkaian desain tertentu, yang menghasilkan struktur yang diperkuat yang seharusnya bertahan selama bertahun-tahun. Dalam lingkungan tempat persyaratan layanan terus berubah, metode ini agak terbatas. Desain kaku tradisional menyulitkan pembuatan, peningkatan, penerapan, dan kustomisasi layanan.

Peningkatan konstan dalam penggunaan data pengguna nirkabel, perangkat, dan keinginan untuk pengalaman dengan kualitas yang lebih baik secara keseluruhan telah

memengaruhi kemajuan generasi jaringan seluler. Pada akhir tahun 2020, ada lebih dari 50 miliar perangkat terhubung yang menggunakan layanan jaringan seluler, yang mengakibatkan peningkatan besar dalam lalu lintas data dibandingkan dengan tahun 2014. Di sisi lain, solusinya tidak cukup untuk mengatasi tantangan yang disebutkan di atas. Singkatnya, pertumbuhan jaringan 5G dibantu oleh peningkatan 3D (yaitu, "D"ata, "P"erangkat", dan kecepatan transfer "D"ata). Jaringan seluler generasi kelima secara tepat membahas dan menyoroti tiga perspektif utama:

- (i) berpusat pada pengguna (yaitu, memberikan konektivitas perangkat 24 × 7, bantuan komunikasi berkelanjutan, dan pengalaman pengguna yang menyenangkan);
- (ii) layanan yang berpusat pada penyedia (menyediakan layanan yang mencakup sensor, sistem transportasi cerdas yang terhubung);
- (iii) berpusat pada operator jaringan; dan
- (iv) operator jaringan (menyediakan hemat energi, dapat diprogram, berbiaya rendah, dapat diskalakan).

Hasilnya, tiga fitur utama yang dijelaskan di bawah ini diharapkan muncul dalam jaringan 5G:

- (i) konektivitas di mana-mana: Berbagai perangkat akan dapat berkomunikasi dan memberikan pengalaman pengguna yang seragam. Bahkan, konektivitas di mana-mana akan memungkinkan sudut pandang yang berpusat pada pengguna.
- (ii) Latensi nol: Jaringan 5G harus mencapai latensi nol atau latensi yang sangat rendah dalam orde satu milidetik. Dengan demikian, latensi nol akan menjadikan strategi yang berpusat pada penyedia layanan menjadi kenyataan.
- (iii) Koneksi gigabit: Untuk mencapai latensi nol, koneksi gigabit cepat untuk transmisi dan penerimaan data yang cepat, dalam urutan gigabit/detik bagi pengguna dan mesin, dapat digunakan. Generasi nirkabel seluler mencakup pergeseran fondasi inti layanan, pita frekuensi baru, teknologi transmisi yang kompatibel dengan versi lama, dan non-versi lama. Sejak perpindahan awal dari jaringan analog (1G) ke jaringan analog (2G) pada tahun 1981, generasi baru (G) telah muncul setiap 10 tahun, dengan kemampuan multimedia 3G menyusul pada tahun 2011. Baru-baru ini, industri nirkabel telah mengalami pertumbuhan yang spektakuler. Pergeseran yang jelas dari telepon tetap ke telepon seluler telah terlihat sejak awal abad ini. Ada lebih dari empat kali lipat pelanggan telepon seluler daripada saluran telepon rumah pada akhir tahun 2010.

Produsen beserta operator jaringan seluler mengakui pentingnya jaringan yang efektif dan desain yang efisien. Hasilnya, layanan desain dan pengoptimalan jaringan semakin populer. Jaringan 4G, atau jaringan seluler generasi berikutnya, dibayangkan sebagai kumpulan sistem heterogen yang dihubungkan oleh arsitektur horizontal yang berpusat pada IP (3GPP 2015). Teknologi baru ini, bersama dengan persyaratan yang disebutkan di atas, memberikan sejumlah hambatan bagi pengembangan 5G. Tabel 1.1 membandingkan karakteristik utama dan keterbatasan setiap generasi teknologi komunikasi.

Tabel 1.1 Generasi teknologi komunikasi

| Nomor Sl. | Tahun | Generasi | Fitur utama | Keterbatasan |
|-----------|---------|----------|--|--|
| 1 | 1980-an | 1G | <ul style="list-style-type: none"> • Sinyal suara • Telepon seluler analog • NMT, AMPS | Keamanan rendah |
| 2 | 1990-an | 2G | <ul style="list-style-type: none"> • Pesan teks • Sinyal suara • Sinyal digital • GSM, TDMA, CDMA, GPRS, EDGE | Dukungan internet rendah |
| 3 | 1998-an | 3G | <ul style="list-style-type: none"> • Sinyal suara • Sinyal data • Sinyal video • Akses internet nirkabel dan tetap • W-CDMA, UMTS | Dukungan internet berkecepatan tinggi rendah |
| 4 | 2008-an | 4G | <ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan data lebih tinggi • Protokol interoperabilitas • IP seluler | Tidak membantu jika jumlah perangkat yang terhubung lebih dari 50 miliar |
| 5 | 2019-an | 5G | <ul style="list-style-type: none"> • Peningkatan konektivitas • IoT • Latensi rendah • Kecepatan transmisi lebih tinggi | |

Ruang lingkup buku ini mencakup diskusi yang terkait dengan jaringan seluler yang ada dan keterbatasannya, visi jaringan 5G, arsitektur yang diusulkan, keuntungan, masalah yang terkait dengan implementasi, aplikasi, dan diskusi terperinci tentang jaringan generasi berikutnya.

1.2 JARINGAN SELULER YANG ADA DAN TANTANGANNYA

Menurut laporan terkait statistik jaringan nirkabel, tinjauan mengungkapkan bahwa lalu lintas seluler global telah meningkat sekitar 70% pada tahun 2014. 26% telepon pintar (dari semua perangkat seluler di seluruh dunia) menyumbang 88% dari total lalu lintas data seluler (Samsung Electronics Co, 2015). Seiring dengan bertambahnya jumlah orang yang menggunakan telepon pintar, demikian pula jumlah lalu lintas video seluler. Lalu lintas video telah menyumbang lebih dari setengah dari semua lalu lintas seluler sejak 2012. Menurut laporan, pengguna seluler pada umumnya telah mengunduh 1 terabyte data per tahun pada tahun 2020. Dalam sistem seluler 4G LTE saat ini, mendukung peningkatan permintaan dan koneksi data yang besar dan cepat ini merupakan tantangan besar. Untuk meningkatkan

kapasitas dan kecepatan data, jaringan seluler LTE sedang mengejar beberapa opsi penelitian dan pengembangan seperti MIMO, sel kecil, HetNets, beberapa antena, dan transmisi multitik terkoordinasi. Namun, lonjakan lalu lintas saat ini tidak mungkin bertahan dalam jangka panjang. Akibatnya, masalah utama dalam komunikasi pita lebar seluler adalah memenuhi pertumbuhan eksponensial dalam kapasitas pengguna dan lalu lintas.

Generasi Pertama

Generasi pertama sistem seluler bergantung pada transmisi analog untuk layanan suara. NTT atau Nippon Telephone and Telegraph di Tokyo, Jepang, meluncurkan sistem seluler terdepan di dunia pada tahun 1979. Setelah 2 tahun, era seluler tiba di Eropa. Advanced Mobile Phone System (AMPS) didirikan pada tahun 1982 di Amerika Serikat. Nordic Mobile Telephones (NMT) dan Total Access Communication Systems (TACS) adalah dua sistem analog yang paling luas (Kall-nichev 2001). Untuk AMPS, Federal Communications Commission (FCC) mengalokasikan lebar pita 40 MHz dalam rentang frekuensi 800 hingga 900 MHz. Akibatnya, untuk AMPS, pola penggunaan ulang tujuh sel telah ditetapkan. Teknologi Frequency Modulation (FM) digunakan oleh AMPS dan TACS untuk transmisi radio. Teknologi Frequency Division Multiple Access digunakan untuk melakukan multiplex lalu.

Generasi Kedua

Generasi kedua (2G) sistem seluler diluncurkan sekitar akhir tahun 1980-an. Berbeda dengan sistem generasi pertama (1G), sistem 2G menggunakan teknologi digital multiple access yang mencakup TDMA (*Time Division Multiple Access*) dan CDMA (*Code Division Multiple Access*). Dengan demikian, sistem 2G mengungguli sistem generasi pertama dalam hal layanan data, efektivitas spektrum, dan kemampuan roaming (Cho et al. 2014). Di Amerika Serikat, ada tiga aliran pengembangan yang berbeda untuk jaringan seluler digital generasi kedua. Sistem digital pertama, IS-54 (North America TDMA Digital Cellular), diluncurkan pada tahun 1991, dan versi kedua IS-136 dengan layanan yang diperluas diproduksi pada tahun 1996. Sementara itu, IS-95 (CDMA One) diadopsi pada tahun 1993. Koneksi 2G sering digunakan untuk menghubungkan layanan GSM (sistem global untuk seluler). Layanan radio paket yang paling umum (GPRS) dan GSM umumnya digunakan untuk mendukung jaringan 2.5G.

Generasi Ketiga

W-CDMA, CDMA2000, dan TD-SCDMA: 3G menggunakan jaringan nirkabel bermerek luas yang meningkatkan kejelasan. Pergerakan data bervolume tinggi dapat dicapai di EDGE, tetapi transfer paket melalui antarmuka udara masih beroperasi seperti panggilan pengalihan sirkuit. Kecepatan transfer informasi jaringan telekomunikasi 3G setidaknya 2 Mbps. Akibatnya, dalam skenario circuit switch, sebagian efisiensi koneksi paket hilang. Lebih jauh lagi, berbagai belahan dunia memiliki kriteria yang bervariasi untuk membangun jaringan. Hasilnya, lahirlah 3G. 3G bukanlah standar tunggal; ini adalah kumpulan standar yang semuanya dapat berkomunikasi satu sama lain. Pengembangan telah dilanjutkan oleh Third-Generation Partnership Project (3GPP), yang telah menetapkan sistem seluler yang memenuhi standar IMT-2000. Sistem ini dikenal di Eropa sebagai UMTS (Universal Terrestrial Mobile System), yang diatur oleh ETSI. Nomenklatur ITU-T untuk sistem generasi ketiga adalah IMT-

2000, tetapi variasi 3G Amerika adalah cdma2000. Teknologi antarmuka udara untuk UMTS adalah W-CDMA. Jaringan 3G memungkinkan operator jaringan menyediakan pilihan layanan yang lebih luas dan lebih canggih bagi pengguna sekaligus meningkatkan kapasitas jaringan melalui peningkatan efisiensi spektral. Pada tanggal 1 Oktober 2001, NTT DoCoMo di Jepang dengan merek FOMA meluncurkan iklan pertama untuk jaringan 3G yang berbasis pada teknologi W-CDMA.

Generasi Keempat

Pada tanggal 23 Juni 2005, pengujian lapangan 4G pertama yang berhasil dilakukan di Tokyo, Jepang pada tanggal 23 Juni 2005. Dalam downlink, NTT DoCoMo mampu mencapai transmisi paket real-time 1 Gbps dengan kecepatan sekitar 20 km/jam. Stasiun pangkalan memancarkan pesan pensinyalan untuk berlangganan layanan ke stasiun seluler secara teratur dalam sistem GSM modern. Karena variasi dalam teknologi nirkabel dan protokol akses, prosedur ini menjadi lebih menantang dalam sistem heterogen 4G. Mobilitas terminal diperlukan dalam infrastruktur 4G untuk memberikan layanan nirkabel kapan saja dan dari lokasi mana pun. Klien seluler dapat melakukan perjalanan melintasi jaringan nirkabel, batas geografis karena mobilitas terminal. Dua tantangan terpenting dalam mobilitas terminal adalah manajemen serah terima dan manajemen lokasi. Sistem melacak dan menemukan terminal seluler untuk integrasi prospektif dengan manajemen lokasi. Manajemen lokasi mencakup pengelolaan semua informasi mengenai terminal roaming, termasuk lokasi awal dan saat ini, informasi autentikasi, dan sebagainya. Ketika terminal roaming, manajemen handoff, di sisi lain, menjaga jalur komunikasi tetap terbuka. Untuk sistem nirkabel IPv6, Mobile IPv6 (MIPv6) adalah protokol mobilitas berbasis IP yang terstandarisasi. Setiap terminal memiliki alamat rumah IPv6 dalam pengaturan ini. Setelah jaringan lokal ditinggalkan oleh terminal, alamat rumah berubah menjadi tidak valid, dan dengan demikian alamat IPv6 baru (dikenal sebagai alamat care-of) ditetapkan ke terminal pada jaringan yang dikunjungi. Third-Generation Partnership Project (3GPP) menciptakan dasar-dasar untuk standar lanjutan Long-Term Evolution (LTE) di masa mendatang. Kandidat 3GPP ditujukan untuk perancangan dan pengoptimalan metode akses radio yang akan datang dan evolusi lebih lanjut dari sistem saat ini. Dalam transmisi downlink dan uplink, target efisiensi spektrum puncak untuk sistem LTE tingkat lanjut ditetapkan masing-masing pada 30 bps/Hz dan 15 bps/Hz.

Generasi Kelima

WiMAX, WWW, RAT: 5G dapat menyediakan konektivitas nirkabel tanpa batas, menghadirkan web nirkabel dunia nyata yang ideal *World-Wide Wireless Web* (WWW). Di luar standar tingkat lanjut 4G/IMT, 5G merujuk pada fase signifikan berikutnya dari standar telekomunikasi seluler. Saat ini, 5G bukanlah kata resmi untuk spesifikasi atau dokumen eksplisit apa pun yang telah dipublikasikan oleh perusahaan telekomunikasi atau kelompok standardisasi seperti 3GPP, WiMax Forum, atau ITU-R. Setiap pembaruan baru akan meningkatkan kinerja sistem sekaligus memperkenalkan fitur dan area aplikasi baru. Otomatisasi rumah, transportasi pintar, keamanan, dan e-book adalah beberapa aplikasi lain yang diuntungkan dari koneksi seluler. *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) telah menyetujui seperangkat standar pita lebar nirkabel yang dikenal sebagai IEEE 802.16

(IEEE). Organisasi industri WiMAX Forum telah memasarkannya dengan nama "WiMAX" (dari "*Worldwide Interoperability for Microwave Access*"). Antarmuka udara dan layanan terkait yang terhubung dengan loop lokal nirkabel distandarisasi oleh IEEE 802.16. Pemanfaatan ponsel dalam bandwidth yang sangat tinggi telah berubah karena teknologi seluler 5G. Teknologi Bluetooth dan jaringan Pico baru saja tersedia di pasaran untuk kesenangan anak-anak. Pengguna juga dapat menghubungkan ponsel teknologi 5G mereka ke laptop mereka untuk mendapatkan akses ke Internet berkecepatan tinggi. Kamera, rekaman MP3, pemutar video, kapasitas telepon yang besar, kecepatan panggilan, pemutar audio, dan masih banyak lagi merupakan bagian dari teknologi 5G. Desain jaringan pada generasi kelima terdiri dari terminal pengguna (yang memainkan peran penting dalam arsitektur baru) dan berbagai teknologi akses radio (RAT) yang independen dan otonom. Sistem seluler 5G merupakan konsep interoperabilitas IP penuh untuk jaringan nirkabel dan seluler.

1.3 SISTEM SELULER KONVENSIONAL

Keterbatasan

Jaringan 4G tidak cukup untuk melayani sejumlah besar perangkat yang terhubung dengan latensi rendah dan efektivitas spektral tinggi yang akan menjadi penting di masa mendatang. Pada bagian ini, penulis telah membahas beberapa area utama di mana jaringan seluler tradisional tidak memadai, yang mendorong pengembangan jaringan 5G. Transmisi data berat tidak didukung. Berbagai aplikasi seluler mengirim pesan ke server mereka dan terkadang meminta kecepatan transmisi data tinggi untuk jangka waktu yang singkat (Cardieri dan Rappaport 2001). Dengan meningkatnya data berat di jaringan, jenis transfer data tersebut dapat menguras masa pakai baterai (peralatan pengguna) (seluler), yang berpotensi merusak jaringan inti. Namun, dalam jaringan saat ini, hanya satu jenis mekanisme pensinyalan/kontrol yang dibangun untuk semua bentuk lalu lintas, yang mengakibatkan overhead yang substansial untuk lalu lintas berat. Daya pemrosesan Stasiun Pangkalan (BS) hanya dapat digunakan oleh UE terkaitnya dalam jaringan seluler kontemporer, dan dimaksudkan untuk mengakomodasi lalu lintas waktu puncak. Namun, ketika BS dimuat dengan ringan, daya pemrosesannya dapat tersebar di wilayah geografis yang luas. Pada akhir pekan atau hari libur, BS di area perumahan kelebihan beban sementara BS di area bisnis hampir kosong. Namun, karena BS yang praktis tidak digunakan membutuhkan jumlah daya yang sama dengan BS yang kelebihan langganan, biaya keseluruhan jaringan meningkat.

Jaringan seluler pada umumnya menggunakan dua saluran berbeda: satu untuk transmisi dari UE ke BS, yang dikenal sebagai *uplink* (UL), dan yang lainnya untuk transmisi dari UE ke BS, yang dikenal sebagai *downlink* (DL). UE yang ditetapkan ke dua saluran terpisah bukanlah penggunaan spektrum frekuensi yang efisien. Namun, jika kedua saluran berjalan pada frekuensi yang sama, seperti pada radio nirkabel dupleks penuh, interferensi saluran bersama (interferensi antara sinyal yang menggunakan frekuensi yang sama) di saluran UL dan DL menjadi perhatian besar dalam jaringan 4G.

Hal ini juga menghambat pemadatan jaringan atau penyebaran sejumlah besar BS di wilayah tertentu. Jaringan nirkabel heterogen tidak didukung. Jaringan nirkabel heterogen

(HetNets) adalah jaringan nirkabel yang menggunakan berbagai teknologi akses, seperti generasi ketiga (3G), generasi keempat (4G), jaringan area lokal nirkabel (WLAN), Bluetooth, dan Wi-Fi. Dalam 4G, HetNets sudah terstandarisasi, tetapi arsitektur yang mendasarinya tidak dirancang untuk mengakomodasinya. Lebih jauh lagi, jaringan seluler yang ada hanya memungkinkan UE untuk memiliki saluran DL, saluran UL harus digabungkan dengan satu BS, sehingga HetNets tidak dapat digunakan sepenuhnya. Untuk peningkatan kinerja di HetNets, UE dapat memilih saluran UL dan saluran DL dari dua BS terpisah yang termasuk dalam dua jaringan nirkabel yang berbeda.

Visi dan Misi 5G

Konvergensi ketersediaan spektrum gelombang mm yang terus meningkat dan kebutuhan khusus aplikasi baru akan mengantarkan pada kemajuan besar berikutnya dalam komunikasi nirkabel, yaitu 5G. Peningkatan substansial dalam kecepatan data nirkabel, lebar pita, jangkauan, dan koneksi diharapkan dengan komunikasi nirkabel 5G serta pengurangan besar dalam latensi perjalanan pulang pergi dan penggunaan energi. Berikut ini adalah ringkasan tingkat tinggi dari proses standarisasi 5G. Standar pertama diproyeksikan akan selesai pada tahun 2020, menurut laporan tersebut. Group Special Mobile Association (GSMA) bekerja sama dengan mitranya untuk membentuk komunikasi 5G hingga mencapai potensi penuhnya. Delapan kebutuhan utama jaringan 5G generasi mendatang telah ditentukan dengan menggabungkan berbagai aktivitas penelitian oleh industri dan akademisi:

- (i) Kecepatan data dunia nyata sebesar 110 Gbps: Ini sekitar sepuluh kali lebih cepat daripada kecepatan transmisi puncak teoritis sebesar 150 Mbps untuk jaringan LTE standar.
- (ii) Latensi perjalanan pulang pergi 1 ms: Ini sekitar peningkatan sepuluh kali lipat dibandingkan penundaan perjalanan pulang pergi 4G sebesar 10 ms.
- (iii) Bandwidth tinggi per satuan area: Sejumlah besar perangkat yang terhubung dengan bandwidth yang lebih besar untuk jangka waktu yang lebih lama diperlukan dalam ruang tertentu.
- (iv) Sejumlah besar perangkat yang terhubung: Untuk mencapai tujuan IoT, jaringan 5G baru harus dapat menghubungkan ribuan perangkat.
- (v) Ketersediaan yang dirasakan sebesar 99,999%: 5G membayangkan jaringan yang praktis dan efisien.
- (vi) Cakupan hampir total untuk konektivitas "kapan saja, di mana saja": Jaringan nirkabel 5G harus menyediakan cakupan yang komprehensif terlepas dari lokasi pengguna.
- (vii) Pengurangan konsumsi energi hingga hampir 90%: Pengembangan teknologi hijau sudah diperiksa oleh otoritas standar. Dengan kecepatan data nirkabel 5G yang tinggi dan koneksi yang besar, hal ini akan menjadi lebih penting.
- (viii) Daya tahan baterai yang lama: Dalam jaringan 5G mendatang, pengurangan konsumsi daya perangkat sangat penting. Industri nirkabel, universitas, dan kelompok penelitian telah mulai mengerjakan berbagai bagian jaringan nirkabel 5G sebagai respons terhadap delapan kebutuhan yang tercantum di atas.

Menurut Ericsson, pengembangan 5G akan dimulai dengan jaringan 4G LTE yang ada dan kompatibilitas mundur. Ini akan membantu kelanjutan layanan perangkat tradisional yang memanfaatkan frekuensi operator yang sama. Ericsson juga telah bekerja sama dengan SK Telecom, pemimpin pasar di Korea Selatan, untuk mendemonstrasikan jaringan 5G di Olimpiade Musim Dingin 2018. Qualcomm sedang mengerjakan 4G dan 5G secara bersamaan untuk memaksimalkan potensinya. Platform tunggal tersebut akan membantu menghemat biaya dan menghemat energi sekaligus memungkinkan berbagai layanan baru. Huawei bekerja sama dengan kelompok dagang internasional, sejumlah universitas, lembaga pemerintah, dan mitra ekosistem untuk mengembangkan kemajuan 5G yang penting. Jaringan Docomo telah mendeteksi dua tren utama:

- (i) konektivitas seluler global
- (ii) pengiriman konten kaya waktu nyata yang diperluas. Ia percaya bahwa kunci implementasi 5G adalah integrasi pita frekuensi yang lebih tinggi dan lebih rendah. Cakupan dasar akan disediakan oleh frekuensi yang lebih rendah, sementara kecepatan data yang tinggi akan disediakan oleh frekuensi yang lebih tinggi. Realisasi nirkabel 5G Nokia berfokus pada pengoptimalan pemanfaatan spektrum, terobosan kemajuan dalam 5G, sel kecil yang padat, dan kinerja yang lebih baik. Visi Samsung untuk 5G adalah miliaran gadget heterogen yang terhubung secara otonom, yang mengantar masuk Internet of Things. Uni Eropa telah meluncurkan dan mensponsori dua proyek penelitian 5G utama.

1.4 ARSITEKTUR 5G

Jaringan seluler berada di ambang pelanggaran paradigma jaringan yang berpusat pada BS. Hal ini disebabkan oleh permintaan yang berlebihan akan batasan kapasitas dan latensi sub-milidetik dalam spektrum nirkabel konvensional. Karena meningkatnya permintaan di sektor nirkabel, cakupan makro-heksagonal awal digantikan oleh instalasi sel yang jauh lebih kecil. Para peneliti memfokuskan upaya mereka saat ini pada cara membangun jaringan yang berpusat pada pengguna. Pengguna diharapkan untuk berpartisipasi dalam penyimpanan jaringan, distribusi konten, dan pemrosesan, daripada menjadi resolusi akhir jaringan nirkabel. Jaringan masa depan diharapkan untuk menghubungkan berbagai node yang berdekatan satu sama lain. Dengan demikian, akan ada banyak interferensi co-channel dalam jaringan 5G yang padat. Penggunaan antena terarah (berfokus pada energi) dan sektoral daripada antena omni-directional yang lebih tradisional. Akibatnya, penggunaan *Space Division Multiple Access* (SDMA) dan desain antena yang efektif sangat penting. Basis sistem 5G direncanakan akan diperkuat dengan memisahkan bidang pengguna dan bidang kontrol, serta interoperabilitas yang lancar antara berbagai jaringan (Bhushan dan Sahoo 2017). Kebutuhan arsitektur jaringan 5G, modifikasi antarmuka udara, dan desain antena pintar semuanya dibahas dalam bagian ini. SDN, Cloud-RAN, dan HetNets termasuk di antara teknologi baru yang dibahas.

Ada dua bagian dalam jaringan komunikasi seluler yang mencakup jaringan inti dan jaringan akses radio (RAN). Layanan disediakan kepada pengguna di jaringan inti sedangkan

RAN menghubungkan perangkat individual ke jaringan inti mereka melalui koneksi radio. Dibandingkan dengan desain EPS (sistem paket yang dikembangkan) LTE, kemajuan utama arsitektur 5G adalah penggunaan teknologi virtualisasi dan cloud secara luas untuk menawarkan berbagai layanan yang beragam dan mudah beradaptasi. Desain jaringan seluler yang ada terutama dibangun untuk memenuhi kebutuhan layanan suara dan Internet, yang terbukti kurang dapat beradaptasi dalam 5G, yang mencakup serangkaian node, antarmuka, dan layanan yang beragam. Hal ini menjadi salah satu kekuatan pendorong arsitektur perangkat lunak 5G.

Karena teknologi SDN (jaringan yang ditentukan perangkat lunak) dan NFV (virtualisasi fungsi jaringan) dapat mendukung dan mengelola infrastruktur fisik yang mendasarinya, layanan jaringan dapat divirtualisasikan dan dipindahkan ke cloud, tempat kontrol, pemrosesan, dan manajemen pusat dapat dilakukan. Dibandingkan dengan jaringan seluler sebelumnya, yang menggunakan berbagai node milik sendiri dan peralatan perangkat keras tertentu, arsitektur perangkat lunak dapat menurunkan biaya peralatan dan penyebaran sekaligus meningkatkan fleksibilitas dan ketersediaan administrasi dan evolusi (Pozar 2005). Lebih jauh, pembagian jaringan memungkinkan terciptanya jaringan virtual terpisah yang didedikasikan untuk layanan tertentu sesuai kebutuhan, seperti layanan jaringan kendaraan, melalui satu arsitektur fisik, sehingga memenuhi berbagai kebutuhan layanan yang bervariasi. Tugas-tugas jaringan ini divirtualisasikan dan berbasis perangkat lunak dalam 5G, sehingga membuat layanan-layanan tersebut dapat dengan mudah dimasukkan ke dalam infrastruktur cloud. Jaringan akses dan jaringan inti dijelaskan secara lebih mendalam di bawah ini.

C-Ran

Pemanfaatan jaringan akses radio terpusat (C-RAN) dalam 5G dapat dilakukan untuk jaringan akses radio, dengan memanfaatkan teknologi cloud dan virtualisasi untuk memusatkan dan memvirtualisasikan beberapa fungsi stasiun pangkalan di cloud, sehingga menurunkan biaya penyebaran dan pengelolaan stasiun pangkalan yang sangat bertambah dan padat. Pusat cloud dan lokasi yang tersebar membentuk RAN (Violette et al. 1988). Beberapa fungsi RAN non-real-time di lapisan atas dengan persyaratan latensi rendah, termasuk pemilihan/pemilihan ulang sel, serah terima antarsel, dan enkripsi bidang pengguna, dapat dipindahkan ke cloud, tempat informasi dapat dipertukarkan dan sumber daya dapat dibagikan. Pengaburan RAN ini akan berdampak pada komponen jaringan lainnya.

Banyak layanan RAN yang sebelumnya diimplementasikan dalam perangkat keras dengan dukungan perangkat keras tertentu, seperti inti IP, akan dapat diimplementasikan dalam lingkungan perangkat lunak dalam 5G, menurut C-RAN. Dalam hal ini, sangat penting untuk memastikan efektivitasnya. Salah satu contohnya adalah pengembangan algoritma kerahasiaan dan integritas, yang merupakan salah satu alasan mengapa algoritma baru yang hemat perangkat lunak untuk penggunaan 5G harus dipertimbangkan.

Jaringan Inti Berbasis SBA

Arsitektur jaringan utama dalam 5G adalah Arsitektur Berbasis Layanan (SBA), dengan fungsionalitas sistem yang dideskripsikan sebagai kumpulan fungsi jaringan, seperti Fungsi Manajemen Sesi (SMF) dan Fungsi Manajemen Akses dan Mobilitas (AMF). NF ini

menggunakan Antarmuka Berbasis Layanan (SBI) standar untuk memberikan layanan kepada NF lain yang disetujui. Jaringan inti memperkenalkan fungsi jaringan khusus yang disebut Fungsi Repositori NF (NRF) untuk menangani pendaftaran dan penemuan layanan, serta memelihara profil NF dan instans NF yang dapat diakses, sehingga NF dapat menemukan dan mengakses satu sama lain. Penggunaan teknologi network slicing untuk membangun jaringan optimal bagi layanan individual dengan berbagai kebutuhan kinerja dimungkinkan dengan arsitektur berbasis layanan tersebut. Materi kunci pelanggan, seperti kunci jangka panjang dan kunci pribadi jaringan rumah, disimpan dalam *Unified Data Management* (UDM). Ia juga menampung kemampuan manajemen data seperti *Authentication Credential Repository and Processing Function* (ARPF), serta *Subscription Identifier De-Concealing Function* (SIDF). Selama autentikasi, ARPF bertugas menentukan teknik autentikasi berdasarkan identifikasi pelanggan dan kebijakan yang ditentukan, serta menghitung *5G Home Environment Authentication Vector* (HEAV). SIDF menawarkan layanan dekripsi untuk *Subscription Hidden Identifier* (SUCI) pengguna untuk mendapatkan identitas jangka panjang *Subscription Permanent Identifier* (SUPI) pengguna.

1.5 JARINGAN GENERASI BERIKUTNYA

Aplikasi

Aplikasi generasi berikutnya akan muncul dalam lingkungan multiplatform. Aplikasi 4G ditawarkan pada berbagai teknologi nirkabel, termasuk printer, LTE, e-reader, Wi-Fi, ponsel, kamera digital, laptop, dan perangkat lainnya. Meskipun aplikasi 4G diharapkan akan diperluas dan menjadi versi yang lebih baik dari layanan 3G saat ini, kapasitas 4G belum diketahui dalam industri seluler.

Contoh Aplikasi Jaringan Generasi Berikutnya

Pada bagian ini, penulis telah memberikan beberapa contoh aplikasi jaringan generasi berikutnya:

- (i) **Kehadiran Virtual:** Ini mengacu pada kemampuan 4G dan 5G untuk memberikan layanan 24 × 7 kepada pengguna, bahkan saat mereka berada di luar lokasi.
- (ii) **Navigasi virtual:** 4G menawarkan navigasi virtual, yang memungkinkan pengguna untuk mengakses basis data berbagai tempat termasuk gedung, jalan, dan berbagai tempat penting lainnya di kota-kota besar.
- (iii) **Telemedicine:** 4G dan 5G akan memungkinkan pemantauan pasien dari jarak jauh. Pengguna dapat memperoleh konferensi video tanpa harus pergi ke rumah sakit untuk meminta bantuan dokter kapan saja dan di mana saja.
- (iv) **Aplikasi tele-geoprocessing:** Ini adalah gabungan dari GPS (sistem penentuan posisi global) dan GIS (sistem informasi geografis) yang memungkinkan pengguna untuk menanyakan posisi.
- (v) **Manajemen Krisis:** Bencana alam dapat mengganggu jaringan komunikasi, yang dapat menyebabkan krisis.

- (vi) **Pendidikan:** 4G menyediakan banyak prospek bagi orang-orang yang ingin terus belajar sepanjang hidup mereka. Orang-orang dari berbagai belahan dunia dapat menghemat uang dengan melanjutkan pendidikan mereka secara daring.
- (vii) **Kecerdasan Buatan:** Seiring kehidupan manusia semakin dikelilingi oleh sensor buatan yang mampu berkomunikasi dengan ponsel, lebih banyak aplikasi yang menggabungkan kecerdasan buatan (AI) akan muncul.
- (viii) **Perjalanan:** Pembiasaan dengan aplikasi ponsel baru, dan penggunaan telepon pintar dengan teknologi NFC dan Bluetooth dalam proses perjalanan penumpang. Selama dekade berikutnya, teknologi diharapkan memainkan peran utama seperti merasakan lokasi secara virtual sebelum bepergian atau mencari inspirasi dan bertukar informasi secara langsung.
- (ix) **Keamanan:** Lapisan ini melintasi semua lapisan arsitektur jaringan 4G dan 5G, yang menjalankan fungsi-fungsi seperti autentikasi, enkripsi, otorisasi, dan penerapan perjanjian kebijakan layanan antar-vendor.
- (x) **Pertumbuhan ekonomi:** Didukung oleh kemajuan teknologi yang memungkinkan konsumen dan organisasi memanfaatkan layanan konten dan data nirkabel bernilai tinggi. Jaringan 5G diproyeksikan mendukung berbagai aplikasi dan layanan karena latensinya yang rendah dan kecepatan transfer data yang cepat.
- (xi) **Jaringan pintar:** Mendesentralisasi distribusi energi dan juga meningkatkan analisis konsumsi energi. Jaringan pintar akan mampu meningkatkan efisiensi dan keuntungan ekonominya sebagai hasilnya. Jaringan 5G akan memungkinkan pengamatan data statistik secara teratur, menganalisisnya, dan mengambil data dari sensor jarak jauh, serta mengubah distribusi energi sesuai kebutuhan
- (xii) **Otomatisasi:** Dalam waktu dekat akan tersedia kendaraan self-driving yang akan diperlukan untuk terhubung dan berkomunikasi secara real time. Lebih jauh lagi, kendaraan tersebut akan berkomunikasi dengan perangkat lain di jalan raya, tempat tinggal, dan bisnis dengan kebutuhan latensi yang hampir nol. Hasilnya, lingkungan kendaraan yang terhubung akan memungkinkan penggabungan yang aman dan efektif dengan sistem data lainnya.
- (xiii) **Sistem perawatan kesehatan:** Layanan medis dapat memperoleh manfaat dari komunikasi seluler yang andal, aman, dan cepat, seperti transfer data rutin dari tubuh pasien ke cloud atau fasilitas perawatan kesehatan. Hasilnya, perawatan medis yang relevan dan mendesak dapat diperkirakan dan diberikan kepada pasien dengan sangat cepat.
- (xiv) **Aplikasi industri:** Kemampuan latensi nol jaringan 5G akan memungkinkan robot, perangkat seluler, sensor, drone, dan perangkat pengumpul data untuk mendapatkan data waktu nyata tanpa penundaan, yang memungkinkan fungsi industri dikelola dan dioperasikan dengan cepat sambil menghemat energi.

Kesimpulan

Kemajuan aplikasi generasi berikutnya telah muncul dalam lingkungan multiplatform. Banyak teknologi nirkabel mendukung aplikasi 4G yang mencakup LTE dan Wi-Fi. Secara tradisional, jaringan dan layanan komunikasi telah dibangun dan dipasok sebagai sumber daya yang aman dengan potensi terbatas untuk penyesuaian, peningkatan, dan spesialisasi. Dengan demikian, pendekatan ini tidak cukup adaptif untuk memenuhi berbagai kebutuhan aplikasi baru atau untuk mendapatkan manfaat dari serangkaian kemajuan berbasis penelitian baru. Akibatnya, di beberapa area yang dipilih, model desain komunikasi baru dibuat prototipenya, dikembangkan, dan mulai diproduksi. Selain menyediakan infrastruktur permanen, pendekatan ini memandang sumber daya komunikasi sebagai lingkungan yang fleksibel dan dapat diprogram yang dapat terus diperbarui untuk memenuhi persyaratan baru.

Di sektor seluler, Teknologi Komunikasi Nirkabel Seluler akan memimpin fase baru. Saat ini, kantor berada di ujung jari atau di telepon karena munculnya Asisten Data Pribadi (PDA) dan telepon seluler. Ada ruang lingkup yang sangat besar di masa depan untuk teknologi 5G karena mampu menangani sebagian besar teknologi modern dan memasok klien dengan telepon genggam yang sangat baik. 5G akan memberikan bantuan untuk gagasan Super Core, di mana semua operator jaringan terhubung melalui satu inti dan menjadi bagian dari infrastruktur umum, terlepas dari metode akses mereka. Teknik 4G dan 5G menyediakan konsumsi baterai yang lebih rendah, probabilitas rendah (cakupan lebih luas), dan biaya implementasi infrastruktur yang lebih murah atau tanpa biaya bersama dengan layanan pengguna yang efektif. Dalam sistem 5G, setiap telepon seluler terdiri dari "alamat IP Rumah" permanen dan "alamat perawatan" yang merujuk ke lokasi saat ini. Sebuah paket dikirim ke server alamat rumah ketika komputer di Internet ingin berkomunikasi dengan telepon seluler. Kemudian mengirimkan paket ke lokasi sebenarnya melalui terowongan. Komputasi awan adalah sistem yang menggunakan Internet dan server jarak jauh pusat untuk menjaga data dan aplikasi tetap terkini. Layanan jarak jauh pusat ini adalah penyedia konten dalam jaringan 5G. Dengan demikian, berkat komputasi awan, konsumen dan perusahaan dapat menggunakan program dan mengakses berkas pribadi mereka dari komputer mana pun yang memiliki koneksi internet tanpa perlu melakukan instalasi.

BAB 2

REVOLUSI INDUSTRI 3.0: 5G DAN IOT

2.1 PENDAHULUAN

Instalasi komunikasi seluler 5G komersial saat ini sedang berlangsung. Berbagai alasan, terutama meningkatnya kebutuhan bisnis dan konsumen serta munculnya peralatan yang jauh lebih murah, mendorong pertumbuhan 5G dan IoT. Investasi operator yang substansial dalam jaringan, frekuensi, dan infrastruktur 5G, serta penerapan standar internasional, memang membantu dalam mendorong pengembangan dan meningkatkan minat investor terhadap IoT. Sistem seluler 5G modern saat ini muncul melampaui teknologi 4G saat ini, yang akan tetap memenuhi berbagai aplikasi. 5G, yang diharapkan akan bertahan lama, dapat memenuhi kebutuhan saat ini seperti aplikasi daya cerdas sekaligus meramalkan kasus penggunaan di masa mendatang seperti mobil tanpa pengemudi. Operator seluler perlu menjamin untuk memastikan fleksibilitas tambahannya secara bersamaan memenuhi kebutuhan kasus penggunaan saat ini maupun di masa mendatang karena perusahaan mengawasi pertumbuhan teknologi. Penyedia yang berhati-hati akan mengendalikan pengeluaran mereka untuk memastikan layanan pelanggan saat infrastruktur bermigrasi ke 5G. Mayoritas skenario kasus penggunaan 5G terbagi dalam tiga segmen besar: pita lebar seluler yang ditingkatkan (eMBB), IoT yang sangat besar, serta komunikasi penting, dalam setiap rangkaian kinerja, dan lebar pita, termasuk kebutuhan penundaan.

Sementara 4G akan tetap digunakan untuk begitu banyak konsumen dan skenario IoT komersial, 5G menawarkan fitur IoT yang tidak dimiliki 4G serta jaringan lain. Ini akan mencakup kapasitas 5G untuk mengakomodasi sejumlah besar sistem IoT tetap dan portabel dengan kecepatan, kapasitas, dan kebutuhan tingkat layanan yang bervariasi. Seiring berkembangnya Internet of Things, kemampuan beradaptasi 5G akan menjadi semakin penting bagi organisasi yang ingin memenuhi kebutuhan konektivitas vital yang ketat. Karena keandalan 5G yang sangat tinggi serta latensi yang berkurang, kendaraan self-driving, infrastruktur daya cerdas, otomatisasi industri yang lebih baik, dan beberapa teknologi menuntut lainnya menjadi suatu kemungkinan. Sementara 5G meningkatkan lebar pita internet, layanan cloud, kecerdasan mesin, serta teknologi cloud semuanya akan membantu mengelola jumlah data besar yang dihasilkan oleh IoT. Kemajuan 5G lainnya, seperti latensi rendah, dan jaringan non-publik, termasuk inti dari 5G, pada akhirnya akan membantu mewujudkan tujuan jaringan IoT yang mendunia dan mampu mempertahankan konektivitas yang lebih besar ukurannya.

Koneksi generasi kelima (5G) menjadi lebih banyak tersedia sebagai pendorong penting perluasan sistem IoT. Para peneliti dan profesional modern saat ini dapat dianalogikan dengan Christopher Columbus, yang mulai menetapkan bahwa dunia tidak lagi analog. Banyak inovasi baru yang muncul telah menghasilkan munculnya era teknologi, tetapi tidak ada yang memiliki pengaruh lebih besar daripada kemajuan teknologi portabel. Secara pribadi, teknologi tersebut telah mengubah kehidupan sehari-hari yang terhubung dengan orang-

orang, tetapi secara kolektif, mereka secara dramatis merevolusi realitas tempat orang-orang hidup dengan menghasilkan "lautan biru" dari perspektif yang baru. Lautan biru, dengan kata-kata sederhana, tampaknya merupakan munculnya sektor atau perkembangan yang benar-benar baru di sektor mapan yang mengubah batas-batas persaingan, yang menghasilkan pasar tanpa persaingan. Secara tradisional, lautan biru memang spesifik untuk industri tertentu dan juga konsekuensi dari terobosan perusahaan tertentu, seperti Apple, Netflix, Starbucks, Uber, dll. Di sisi lain, pemanfaatan kemajuan teknologi seluler telah mengubah lautan biru bersama-sama menjadi lautan IoT. Setiap kali peluang muncul, integrasi berbagai inovasi berdampak pada semua sektor secara bersamaan.

2.2 IOT DAN PERANGKATNYA

IoT merujuk pada segala hal (misalnya, item) yang terhubung ke Web dan dapat diakses melalui teknologi yang ada di mana-mana. IoT telah melahirkan banyak perangkat "cerdas" yang inovatif (misalnya, yang mendukung Internet). Saat ini, orang-orang hidup di tengah transformasi cerdas di mana banyak item dalam kehidupan sehari-hari mereka terhubung melalui Internet. Beberapa contoh perangkat canggih yang menghasilkan kemunculan gabungan komputasi seluler serta teknologi IoT telah ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Contoh perangkat IoT di berbagai sektor

| Nomor Sl. | Peralatan rumah tangga | Alat kebugaran | Perangkat pakaian | Perangkat gadget |
|-----------|------------------------------|--|---|--------------------------|
| 1 | Kunci pintar untuk pintu | Monitor untuk pengukuran tekanan darah | Jam tangan pintar | Kompas pintar |
| 2 | Sistem hidroponik | Monitor untuk pengukuran kolesterol | Kaos kaki pintar | AC pintar |
| 3 | Tangki propana pintar | Monitor untuk pengukuran kadar glukosa darah | Kemeja pintar | Mesin cuci piring pintar |
| 4 | Kontrol cerdas alat penyiram | Sistem pintar untuk tidur | Sol dalam yang diaktifkan melalui Bluetooth | Mesin cuci pintar |
| 5 | Keamanan cerdas untuk rumah | Kardio pintar | Kacamata teknologi | Kulkas pintar |

5G dan IoT

Seiring dengan semakin dekatnya manusia dengan kemungkinan 5G, kesederhanaan, serta efisiensi yang memungkinkan terjalinnya hubungan IoT, akan meningkat, yang memungkinkan peningkatan teknologi lebih lanjut. Meskipun demikian, implikasi komputasi seluler, serta IoT, lebih jauh dari sekadar penerapan kecakapan teknis baru. Manusia

berpartisipasi dalam data yang dikumpulkan dengan menambahkan elemen multimedia ke setiap dan semua hal yang manusia hubungi dalam aktivitas sehari-hari mereka. Akibatnya, informasi besar tidak lagi besar memang besar, dan akan terus berkembang seiring bisnis mulai bergerak maju ke dalam hubungan yang semakin erat antara banyak hal dan orang. Seiring dengan terus berkembangnya peluang untuk analisis informasi, implikasi bagi para profesional data sangat besar. Bisnis dari semua ukuran harus menjawab permintaan pelanggan untuk koneksi yang lebih baik antara orang, komputer, dan juga benda.

Untuk mencapai tujuan tersebut, penulis telah menekankan implikasi teknologi seluler 5G pada "Internet of Things (IoT)". Pembahasan terperinci tentang komputasi di mana-mana dan teknologi 5G telah dibahas dengan mempertimbangkan IoT dan teknologi 5G secara individual. Kebutuhan dan tantangan jaringan dan persyaratan nirkabel 4G, visi (dalam konteks penelitian dan perspektif industri), penyatuan teknologi, dan penggerak teknologi untuk teknologi IoT yang mendukung 5G telah dibahas secara deskriptif. Akhirnya, tantangan penelitian dan tren masing-masing untuk masa depan telah disajikan dalam studi yang terkait dengan topik "Internet of Things (IoT) menuju Sistem Nirkabel 5G".

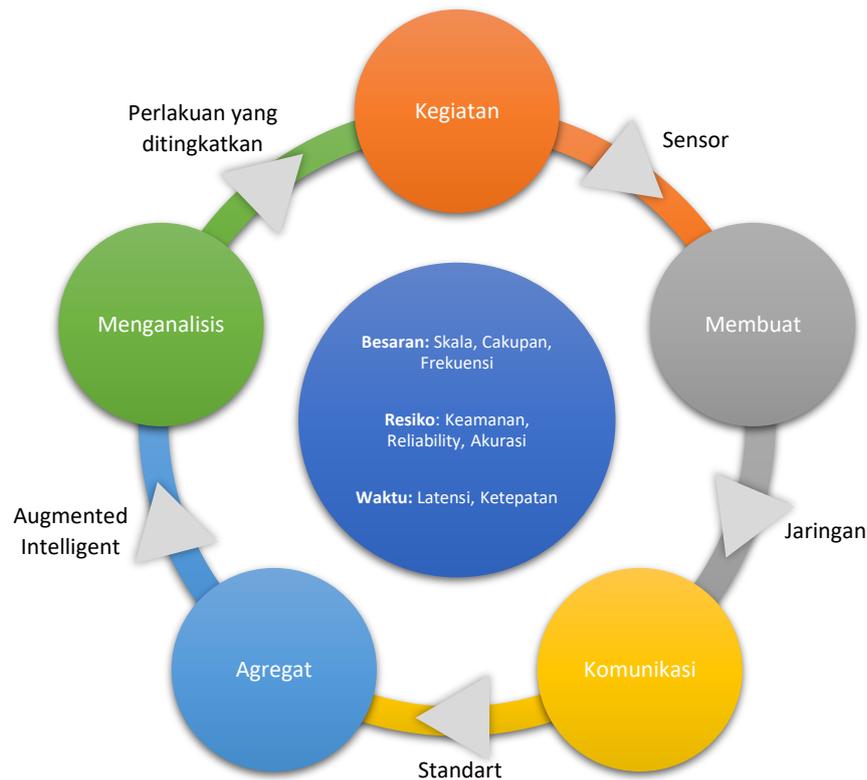
Bagian "5G dan Komputasi di Mana-mana" memberikan pandangan yang jelas tentang 5G dan komputasi di mana-mana. Bagian "Sejarah dan Penelitian Saat Ini tentang IoT dan 5G" membahas sejarah dan penelitian terkini tentang IoT dan 5G. Bagian "Persyaratan IoT dan Kekurangan Jaringan Nirkabel 4G" memberikan deskripsi terperinci tentang persyaratan IoT dan berbagai kekurangan jaringan nirkabel 4G. Bagian "Kebutuhan IoT yang Mendukung 5G" berfokus pada kebutuhan IoT yang mendukung 5G. Bagian "Visi IoT 5G: Konteks Industri dan Penelitian" menyoroti visi IoT 5G dalam konteks industri dan penelitian. Bagian "Penyatuan Teknologi" memberikan gambaran terperinci tentang penyatuan teknologi. Bagian "Kesimpulan dan Cakupan Masa Depan" menyimpulkan buku dan membahas cakupan pekerjaan di masa mendatang. 5G dan Komputasi di Mana-mana

Orang-orang dan perusahaan pada umumnya telah merangkul IoT dan analitik big data di era komputasi yang meluas saat ini, dengan evolusi teknologi seluler berikutnya, jaringan 5G, yang berada di garis depan. Deloitte Reviews, MIS Quarterly, Proceedings of the ACM, serta "Information Systems Research", antara lain, telah mendedikasikan edisi khusus untuk IoT, analitik big data, termasuk 5G. Menurut analisis Bain & Company yang baru, Eropa, serta AS, akan menambah sekitar USD8 triliun ke PDB dunia hingga tahun 2020. Bagian ini akan membahas IoT serta 5G.

Internet of Things

Sekitar tahun 1999, inovator dan pengusaha asal Inggris Kevin Ashton menemukan frasa "Internet of Things". IoT menyediakan gawai dan jaringan yang lebih baik, termasuk konektivitas layanan yang melampaui interaksi *mesin-ke-mesin* (M2M) serta mencakup berbagai antarmuka dan area, termasuk aktivitas. Untuk mendeskripsikan IoT, dua konsep utama dapat digunakan: benda dan juga Web. Suatu benda harus dapat mengirim data atau perintah ke benda lain melalui koneksi agar juga mampu menggunakan IoT. Hubungan manusia atau penginderaan dapat menyebabkan benda yang mendukung IoT melakukan aktivitas, yang menghasilkan jaringan yang terhubung yang terdiri dari benda-benda yang

memiliki manajemen yang luas. Koneksi tersebut dapat bersifat personal, korporat, atau pemerintahan, sementara Web telah menjadi fondasi yang paling umum dibayangkan yang mendasari IoT. IoT terkadang disalahartikan dengan perangkat canggih, yang berlaku untuk hampir semua perangkat yang memiliki akses Internet. Teknologi pintar terdiri dari perangkat yang benar-benar dapat mengakses web, sementara IoT memperluas paradigma ini untuk juga mencakup hal-hal yang dapat dikontrol dari mana saja menggunakan layanan daring.



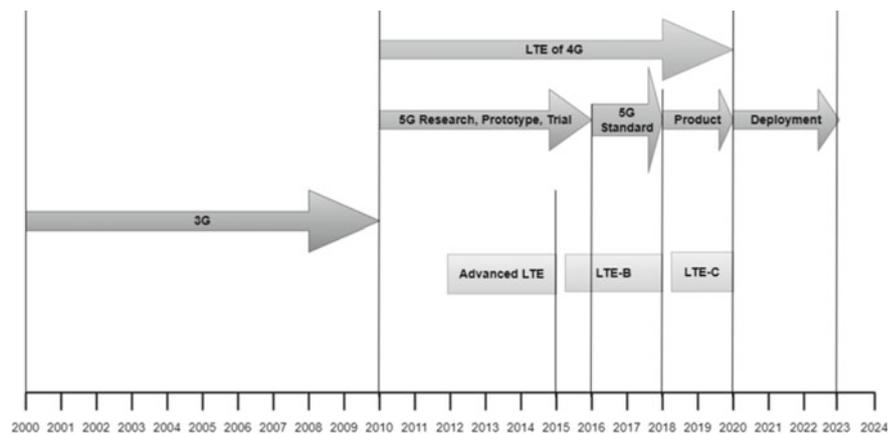
Gambar 2.1 Loop nilai untuk informasi

Misalnya, telepon pintar dapat mengakses Internet, tetapi perangkat tersebut harus digunakan secara langsung. Di sisi lain, perangkat yang mendukung IoT dapat diakses dan dikontrol dari setiap tempat dan kapan saja (Gambar. 2.1). Mesin dapat memantau dan membuat katalog semua barang dan orang di seluruh kehidupan sehari-hari jika mereka memiliki identifikasi unik. Telepon pintar modern, jam tangan pintar, mobil pintar, kontainer kargo, serta perangkat lain menjadi lebih terhubung daripada sebelumnya. Hingga saat ini, penggunaan yang jauh lebih umum termasuk otomatisasi rumah, teknologi yang dapat dikenakan, bangunan cerdas, jaringan pintar, mobil yang terhubung, dan bahkan perawatan kesehatan yang terhubung. Internet of Things dapat membantu Anda “memantau dan menghitung, mengamati dan mengenali, menganalisis dan merespons situasi”. Siklus pasokan cerdas menggambarkan langkah-langkah nilai perusahaan (yaitu, menghasilkan, mengirimkan, mengumpulkan, menganalisis, serta bereaksi) yang harus diselesaikan untuk menghasilkan nilai. Detektor, jaringan, norma, kognisi tambahan, dan perilaku yang ditingkatkan semuanya hadir di setiap level. Selain RFID, barang dapat diberi tag

menggunakan teknik seperti komunikasi stasiun pangkalan, kode QR, kode batang, serta hak cipta elektronik.

Jaringan 5G

5G akan menjadi langkah selanjutnya dalam evolusi dunia seluler. AS kembali mendominasi pasar seluler melalui instalasi generasi keempat (4G). Eropa, Jepang, dan Korea memimpin dunia generasi ketiga (3G) pada tahun 2000-an. Setiap wilayah ingin menjadi pemimpin global dalam jaringan 5G (Sicari et al. 2020). Meskipun 5G masih dalam tahap awal pengembangan, “*International Telecommunication Union (ITU)*” telah mulai mengerjakan kebutuhan spektrum “*International Mobile Telecommunications (IMT)*” untuk tahun 2020 dan bahkan setelahnya. Gambar 2.2 menggambarkan kemungkinan garis waktu untuk kemajuan jaringan 5G (yaitu, studi, pengembangan, dan pengujian 5G hingga 2016; standar 5G hingga pertengahan 2018; produk 5G hingga 2020 sebelum implementasi 5G pada 2021). Pengembangan teknik 5G ini memerlukan LTE-A, LTE-B, hingga LTE-C sebagai elemen dari “Proyek Kemitraan Generasi ke-3 (3GPP)”.



Gambar 2.2 Evolusi teknologi seluler

Meskipun tidak ada kesepakatan tentang 5G, sebagian besar pakar bisnis percaya pada jenis standar kualitas (misalnya, latensi, ketersediaan jaringan, efisiensi energi, “multiple-in multiple-out (MIMO)” yang besar, penggunaan energi, perangkat yang terhubung, paparan, dan peningkatan kebutuhan keamanan). Verizon bermaksud menjadi operator AS pertama yang menyediakan jaringan 5G sambil menunggu implementasi. Banyak negara lain, termasuk Jepang dan Korea Selatan, tengah membuat pengaturan untuk menyediakan uji coba lapangan 5G di tahun-tahun mendatang. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, perluasan dan keberlanjutan 5G akan bergantung pada kinerja seluruh lingkungan informasi, komunikasi, dan teknologi (ICT). Seluruh lingkungan ICT akan memainkan peran penting dalam penciptaan nilai sekaligus pelestarian.

2.3 SEJARAH DAN PENELITIAN TENTANG IOT DAN 5G

Berbagai sistem nirkabel, termasuk 2G, 3G, atau 4G; Bluetooth; konektivitas Wi-Fi; dan lainnya, memang telah digunakan dalam berbagai sistem IoT, di mana miliaran perangkat akan dihubungkan oleh sistem nirkabel. Sistem 2G (yang saat ini melayani 90% dari total populasi

global) ditujukan untuk berbicara, sistem 3G (yang saat ini melayani 65% dari total populasi global) untuk telepon serta informasi, dan jaringan 4G untuk layanan pita lebar kabel. Meskipun jaringan 3G dan 4G umumnya digunakan untuk IoT, jaringan tersebut tidak sepenuhnya cocok untuk sistem IoT. 4G telah meningkatkan kemampuan jaringan seluler secara substansial dalam hal menyediakan akses Web ke perangkat IoT. Sejak 2012, "evolusi seumur hidup" (LTE) ke koneksi 4G telah menjadi variasi 4G yang tercepat dan juga paling konstan jika dibandingkan dengan teknologi pesaing seperti ZigBee, LoRa, WiMAX b, Sigfox, dan banyak lainnya.

Sebagai jaringan berikutnya, jaringan dan standar 5G diantisipasi untuk mengatasi masalah yang dihadapi jaringan 4G, termasuk komunikasi yang lebih rumit, kemampuan komputasi gadget, antar-intelek, dll., untuk memenuhi tuntutan perangkat cerdas, Industri 4.0, dan sebagainya. Grafik tersebut menggambarkan perkembangan jaringan seluler antara IoT bertenaga 3G dan 5G. Pertumbuhan 5G memang akan didasarkan pada basis yang dibangun dengan LTE 4G, yang juga akan memberi pengguna telepon, informasi, dan konektivitas Internet. 5G akan sangat meningkatkan kecepatan dan keandalan untuk memungkinkan koneksi yang andal dan cepat ke perangkat IoT yang akan datang. Teknologi LTE 4G saat ini dapat memberikan kecepatan transmisi 1 Gbps, meskipun koneksi 4G memang dapat dengan mudah terganggu oleh transmisi Wi-Fi, struktur, gelombang mikro, dan kesimpulan lainnya. Koneksi 5G dapat memberi pelanggan kecepatan yang lebih tinggi daripada teknologi 4G, hingga sepuluh Gbps, bahkan sambil menyediakan konektivitas yang dapat diandalkan ke ribuan perangkat secara bersamaan. Gambar tersebut menunjukkan sesuatu dalam IoT, aplikasi komunikasi tipe mesin masif (MTC) di perkotaan cerdas, sistem kesehatan, serta area lain memerlukan koneksi konektivitas yang luas, yang mengakibatkan heterogenitas IoT yang besar dan juga banyak masalah implementasi.

Beberapa teknik komunikasi M2M telah digunakan selama dua dekade terakhir, yang mencakup MTC jarak pendek seperti "*Low Energy Bluetooth (BLE v4.0)*", *ZigBee*, *Wi-Fi*, dan lainnya, serta MTC jarak jauh seperti "*Low-Power wide-area (LPWA)*", Ingenu "*random phase multiple access (RPMA)*", Sigfox, LoRa, dan banyak lainnya. Kelompok tiga proyek kemitraan (3GPP) merekomendasikan "*Enhanced Machine-Type Communication (EMTC)*", "*Extended Coverage-Global System for Mobile Communications for the IoT (EC GSM-IoT)*", dan "*Narrowband-IoT (NB-IoT)*" sebagai teknologi LPWA berbasis seluler untuk IoT tersebut guna menjamin kapabilitas M2M. Teknologi komunikasi yang tersedia masih bervariasi, oleh karena itu memenuhi kebutuhan aplikasi IoT akan menjadi masalah lagi bagi operator seluler generasi kelima (5G).

Persyaratan IoT dan Kekurangan Jaringan Nirkabel 4G

Sementara konektivitas lama difokuskan pada fungsionalitas H2H selama perjalanan yang panjang, interaksi saat ini mencoba bergeser ke konsol M2M dalam arti yang lebih luas. Keragaman persyaratan yang beragam merupakan masalah bagi penjadwalan prioritas kooperatif di antara banyak hal, serta berbagi informasi dan interaksi di antara item secara lebih luas. Akibatnya, memang perlu untuk mengeksplorasi komunikasi nirkabel lama dari sudut pandang IoT.

Konektivitas Masif

Konsep dasar IoT mengubah volume dan variasi perangkat yang terhubung. Secara global, 212 miliar objek pintar diperkirakan juga akan dipasang pada tahun 2020. Jaringan nirkabel LTE, di sisi lain, ditujukan untuk konsumen yang terhubung dengan "*Radio Resource Control (RRC)*" yang terbatas. Sebelumnya, kabel mendukung tujuan perusahaan untuk koneksi independen. Meski begitu, paralelisasi yang sangat besar yang diantisipasi dalam pandangan IoT dapat didiskusikan oleh sistem nirkabel. Kesenjangan teknologi ini, bersama dengan miliaran item beragam yang terhubung, pada akhirnya akan mendorong inovasi yang mengganggu melalui sistem yang lebih lama. Lebih jauh lagi, metode akses Wi-Fi lama akan berjuang dengan kemacetan serta kelebihan beban sebagai akibat dari banyaknya permintaan dari peralatan besar. Efisiensi jaringan akan menurun jika ada sejumlah besar perangkat MTC yang melakukan akses jarak jauh bersamaan. Selain itu, pendekatan komputasi jaringan konvensional akan gagal mengekstraksi informasi yang dibutuhkan dari kuantitas, kecepatan, serta keragaman interkoneksi yang sangat besar.

Daya Tahan Baterai yang Lama Sebagian besar teknologi IoT pintar harus menggunakan daya baterai untuk mendukung komunikasi nirkabel. Mengganti atau mengisi ulang baterai mungkin tidak mudah atau hemat biaya. Lebih jauh lagi, perangkat yang mendukung IoT menggunakan daya baterai kecil. Akibatnya, seperti yang dinyatakan sebelumnya, kebutuhan untuk meningkatkan daya tahan baterai merupakan masalah yang akan datang dalam implementasi IoT yang tidak dapat diabaikan. Pola perjalanan M2M umum menunjukkan bahwa sekarang daya yang dibutuhkan untuk proses transmisi sering kali rendah. Meskipun ada penambahan opsi hemat daya untuk komunikasi MTC dalam 3GPP Rilis 12 yang menjamin masa pakai baterai ekstra dalam sistem IoT tetap menjadi prospek yang menakutkan untuk LTE berbasis divisi OFDM yang dimultipleks.

Kendala Kemacetan yang Jarang serta proses sinkronisasi Ortogonalitas

Akses Acak diperlukan dalam saluran 4G LTE untuk menghadapi pembatasan ortogonalitas. Meskipun sinkronisasi mempertahankan koherensi temporal pengirim, ortogonalitas mengurangi crosstalk. Sinkronisasi waktu-frekuensi reguler dalam paket data pendek menghasilkan kompleksitas pensinyalan. Pada kenyataannya, volume informasi dalam pendekatan MTC berbasis "*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access (OFDMA)*" berurutan serupa dan jauh lebih sedikit daripada bandwidth pensinyalan yang ditingkatkan. Lebih jauh lagi, di masa depan IoT, benda-benda pintar yang umum akan menjadi penghasil dan penerima lalu lintas yang besar. Akibatnya, komunikasi nirkabel di masa depan diproyeksikan hanya akan terputus-putus, yang memberikan masalah signifikan untuk desain IoT berbasis layanan.

Solusi Sadar yang Tertunda serta Solusi Pertimbangan yang Tertunda Dalam perangkat IoT, pembatasan kapasitas baterai serta kendala bandwidth mendorong komunikasi berkala. Hingga tingkat tertentu, konektivitas yang toleran terhadap penundaan sesuai untuk beban kerja tertentu. Namun demikian, aplikasi seperti cakupan layanan kesehatan, kendaraan otomatis, serta pemantauan merupakan prioritas utama dan sensitif terhadap waktu. Selain itu, haptic online, yang dengan cepat mendapatkan popularitas untuk aplikasi yang dapat

diakses dengan jari, memang merupakan pendorong utama untuk internet pita lebar dengan bandwidth rendah. Jaringan 4G memiliki latensi bolak-balik sebesar 10–15 ms (akibat permintaan penjadwalan uplink), yang meragukan untuk komunikasi vital, mobil otonom, serta aktivitas sensitif waktu lainnya.

Transmisi Pita Sempit

Permintaan untuk masa pakai baterai yang lama, konektivitas M2M pita lebar rendah, terutama aliran stokastik tidak kompatibel dengan koneksi nirkabel pita lebar tradisional (Hossein Motlagh et al. 2020). Metode LTE konvensional, yang dibuat untuk aktivitas Internet, dengan demikian direayasa secara berlebihan untuk aplikasi yang dikurangi dan toleran terhadap banyak penundaan yang dibayangkan dalam lingkungan IoT. 3GPP baru-baru ini menambahkan spesifikasi "*IoT pita sempit* (NB-IoT) dalam Rilis 13". Berbeda dengan sistem jarak pendek yang tidak terdaftar, seperti ZigBee, Bluetooth, dan lainnya, teknologi NB-IoT memungkinkan watt minimal dan jangkauan komunikasi yang luas dengan pita yang tersedia. Dapat dibayangkan untuk mengimplementasikan NB-IoT hanya dengan pita lebar terbatas sekitar 200 kHz. Selain itu, ia menawarkan jangkauan yang lebih luas, efektivitas energi yang lebih tinggi yang memungkinkan baterai yang lebih besar, dan mengurangi komplikasi dengan gadget berbiaya rendah. Meskipun jaringan LTE konvensional menggunakan sub-carrier 15 kHz, NB-IoT memperkenalkan sub-carrier 3,75 kHz lagi untuk arsitektur uplink. Meskipun demikian, pengujian telah menunjukkan bahwa sinyal yang ditransmisikan 3,75 kHz memiliki konsekuensi merugikan tertentu pada kohabitasi hanya dengan lebar sub-carrier LTE 15 kHz. Akibatnya, fungsi pita sempit merupakan salah satu kriteria penting yang harus diselidiki lebih lanjut selain hanya beban kerja data rendah serta instalasi IoT yang dapat beradaptasi.

Melampaui Interaksi Manusia IoT dapat dilihat hanya sebagai jaringan komunikasi yang sangat terdistribusi yang berinteraksi dengan baik dengan domain fisik di tingkat sistem. Gadget mengamati proses fisik, sehingga sistem konektivitas IoT mencakup detektor, pengontrol, meteran, utilitas, komunikasi, dll. Akibatnya, muncul masalah baru yang menghubungkan tidak hanya orang tetapi juga teknologi. Tidak seperti koneksi H2H, kebutuhan IoT utama adalah kemampuan untuk menghubungkan berbagai perangkat dari jarak jauh dengan biaya yang sangat rendah. Selain itu, koneksi perangkat fisik memerlukan bandwidth Internet yang cukup, masa pakai baterai yang lebih lama, serta penetrasi yang ditingkatkan sehingga gadget dapat mengakses area yang sulit. Pengejaran aplikasi penginderaan luas ini diproyeksikan menjadi hambatan penting bagi sistem nirkabel tradisional yang berorientasi pada manusia. Perspektif yang berorientasi pada benda menyiratkan sesuatu selain interaksi pribadi. Lebih jauh, karena IoT menjadi lebih kompleks, objek dan orang akan terhubung lebih sering dan mulus. Akibatnya, kebutuhan Internet of Things untuk menghubungkan komunikasi dengan baik dengan domain fisik memang tidak dapat diabaikan.

Kebutuhan IoT yang Mendukung 5G

IoT mengubah kehidupan sehari-hari dengan menyediakan banyak layanan unik yang berjalan pada ekosistem gawai cerdas dan sangat beragam. Banyak penelitian telah dilakukan

dalam beberapa tahun terakhir pada beberapa subjek sulit untuk IoT 5G tersebut, serta kriteria utama IoT meliputi:

- (i) Dengan kecepatan data yang meningkat, sistem IoT masa depan seperti konten streaming HD "realitas virtual (VR)" atau lebih tepatnya "realitas tertambah (AR)" akan membutuhkan kecepatan data yang lebih tinggi sekitar 25 Mbps untuk mendapatkan kinerja yang memuaskan.
- (ii) Skalabilitas tinggi dan sistem yang sangat tepat diperlukan untuk IoT 5G guna memungkinkan pemecahan jaringan front-haul yang sangat rinci melalui NFV.
- (iii) Penundaan yang sangat berkurang diperlukan dalam layanan IoT 5G seperti Web haptik, AR, permainan video, dan sebagainya.
- (iv) Dengan keandalan dan ketahanan, IoT 5G memerlukan ketersediaan yang lebih baik dan efektivitas transisi bagi konsumen perangkat dan aplikasi IoT. (v) Keamanan, tidak seperti strategi keamanan umum yang melindungi koneksi dan perlindungan privasi, layanan pembayaran IoT yang akan datang, serta layanan dompet daring, menciptakan pendekatan keamanan yang lebih baik untuk meningkatkan keamanan informasi.
- (v) Daya tahan baterai yang lebih lama: Untuk menangani miliaran sistem IoT berdaya rendah dan berbiaya rendah dalam IoT 5G, IoT bertenaga 5G memerlukan teknologi energi yang lebih rendah.
- (vi) Kepadatan konektivitas, sejumlah besar sensor akan dihubungkan bersama selama IoT 5G, yang mengharuskan 5G untuk memfasilitasi transmisi pesan yang efektif dalam waktu dan wilayah tertentu.
- (vii) Kelincahan, IoT 5G harus mampu menangani sejumlah besar koneksi antarperangkat saat bergerak.

Keadaan IoT saat ini melibatkan pengiriman serta penyimpanan semua informasi dasar yang dihasilkan melalui sistem IoT ke cloud, yang akan dianalisis melalui penyimpanan cloud untuk memperoleh pengetahuan yang relevan melalui teknik analisis.

Visi IoT 5G: Konteks Industri dan Riset

Visi IoT 5G, serta tujuannya, adalah untuk menghubungkan berbagai perangkat di dalam arsitektur sistem yang sama. Sejumlah teknologi nirkabel 5G yang canggih, seperti kota pintar, "Internet kendaraan (IoV)", pabrik canggih, dan pertanian pintar, termasuk perawatan kesehatan pintar, berkontribusi pada ledakan IoT. Beberapa operator seluler, semikonduktor, dan jaringan utama yang memiliki pusat riset yang luar biasa tengah melakukan eksperimen laboratorium dan lokasi untuk menyediakan jaringan nirkabel 5G pada tahun 2030. Studi dan eksperimen 5G tengah dilakukan di beberapa pusat riset yang memiliki fasilitas laboratorium kelas dunia. Kemajuan dan peningkatan terbaru dalam teknologi seluler menawarkan untuk memenuhi persyaratan pita lebar yang cepat, pemanfaatan spektrum yang lebih baik, konektivitas jarak jauh, keandalan yang lebih tinggi, dan juga konektivitas perangkat cerdas. IoT dalam konteks 5G berpotensi menjadi teknologi paling transformatif di dunia teknologi informasi. Berdasarkan penelitian, komunikasi nirkabel 5G akan tersedia di beberapa negara pada tahun 2030 (Tabel 2.2).

Tabel 2.2 Visi IoT berkemampuan 5G untuk berbagai industri telekomunikasi

| Nomor Sl. | Nama industri | Visi |
|-----------|---------------|--|
| 1 | Intel | Intel tengah menggarap sistem penting baru yang akan memungkinkan 5G HetNets sekaligus memaksimalkan penggunaan sumber daya spektrum yang efektif. Intel tengah mengembangkan teknologi baru, seperti akses akses berlisensi (LAA), untuk meningkatkan kecepatan |
| 2 | Samsung | Ambisi Samsung sebenarnya adalah menghubungkan segala sesuatu di planet ini. Samsung mengantisipasi bahwa hampir semua gawai platform IoT akan saling terhubung. Kolaborasi yang efektif diperlukan untuk mewujudkan bidang IoT 5G seperti otomatisasi rumah, kota pintar, manufaktur pintar, perawatan kesehatan pintar, pertanian pintar, transportasi, dan sebagainya. Samsung telah memberikan kontribusi signifikan pada layanan cloud IoT yang dapat diakses, yang memungkinkan karyawan mengakses peralatan rumah tangga. Pengendali jarak jauh diprogram untuk peralatan Samsung seperti AC, mesin cuci, dan lemari es |
| 3 | Nokia | Nokia baru-baru ini mengumumkan pembuatan kerangka kerja lintas domain untuk mengaktifkan teknologi 5G. Nokia berfokus pada modernisasi sistem, yang berfungsi untuk menjaga stabilitas konsumsi daya secara keseluruhan dengan mengurangi penggunaan energi yang tidak terhubung langsung ke transfer data. Mereka fokus pada banyak peluang besar untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar stasiun darat |

Penyatuan Teknologi

Teknologi selalu berkembang menuju kesatuan. Setiap kali Web dikomersialkan dalam tahun 1990-an, perangkat baru berkembang, memicu reaksi berantai kemajuan teknologi. Barang-barang tidak memiliki akses Internet pada tahun 1990-an. Teknologi era ini bekerja secara individual satu sama lain. Ketika telepon pintar dan televisi memperoleh akses Web pada tahun 2000-an, tren terbaru ponsel yang terhubung pun muncul. Selama periode ini, teknologi mulai bergeser dengan menggabungkan fungsi-fungsi yang membutuhkan Internet. Ketika jaringan membaik, kecepatan data meningkat, begitu pula kapasitas ponsel yang terhubung, memberikan dorongan pada Web of things ketika manusia beralih dari sudut pandang teoritis tersebut untuk mewujudkan keterampilan tersebut pada tahun 2010-an.

Barang-barang saat ini memang memiliki akses Internet, tetapi mereka dapat berkomunikasi satu sama lain dan berbagi data. Dengan memanfaatkan penginderaan dan perangkat yang terhubung, berbagai hal dapat berkomunikasi satu sama lain, berbagi

informasi, dan memberikan layanan baru kepada publik di mana pun. Karena semakin banyak perangkat yang mendukung IoT, mereka semakin dekat dengan masa depan yang saling terkait di mana semua barang dapat berinteraksi termasuk semua hal yang dapat diakses oleh orang-orang, siapa pun, kapan pun, dari lokasi mana pun. Transisi ke IoT ini membuka peluang baru, seperti media sosial barang pintar yang saling terhubung erat. Gambar 2.3 menggambarkan perkembangan perangkat canggih dari produk mandiri ke situs jejaring sosial IoT.

Penggerak Teknologi yang Memungkinkan dalam IoT 5G

Properti utama 5G untuk memungkinkan berbagai multimedia waktu nyata meliputi kecepatan yang cepat, latensi yang berkurang, serta throughput yang tinggi. Akibatnya, teknologi pemberdayaan 5G harus dikembangkan. Komunikasi *Device-to-Device* (D2D), interaksi *Machine-to-Machine* (M2M), Millimeter Waves, “*Quality of Service* (QoS)”, “*Network Function Virtualization* (NFV)”, *Vehicle-to-Everything* (V2X), Full-Duplex, serta Green Interaction merupakan beberapa solusi teknologi inti yang digunakan dalam teknologi 5G. Sistem 5G memungkinkan kecepatan transmisi data 10–20 Gbps, yang 100 kali lebih cepat dari teknologi 4G, sehingga memungkinkan kemampuan bedah robotik IoT yang baru.

Tantangan dan Tren Masa Depan Penelitian

5G memiliki karakteristik yang dapat memenuhi kriteria IoT masa depan, tetapi juga menciptakan serangkaian masalah penelitian baru yang menarik tentang desain IoT 5G, interaksi yang dapat dipercaya di antara gadget, kesulitan privasi, dan sebagainya. IoT 5G menggabungkan beberapa teknik dan karenanya memiliki pengaruh besar pada sistem IoT. Pada bagian ini, masalah penelitian prospektif dan perkembangan masa depan dalam 5G IoT dibahas.

Tantangan

- (i) **Pita frekuensi:** Berbeda dengan 4G LTE, yang beroperasi pada pita lebar yang diketahui di bawah 6 GHz, 5G membutuhkan frekuensi di atas 300 GHz. Frekuensi tertentu, yang disebut gelombang mm, dapat menyalurkan lebar pita yang jauh lebih besar dan memberikan peningkatan 20 kali lipat dalam lebar pita potensial di atas LTE.
- (ii) **Cakupan dan penerapan:** Meskipun 5G memberikan peningkatan yang cukup besar dalam kecepatan dan kapasitas, cakupannya jauh lebih pendek yang akan memerlukan infrastruktur pada tingkat yang lebih besar. Panjang gelombang yang lebih panjang memungkinkan pengarahan sinyal radio dengan cara yang ekstrem yang mungkin difokuskan atau diarahkan yang dikenal sebagai beamforming. Kesulitan utamanya adalah, meskipun antena 5G dapat mengelola lebih banyak aktivitas pengguna, antena tersebut hanya dapat memancarkan dalam rentang pendek.
- (iii) **Biaya konstruksi dan akuisisi:** Membangun jaringan mahal; operator akan mendanainya dengan memberikan pendapatan kepada konsumen. Hampir sama seperti paket LTE yang memiliki biaya modal tinggi, 5G siap meniru pola yang sama. Ini bukan sekadar menambahkan level ke jaringan saat ini; ini membangun dasar yang menginginkan sesuatu yang berbeda.

- (iv) **Kompatibilitas perangkat:** Sekarang ada banyak informasi tentang ponsel pintar berkemampuan 5G dan berbagai instrumen lainnya. Namun, aksesibilitasnya akan ditentukan oleh seberapa mahal perangkat untuk diproduksi dan seberapa cepat sistem tersebut digunakan. Berbagai operator di AS, Korea Selatan, termasuk Jepang memang telah memulai proyek 5G untuk uji coba di berbagai wilayah, dan produsen telah menyatakan bahwa ponsel yang sesuai memang akan dapat diakses pada tahun 2019.
- (v) **Keamanan data:** Penerapan 5G, seperti setiap inovasi berbasis data, akan menghadapi risiko dasar keamanan siber yang tingkat lanjut. Meskipun informasi bahwa 5G agak tercakup oleh "*Authentication and Key Agreement (AKA)*", yang merupakan metode yang dimaksudkan untuk menciptakan kepercayaan di antara penyedia, saat ini mudah untuk mengikuti individu yang menggunakan ponsel pintar atau bahkan mungkin menyadap panggilan telepon yang sedang berlangsung. Kewajiban tersebut, seperti yang berlaku saat ini, akan berada di tangan operator dan konglomerat jaringan untuk menawarkan sistem dukungan virtual bagi konsumen.

Tren Masa Depan

Omdia percaya bahwa pertemuan AI serta komputasi tepi akan meningkatkan pentingnya dan memengaruhi proposisi IoT. Fitur tepi pada peralatan di dalam lapangan mengurangi penundaan, konsumsi energi, serta biaya yang terkait dengan transportasi data ke cloud. Hal ini menyediakan jalur untuk analisis jenis data yang lebih rumit. Menurut "*Fortune Business Insights*", industri IoT di seluruh dunia akan bernilai Rp.1,1 triliun pada tahun 2026. Industri ini digunakan untuk memantau orang, kota, pertanian, dan apa pun yang dapat dibayangkan untuk tahun-tahun mendatang.

Kesimpulan dan Cakupan Masa Depan

5G menawarkan beberapa keuntungan yang tidak dapat diakses melalui terobosan teknologi. Ini mencakup kemampuan 5G untuk mengakomodasi sejumlah besar sistem IoT tetap dan portabel dengan kecepatan, kapasitas, dan kebutuhan layanan berkualitas yang bervariasi. Kemampuan beradaptasi 5G akan menjadi semakin penting bagi perusahaan seiring berkembangnya Internet of Things. Koneksi penting akan didukung oleh 5G, yang akan memiliki target kinerja yang jauh lebih ketat. Keandalan yang sangat tinggi, serta latensi yang berkurang dari 5G, dapat membantu dalam mewujudkan kendaraan self-driving, jaringan listrik cerdas, otomatisasi industri yang lebih baik, serta teknologi canggih lainnya.

Jaringan 5G dapat mengelola volume data besar yang dihasilkan oleh gadget IoT dengan aman selain melayani sejumlah besar perangkat termasuk berbagai kebutuhan layanannya. Teknologi cloud, kecerdasan mesin, serta teknologi cloud juga akan membantu dalam pengelolaan kumpulan data IoT yang besar. 5G memang merupakan teknologi di seluruh dunia yang sedang diterapkan mengikuti spesifikasi internasional 3GPP. Dibuat untuk memastikan kompatibilitas IoT, dan masih terus berkembang melalui penyempurnaan berkelanjutan terhadap kriteria yang disepakati. Memperluas konektivitas untuk IoT yang disediakan oleh 4G, Rilis 15 hingga 16 dari standar seperti 3GPP akan memberikan bantuan

tambahan untuk perangkat IoT yang menggunakan kemampuan 5G seperti keandalan yang sangat tinggi serta latensi yang berkurang. Kemajuan 5G lebih lanjut, seperti latensi rendah, jaringan non-publik, termasuk inti 5G, diyakini akan membantu dalam mencapai tujuan jaringan IoT di seluruh dunia yang mampu mendukung konektivitas besar dengan berbagai kebutuhan pergerakan dan aksesibilitas.

BAB 3

ARSITEKTUR DAN PROTOKOL JARINGAN 5G

3.1 PENDAHULUAN

Dengan munculnya teknologi 5G dengan arsitektur yang disempurnakan, ada kemungkinan yang belum pernah terjadi sebelumnya dalam hal Kualitas Layanan (QoS), kecepatan data, latensi, dan kapasitas. Bab ini menyoroti berbagai aspek teknologi 5G dan inovasi teknologi terkait. Bab ini mendukung keberagaman pengguna, keberagaman perangkat, dan dimensi lainnya. Bab ini berfokus pada arsitektur teknologi 5G, mekanisme yang mendasarinya, dukungan untuk komunikasi *Device-to-Device* (D2D), peningkatan *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO), manajemen interferensi tingkat lanjut, peningkatan utilitas jaringan ultra-padat, pembagian spektrum, dan teknologi cloud yang terkait dengan jaringan 5G. Ia juga mengusulkan metodologi dengan broker spektrum dengan komponen dasar dengan pendekatan yang peka terhadap penundaan dan hemat energi untuk memanfaatkan stasiun pangkalan 5G yang mengarah pada pengurangan konsumsi energi. Konsep penundaan antrean dipertimbangkan saat mengusulkan skema untuk komunikasi yang peka terhadap penundaan dengan efisiensi energi. Broker spektrum memiliki mekanisme untuk mencapai hal ini. Studi simulasi dengan skema yang diusulkan menunjukkan efisiensi energi dari skema yang diusulkan jika dibandingkan dengan keadaan terkini. Bab ini tidak hanya menyediakan pengetahuan yang diperlukan tentang berbagai teknologi tetapi juga menyediakan studi simulasi yang dapat memicu penyelidikan lebih lanjut ke dalam manajemen sumber daya dalam jaringan 5G.

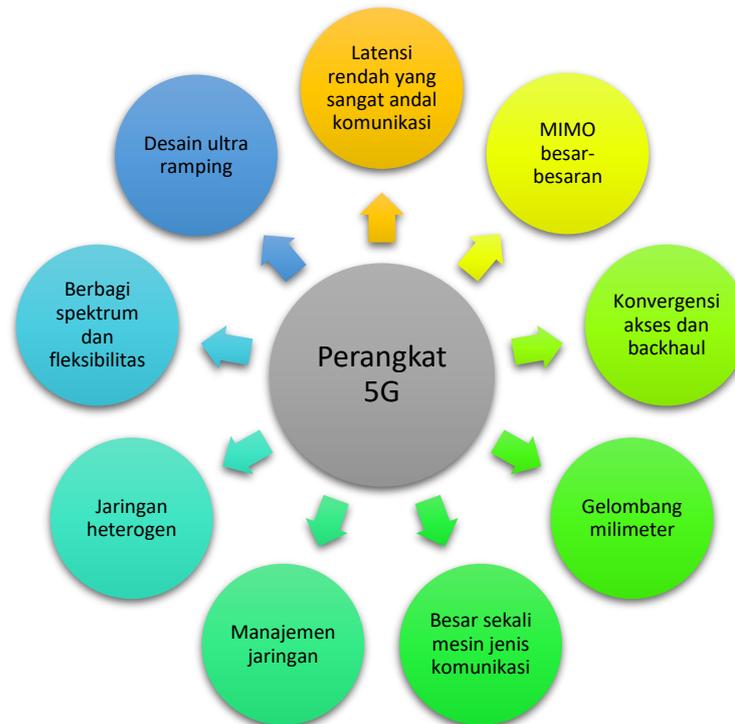
3.2 TEKNOLOGI PEMUNGKIN

Teknologi dan komunikasi seluler telah mengalami perubahan besar dalam beberapa tahun terakhir. Teknologi seluler telah berkembang dengan cepat, dan perangkat seluler, sejak milenium ini, telah menyaksikan banyak fitur termasuk permainan, navigasi GPS, pengiriman pesan, dan sebagainya. Ponsel bahkan dapat berpartisipasi dalam komputasi awan dalam bentuk Komputasi Awan Seluler (MCC). Sebagian besar teknologi komputer juga bergantung pada perangkat pintar genggam kecil. Komputer tablet yang terkait dengan komputasi seluler telah menjadi fenomena populer. Teknologi seluler memainkan peran penting dalam infrastruktur digital yang digunakan untuk komputasi. 5G adalah teknologi generasi kelima yang merupakan penerus 4G. Teknologi 5G menyediakan pita frekuensi yang lebih lebar selain peningkatan lebar pita spektral. Lebih baik dari pendahulunya dalam hal laju bit puncak, efisiensi spektral, peningkatan konektivitas perangkat, konkurensi, kecepatan, konsumsi baterai rendah, konektivitas terjamin di semua wilayah geografis, peningkatan dukungan perangkat, infrastruktur berbiaya rendah, dan keandalan.

Seperti yang disajikan dalam Gambar 3.1, teknologi enabler 5G memiliki perannya dalam membuatnya berguna dalam aplikasi dunia nyata. Teknologi tersebut terkait dengan manajemen jaringan, MIMO masif, gelombang milimeter, jaringan heterogen, konvergensi

akses dan backhaul, komunikasi tipe mesin masif, komunikasi dengan latensi rendah, desain ultra-ramping, berbagi spektrum, dan fleksibilitas. Bagian di bawah dalam buku ini memberikan rincian lebih lanjut tentang arsitektur teknologi 5G, mekanisme yang mendasarinya, dukungan untuk komunikasi *Device-to-Device* (D2D), peningkatan *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO), manajemen interferensi tingkat lanjut, peningkatan utilitas jaringan ultra-padat, berbagi spektrum, dan teknologi cloud yang terkait dengan jaringan 5G. Ia juga mengusulkan metodologi dengan broker spektrum dengan komponen dasar dengan pendekatan yang sadar penundaan dan hemat energi untuk memanfaatkan stasiun pangkalan 5G yang mengarah pada pengurangan konsumsi energi. Konsep penundaan antrean dipertimbangkan saat mengusulkan skema untuk komunikasi yang sensitif terhadap penundaan dengan efisiensi energi. Jaringan 5G didasarkan pada berbagai pertimbangan desain seperti yang dibahas dalam Agyapong et al. (2014), Marsch et al. (2016), dan Gupta and Jha (2015). Jaringan ini memiliki pertimbangan dukungan yang melekat untuk kasus penggunaan IoT. Ada ketentuan untuk memiliki pemanfaatan spektrum yang lebih baik dengan 5G secara hemat energi. Gagasan radio yang ditentukan perangkat lunak (SDR) dengan teknologi 5G dapat meningkatkan pengendaliannya. Dengan jaringan 5G, pengumpulan spektrum dan energi harus diintegrasikan untuk hasil yang lebih baik. Ada beberapa teknik yang dibahas dalam Zhang et al. (2017) dan Yang et al. (2016) untuk berbagi spektrum tingkat lanjut dalam teknologi 5G. Orientasi yang berpusat pada konten dan pembagian spektrum dieksplorasi untuk jaringan 5G. Dengan adanya jaringan 5G, pembagian spektrum di antara pengguna sekunder diselidiki dalam Papageorgiou et al. (2020). Arsitektur SDN untuk jaringan tersebut dipelajari dalam Akyildiz et al. (2015). Kontribusi dari buku ini adalah sebagai berikut:

1. Investigasi dilakukan terhadap arsitektur teknologi 5G, penggunaan MIMO dalam 5G, dan komunikasi D2D dalam 5G.
2. Berfokus pada manajemen interferensi, pembagian spektrum, dan jaringan ultra-padat dengan teknologi 5G.
3. Area lain yang dieksplorasi dengan 5G meliputi teknologi komputasi awan, desain hemat energi, dan skema kooperatif dengan algoritma dan studi empiris.



Gambar 3.1 Teknologi pendukung 5G

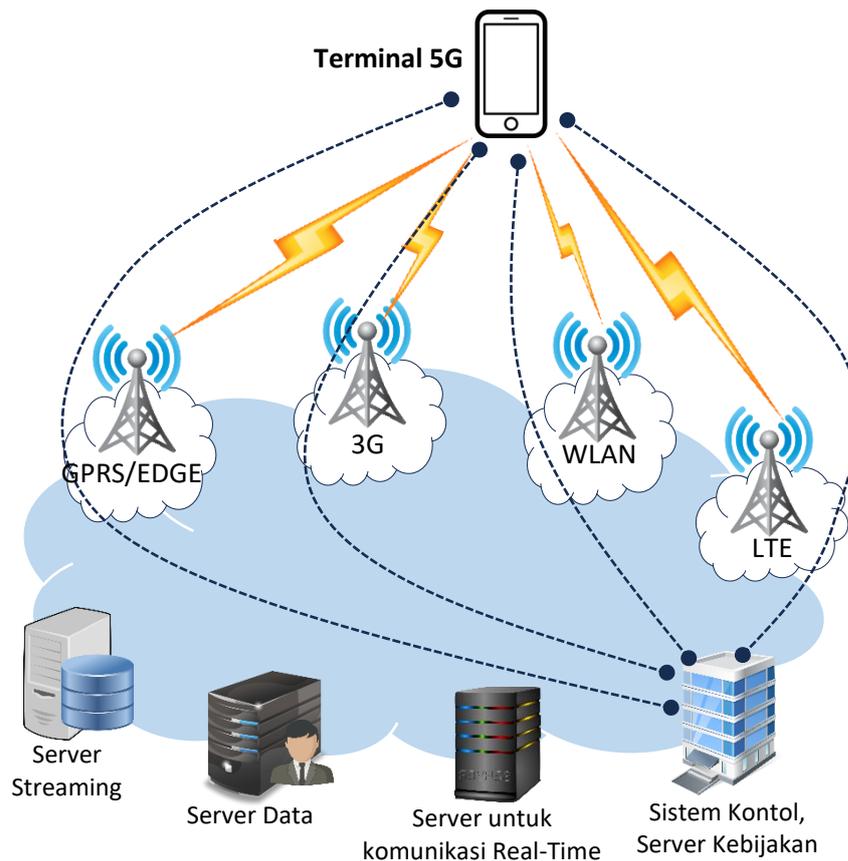
Arsitektur 5G

Teknologi 5G adalah standar global baru untuk jaringan seluler. Teknologi ini berpotensi untuk memiliki konektivitas ke lebih banyak perangkat dan mesin dengan kemungkinan yang belum pernah ada sebelumnya. Teknologi ini ditujukan untuk memberikan kecepatan data multi-Gbps dengan keandalan, latensi rendah, dan kemampuan yang sangat besar. Ada banyak kasus penggunaan penting dari 5G. Salah satu kasus penggunaan penting adalah jaringan 5G dapat digunakan untuk spektrum yang luas karena keandalan dan kecepatannya yang tinggi. Teknologi ini memungkinkan komunikasi yang sangat penting dan mendukung teknologi IoT. Teknologi 5G menawarkan lebih banyak fleksibilitas dan mendukung perangkat yang membutuhkan konektivitas berskala besar di masa mendatang. Teknologi ini memanfaatkan pita lebar seluler, realitas tertambah, dan realitas virtual. Teknologi 5G memberikan banyak manfaat seperti kecepatan yang belum pernah ada sebelumnya, keandalan, mendukung konektivitas di masa mendatang, dan sebagainya.

Teknologi 5G dilengkapi dengan arsitektur canggih dengan terminal dan elemen jaringan yang ditingkatkan. Teknologi ini juga memungkinkan penyedia layanan untuk mengadopsinya dengan teknologi canggih untuk memberikan layanan bernilai tambah kepada pelanggan mereka. Kemampuan untuk ditingkatkan bergantung pada teknologi radio kognitif dengan fitur-fiturnya seperti lokasi, suhu, dan cuaca. Transceiver terdiri dari teknologi radio kognitif untuk meningkatkan efisiensi pengoperasian. Teknologi ini juga dapat membedakan perubahan lingkungan yang halus di lokasinya dan memberikan respons untuk memastikan layanan berkualitas tinggi dan tanpa gangguan.

Seperti yang disajikan dalam Gambar 3.2, arsitektur 5G dirancang berdasarkan IP dan modelnya ditujukan untuk jaringan seluler dan nirkabel. Sistem 5G terdiri dari terminal

pengguna dan dikaitkan dengan banyak teknologi akses radio yang otonom dan independen. Setiap teknologi diperlakukan sebagai tautan IP di mata dunia Internet. Pendekatan berbasis IP adalah memiliki kontrol penuh dan perutean paket IP dalam berbagai skenario aplikasi yang melibatkan sesi melalui Internet antara server dan aplikasi klien. Pendekatan ini memberikan fleksibilitas kepada pengguna dalam membuat keputusan yang berkaitan dengan perutean paket.

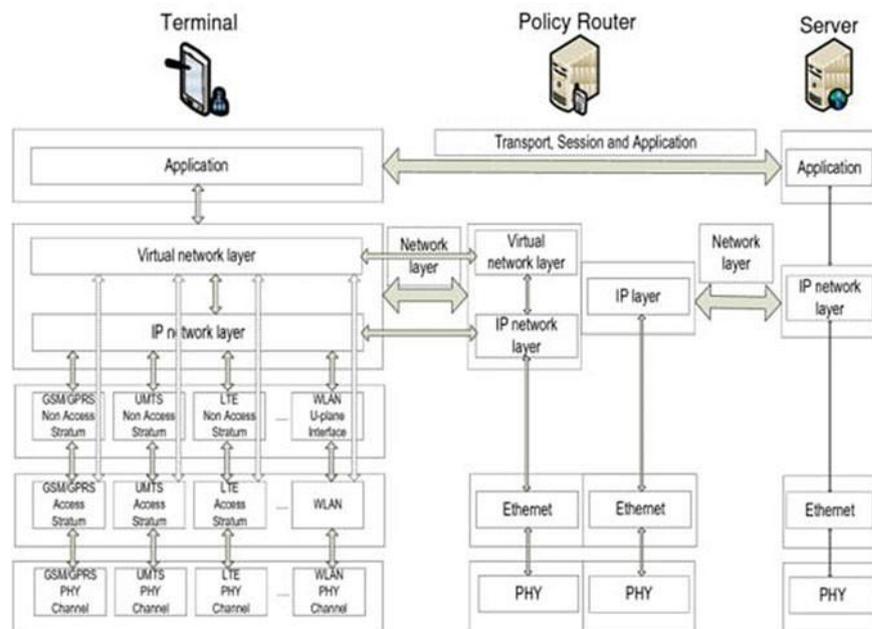


Gambar 3.2 Menunjukkan gambaran arsitektur 5G

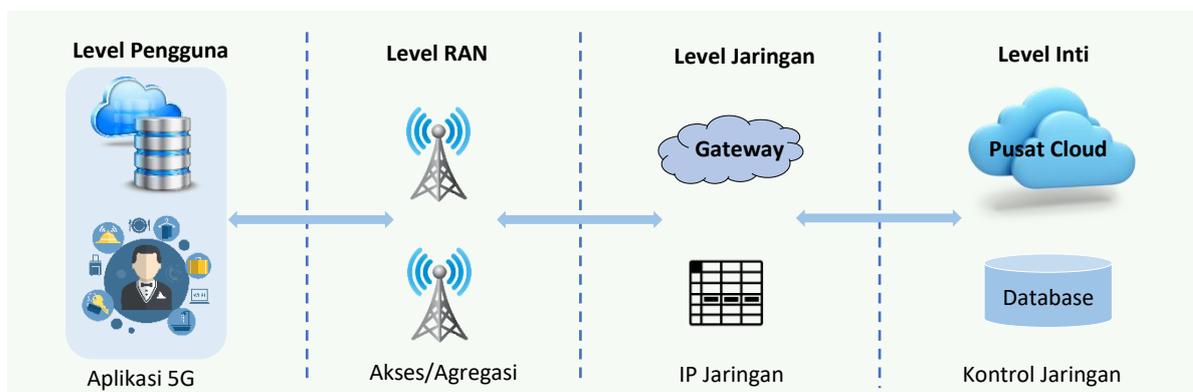
Seperti yang disajikan dalam Gambar 3.3, lapisan router kebijakan memfasilitasi komunikasi antara aplikasi dan server. Pendekatan ini menyediakan berbagai jenis komunikasi melalui model IP. Teknologi 5G memiliki inti utama untuk memiliki titik konvergensi yang fleksibel bagi teknologi lain. Seperti yang disajikan dalam Gambar 3.4, teknologi inti utama yang terkait dengan 5G telah menyediakan titik konvergensi untuk berbagai teknologi seperti router fotonik, transceiver sinar, dan nanoteknologi. Teknologi ini memiliki dukungan untuk pendekatan bersamaan yang mempertimbangkan mode jaringan 5G atau mode jaringan IP. Teknologi ini mampu mengendalikan teknologi dan mendukung penerapan berbasis 5G. Teknologi ini menawarkan lebih banyak fleksibilitas, efisiensi, daya, dan fenomena yang tidak terlalu rumit. Ada banyak peneliti yang mengusulkan berbagai arsitektur berdasarkan 5G. Misalnya, arsitektur Integrated Access and Backhaul (IAB) diusulkan dalam Ranjan et al. (2022) untuk memanfaatkan teknologi 5G. Arsitektur seluler 5G dibahas dalam Tudzarov dan Janevski (2011), sedangkan teknologi pendukung utama 5G dibahas dalam Idowu-Bismark et al. (2019).

Evolusi teknologi nirkabel termasuk 5G dieksplorasi dalam ikhtisar arsitektur teknologi 5G tahun 2015 karya Gupta dan Jha.

Arora et al. (2020) mengeksplorasi evolusi jaringan 5G dalam hal teknologi Internet of Things (IoT). Mereka membahas pentingnya jaringan 5G untuk memecahkan masalah IoT di bidang kecepatan dan konvergensi. Ghosh et al. (2019) juga berfokus pada evolusi teknologi 5G. Ini telah mencakup komunikasi peka waktu, akses terintegrasi, dan backhaul. Ahmad et al. (2020b) membahas evolusi IoT untuk menggunakan teknologi 5G. Mereka menemukan bahwa 5G membawa beberapa manfaat untuk kasus penggunaan IoT. Goyal et al. (2021) mengeksplorasi tentang arsitektur dan aspek-aspek yang mendasari jaringan 6G hijau. Arsh et al. (2021) mengeksplorasi persyaratan desain dan pengembangan lebih lanjut yang diperlukan untuk memiliki IoT yang memanfaatkan IoT. Chetri dan Bera (2019) mempelajari kemungkinan menggunakan 5G dalam kasus penggunaan IoT untuk meraup manfaatnya dalam hal kecepatan dan pemenuhan kebutuhan pengguna.



Gambar 3.3 Menunjukkan komunikasi antara aplikasi klien dan server

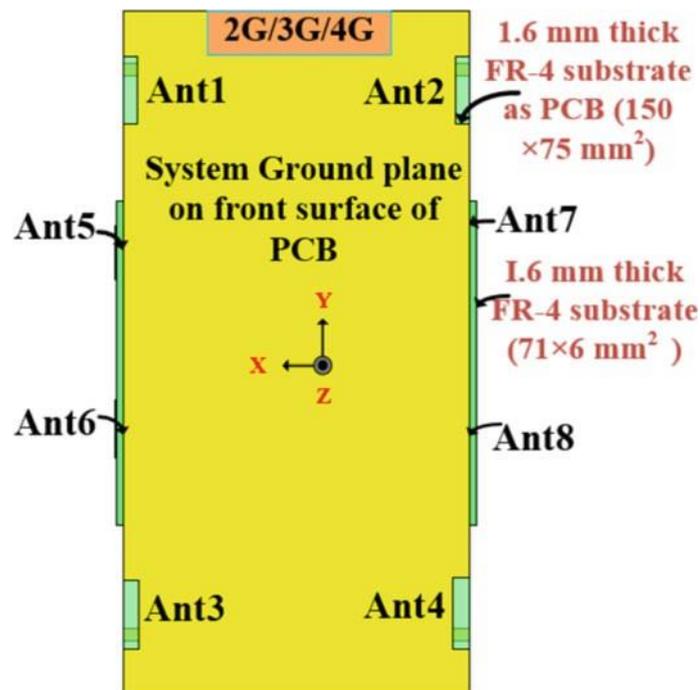


Gambar 3.4 Teknologi inti utama yang terkait dengan 5G

3.3 TEKNOLOGI MULTIPLE-INPUT MULTIPLE-OUTPUT DALAM 5G

Antena Array untuk MIMO dalam 5G

Dalam komunikasi dengan teknologi nirkabel, MIMO merupakan penyempurnaan dari model pendahulunya untuk meningkatkan efisiensi. MIMO memungkinkan konfigurasi yang mendukung penerimaan dan pengiriman beberapa sinyal secara bersamaan. Bahkan, ini adalah teknologi antena yang lebih baik dan cerdas yang memanfaatkan kinerja dalam komunikasi nirkabel. Teknologi ini cocok untuk teknologi 5G untuk meraup manfaatnya. Untuk terminal 5G, Abdullah dkk. (2019b) merancang beberapa antena untuk mewujudkan teknologi MIMO. Teknologi ini disajikan dalam Gambar 3.5. Teknologi ini dirancang untuk terminal seluler 5G yang dapat beroperasi pada 2,6/3,5 GHz. Antena tunggal digunakan dalam sistem komunikasi tradisional. Antena ini memiliki banyak masalah seperti halangan pada jalur propagasi. Masalah ini diatasi dengan teknologi MIMO dan dapat digunakan untuk memanfaatkan manfaat 5G. Teknologi MIMO memiliki banyak aplikasi seperti jaringan rumah, jaringan komunikasi seluler, jaringan area lokal nirkabel (WLAN), dan televisi digital (DTV). Lebih lanjut tentang penggunaan teknologi MIMO, kemungkinan masa depannya dapat ditemukan di Sharawi (2017). Untuk terminal seluler 5G, sistem MIMO dieksplorasi di Abdullah et al. 2019a.



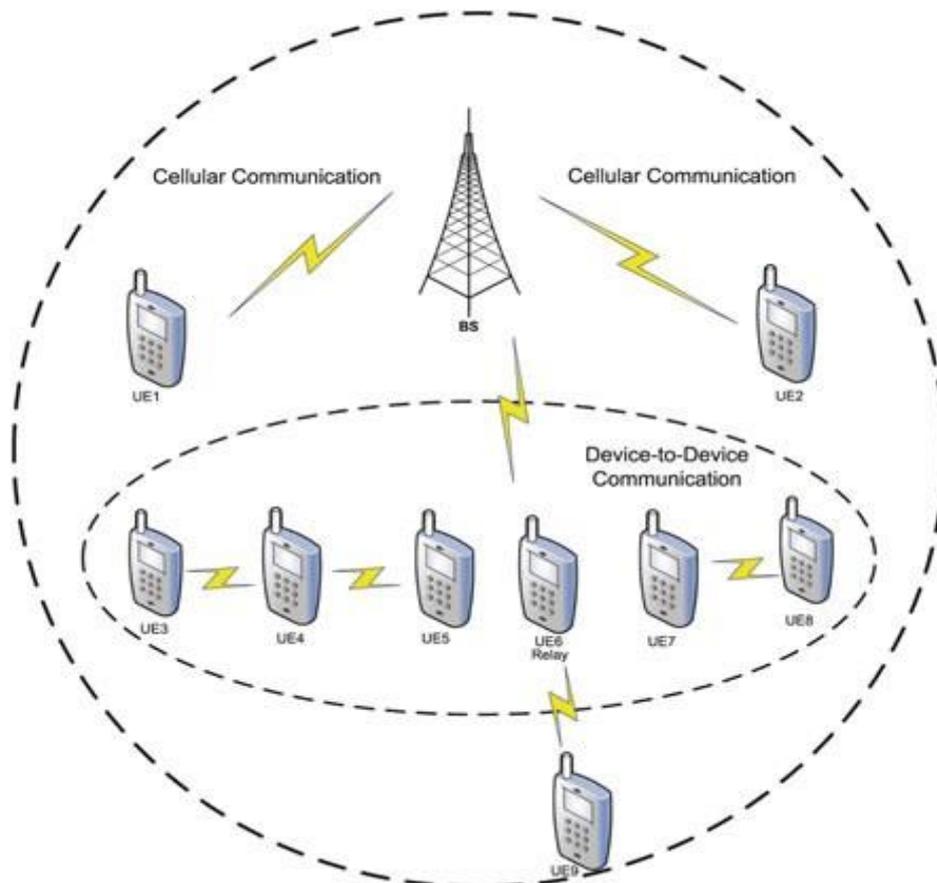
Gambar 3.5 Susunan antena untuk MIMO di 5G

Komunikasi Perangkat-ke-Perangkat dalam 5G

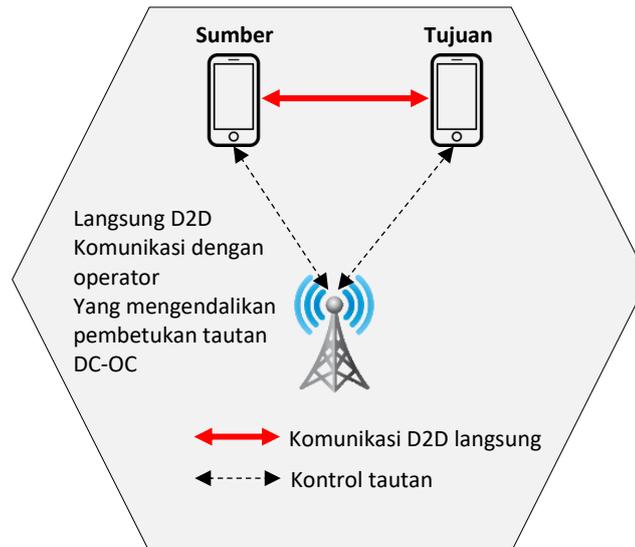
Komunikasi D2D mengacu pada komunikasi yang dilakukan secara langsung antara dua perangkat tanpa infrastruktur konvensional seperti titik akses. Ada teknologi seperti Wi-Fi Direct dan Bluetooth yang mendukung komunikasi D2D seperti yang dibahas dalam Shen (2015). Jaringan seluler tidak mendukung komunikasi langsung antarperangkat. Di antara berbagai kemungkinan dengan jaringan 5G, D2D merupakan salah satu jenis komunikasi yang

diharapkan. Dengan standar canggih Long-Term Evolution (LTE), D2D diharapkan dapat terwujud dalam jaringan seluler 5G. Dengan jaringan seluler 5G, teknologi mmWave menjadi populer. Dalam jaringan tersebut, D2D juga diharapkan. Teknologi ini dikenal dengan kehilangan propagasi yang tinggi dan panjang gelombang yang pendek serta ketidakmampuan untuk menembus benda padat. Kondisi ini memberikan kesesuaian untuk mewujudkan komunikasi D2D.

Seperti yang disajikan dalam Gambar 3.6, terdapat representasi visual yang menunjukkan pendekatan di mana komunikasi seluler dan komunikasi D2D berlangsung. Bagi penyedia layanan, komunikasi D2D belum dapat diterapkan. Namun, dengan munculnya 5G, topik D2D menjadi penting sekali lagi. Ada banyak kasus penggunaan D2D seperti layanan data lokal, perluasan jangkauan, dan komunikasi *Machine to Machine* (M2M). Sehubungan dengan penggunaan spektrum yang efisien, pengguna sekunder yang terkait dengan Cognitive Radio Network (CRN) dapat memanfaatkan komunikasi D2D yang berpotensi menghilangkan interferensi bagi pengguna utama spektrum. D2D juga diharapkan dapat melengkapi jaringan yang mendukung MIMO dan HetNet dengan kecepatan data dan efisiensi yang tinggi. Ada kemungkinan ketahanan terhadap gangguan dan peningkatan kemampuan sistem dengan teknologi MIMO dan D2D. Kapasitas sistem ditingkatkan secara signifikan dengan D2D dengan perangkat MIMO.



Gambar 3.6 Mengilustrasikan komunikasi antar perangkat



Gambar 3.7 Gambaran Umum Komunikasi D2D

Seperti yang disajikan dalam Gambar 3.7, ada komunikasi langsung antara dua perangkat seluler. Hal ini dimungkinkan dengan "pembentukan tautan yang dikendalikan operator." Dalam komunikasi D2D semacam ini, kedua perangkat dapat bertukar informasi tanpa melibatkan stasiun pangkalan. Namun, mereka harus didukung oleh operator agar tautan dapat terbentuk. Sebagaimana dibahas dalam Adnan dan Ahmad Zukarnain (2020), terdapat banyak tantangan yang terkait dengan komunikasi D2D. Tantangan tersebut meliputi pemilihan, mode, kontrol, daya, keamanan, privasi, manajemen, interferensi, penemuan, dan perangkat.

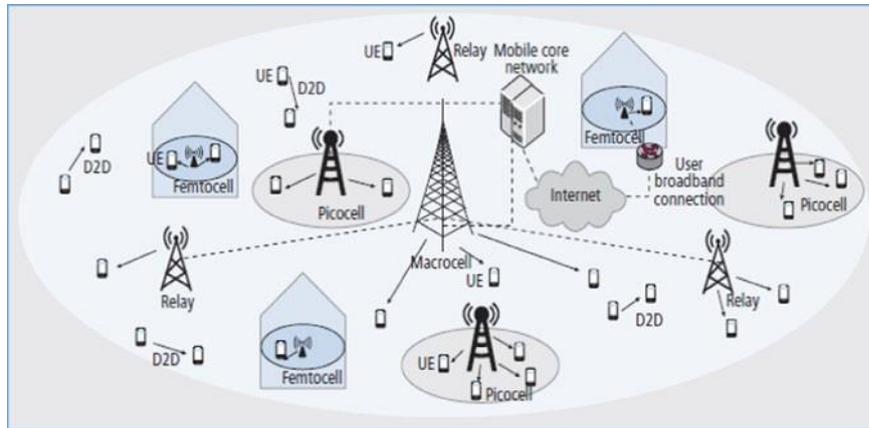
3.4 MANAJEMEN INTERFERENSI UNTUK 5G

Arsitektur 5G Multi-tier

Interferensi merupakan salah satu masalah dalam teknologi 4G. Karena kepadatan dalam penyebaran sel, hal itu menyebabkan interferensi. Khususnya interferensi co-channel merupakan masalah utama dengan jaringan seluler tradisional. Seperti yang dibahas dalam Nam et al. (2014) manajemen interferensi dapat dilakukan dengan banyak teknik seperti penerima canggih dan penjadwalan bersama. Mereka mengusulkan dua jenis teknik manajemen interferensi dengan 5G. Mereka dikategorikan menjadi manajemen interferensi sisi UE dan sisi jaringan. Dalam Hossain et al. (2014), berpendapat bahwa arsitektur multi-tier 5G memiliki mekanisme untuk memiliki manajemen interferensi tingkat lanjut. 5G juga mempromosikan komunikasi D2D, Kualitas Layanan (QoS), dan efisiensi energi dalam penggunaan spektrum. Hal itu dimungkinkan dengan arsitektur multi-tier teknologi 5G seperti yang disajikan dalam Gambar 3.8.

Teknologi 5G dengan arsitektur multi-tier-nya memungkinkan prioritas berbasis tier dan berbasis lalu lintas. Ia memiliki ketentuan untuk efisiensi energi, latensi, dan keandalan. Ia juga meminimalkan gangguan dalam sistem. Ada beberapa tantangan utama yang terkait dengan manajemen gangguan. Tantangan tersebut meliputi heterogenitas, penyeimbangan beban dan jangkauan lalu lintas, pembatasan penggunaan publik dan pribadi, dan manajemen

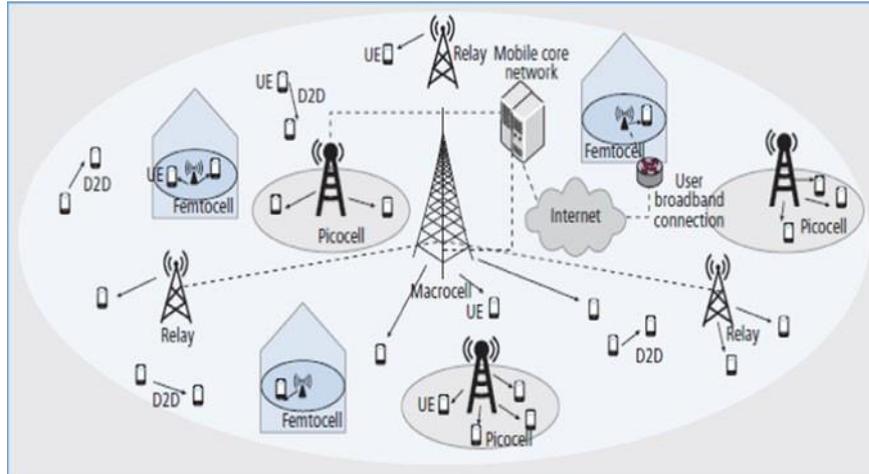
prioritas. Manajemen gangguan dalam 5G dieksplorasi dengan model dan analisis sistem yang dapat ditemukan di Sanguinetti et al. (2015).



Gambar 3.8 Arsitektur 5G multi-tier

Interferensi merupakan salah satu masalah dalam teknologi 4G. Karena kepadatan dalam penyebaran sel, hal itu menyebabkan interferensi. Khususnya interferensi co-channel merupakan masalah utama dengan jaringan seluler tradisional. Seperti yang dibahas dalam Nam et al. (2014) manajemen interferensi dapat dilakukan dengan banyak teknik seperti penerima canggih dan penjadwalan bersama. Mereka mengusulkan dua jenis teknik manajemen interferensi dengan 5G. Mereka dikategorikan menjadi manajemen interferensi sisi UE dan sisi jaringan. Dalam Hossain et al. (2014), berpendapat bahwa arsitektur multi-tier 5G memiliki mekanisme untuk memiliki manajemen interferensi tingkat lanjut. 5G juga mempromosikan komunikasi D2D, Kualitas Layanan (QoS), dan efisiensi energi dalam penggunaan spektrum. Hal itu dimungkinkan dengan arsitektur multi-tier teknologi 5G seperti yang disajikan dalam Gambar 3.8.

Teknologi 5G dengan arsitektur multi-tier-nya memungkinkan prioritas berbasis tier dan berbasis lalu lintas. Ia memiliki ketentuan untuk efisiensi energi, latensi, dan keandalan. Ia juga meminimalkan gangguan dalam sistem. Ada beberapa tantangan utama yang terkait dengan manajemen gangguan. Tantangan tersebut meliputi heterogenitas, penyeimbangan beban dan jangkauan lalu lintas, pembatasan penggunaan publik dan pribadi, dan manajemen prioritas. Manajemen gangguan dalam 5G dieksplorasi dengan model dan analisis sistem yang dapat ditemukan di Sanguinetti et al. (2015).



Gambar 3.8 Arsitektur 5G multi-tier

Berbagi Spektrum dengan Radio Kognitif dalam 5G

Berbagi spektrum merupakan aspek penting dari komunikasi nirkabel. Terkait CRN, ada pengguna seperti pengguna primer dan pengguna sekunder. Penggunaan jaringan nirkabel meningkat pesat karena berbagai kelebihan dan kemudahannya. Namun, desain sistem komunikasi nirkabel menantang karena perlu mempertimbangkan banyak faktor seperti efisiensi penggunaan spektrum, Kualitas Layanan (QoS) yang tinggi, kapasitas saluran yang lebih besar, dan kecepatan data yang lebih tinggi untuk memenuhi persyaratan pengguna nirkabel. Radio Kognitif (CR) merupakan inovasi teknologi yang membuat komunikasi nirkabel lebih fleksibel. Teknologi ini memungkinkan pengguna untuk mengubah parameter transmisi dan penerimaan tanpa menyebabkan gangguan pada pengguna primer dan sekunder untuk mencapai kinerja yang lebih efisien dalam komunikasi nirkabel.

Ada dua jenis pengguna yang dikenal sebagai Pengguna Primer (PU) dan Pengguna Sekunder (SU) berdasarkan prioritas dalam spektrum frekuensi radio yang ditetapkan. Berdasarkan kebijakan tertentu, kedua pengguna dapat hidup berdampingan dalam sistem. Pengguna berlisensi dari pita tersebut dikenal sebagai PU. Dan PU dapat mendistribusikannya ke SU sedemikian rupa sehingga SU menggunakan spektrum tanpa menyebabkan interferensi berbahaya pada PU baik dalam pendekatan underlay maupun overlay. Penginderaan spektrum merupakan fungsi penting dari sistem CR dalam mode overlay. Hal ini dimaksudkan untuk menemukan keberadaan PU dalam pita frekuensi yang diberikan. Penginderaan spektrum kooperatif (CSS) adalah "solusi untuk meningkatkan kinerja deteksi, di mana pengguna sekunder berkolaborasi satu sama lain untuk merasakan spektrum guna menemukan lubang spektrum." Dengan teknologi 5G, berbagi spektrum telah meningkatkan kemungkinan saat melayani berbagai jaringan yang memungkinkan. Konsep berbagi spektrum dinamis dibahas secara menyeluruh dalam Ahmad et al. (2020a), sementara bagaimana berbagi spektrum penuh terjadi dengan berbagai pendekatan ditemukan dalam Feng dan Bing (2016). Dalam Briones-Reyes et al. (2020), proses Markov dibahas secara terperinci untuk memiliki berbagi spektrum secara efisien untuk sistem 5G dengan model matematika.

3.5 JARINGAN ULTRA-PADAT DALAM ASOSIASI TEKNOLOGI AKSES MULTI-RADIO

Jaringan Ultra-padat (UDN) adalah jaringan yang memiliki lebih banyak sel daripada pengguna. Jaringan semacam itu ditemukan berguna untuk menangani lalu lintas data yang eksplosif dalam jaringan 5G di masa mendatang.

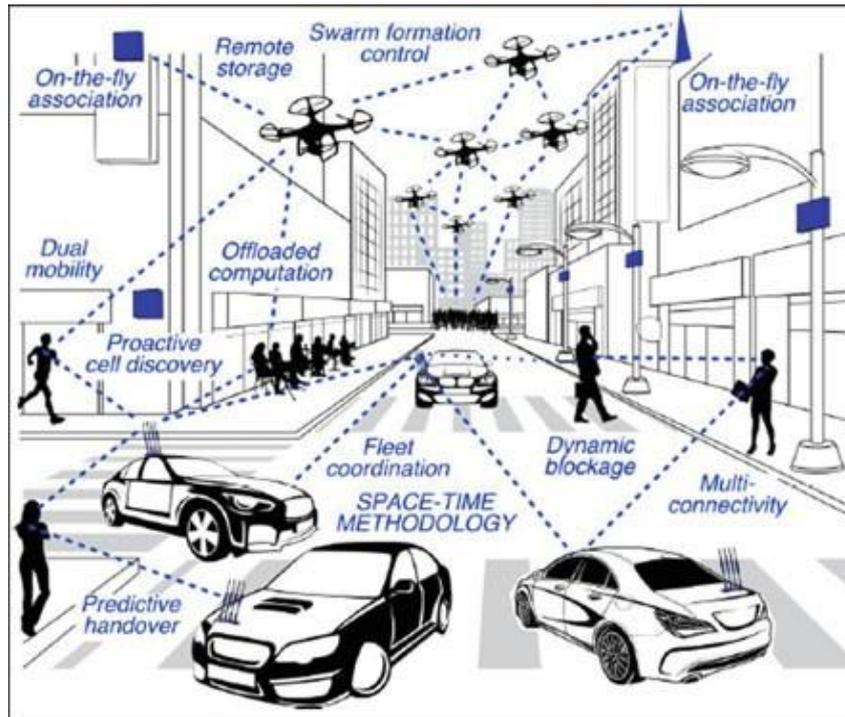
Sel Bergerak UDN dengan Jaringan 5G+

Jaringan ini memiliki sel heterogen yang bahkan dapat bergerak dalam lingkungan 5G. Alih-alih RAN statis, dimungkinkan untuk memiliki RAN yang dinamis dan bergerak di masa mendatang dengan munculnya teknologi 5G. Konsep ini dieksplorasi dengan berbagai kemungkinan di dunia di luar kemampuan 5G dalam Andreev et al. (2019).

Gambar 3.9 mengilustrasikan kemungkinan jaringan ultra-padat bergerak dengan desain 5G+. Ada berbagai kemungkinan yang belum pernah terjadi sebelumnya dengan sel bergerak UDN dengan jaringan 5G. Kemungkinannya meliputi serah terima prediktif, multi-konektivitas, pemblokiran dinamis, koordinasi armada, kontrol formasi gerombolan, asosiasi on-the-fly, metodologi ruang-waktu, penemuan sel proaktif, mobilitas ganda, pembongkaran komputasi, dan asosiasi dinamis. Seperti yang dibahas dalam Habbal et al. (2015), ada kemungkinan untuk memiliki pilihan teknologi akses radio yang sadar konteks ketika jaringan 5G digunakan dengan UDN. Mereka berpendapat bahwa densifikasi ekstrem telah meningkatkan kemampuan dengan teknologi 5G.

Teknologi Cloud untuk 5G

Komputasi cloud telah memungkinkan banyak layanan yang dapat diberikan sesuai permintaan. Dengan munculnya teknologi 5G, dimungkinkan untuk memiliki layanan terkait. Seperti yang dieksplorasi dalam Sabella et al. (2015), dimungkinkan untuk memiliki teknologi cloud yang memberikan manfaat yang terkait dengan 5G. Mereka mengusulkan arsitektur yang dikenal sebagai Cloud-RAN yang menyediakan layanan RAN dengan cara bayar per penggunaan. Dengan kata lain, mereka mengusulkan layanan baru yang dikenal sebagai *RAN as a Service* (RANaaS) yang terdiri dari infrastruktur berbasis cloud yang diperlukan untuk memberikan layanan RAN. Infrastruktur virtualisasi yang diusulkan dikaitkan dengan layanan RAN. Demikian pula, dalam Rost et al. (2014), teknologi cloud dimanfaatkan untuk mendukung fleksibilitas dalam RAN 5G. Penyediaan layanan RAN disediakan melalui penawaran cloud berdasarkan kebutuhan runtime sistem. Layanan RAN terpusat dan fungsionalitas perangkat lunak yang sesuai disediakan. Seperti yang dibahas dalam Al-Falahy dan Alani (2017), layanan terkait teknologi 5G dapat diberikan dengan layanan cloud. Berbagai teknologi enabler 5G yang disebutkan di atas dapat digunakan di cloud untuk menyediakan layanan yang dapat diskalakan, sesuai permintaan, dan transparan lokasi.

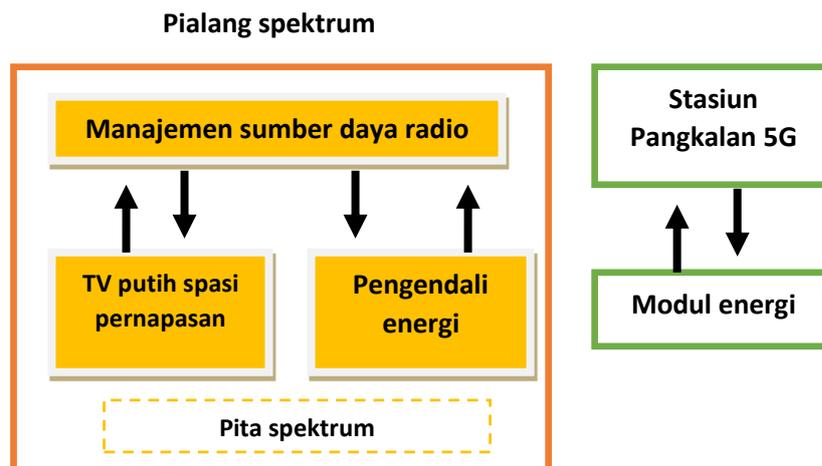


Gambar 3.9 Sel bergerak UDN dengan jaringan 5G+

3.6 METODOLOGI DESAIN

Bagian ini menyediakan metodologi untuk desain skema kooperatif hemat energi yang sadar penundaan untuk 5G. Skema yang diusulkan hemat energi dan sadar penundaan yang digunakan untuk memastikan bahwa penggunaan teknologi 5G dilakukan dengan efisiensi energi. Skema yang diusulkan dibangun berdasarkan arsitektur yang ditunjukkan pada Gambar 3.10. Skema ini memiliki komponen penting yang dikenal sebagai broker spektrum. Broker spektrum bertanggung jawab untuk memanfaatkan *TV White Spaces* (TVWS) dengan mengelola proses yang terkait dengan konsumsi energi. TVWS terdiri dari spektrum yang tersedia untuk mendukung desain sistem hemat energi. Metodologi yang diusulkan bekerja berdasarkan penundaan antrean.

Seperti yang disajikan dalam Gambar 3.10, metodologi yang diusulkan memiliki broker spektrum yang menangani efisiensi energi dengan mengoordinasikan komponen lainnya. Konsep penundaan antrean dipertimbangkan saat mengusulkan skema untuk komunikasi yang sensitif terhadap penundaan dengan efisiensi energi. Broker spektrum memiliki mekanisme untuk mencapainya. Broker berkoordinasi dengan modul energi untuk memastikan komunikasi yang hemat energi. Studi simulasi dengan skema yang diusulkan menunjukkan efisiensi energi dari skema yang diusulkan jika dibandingkan dengan keadaan terkini.



Gambar 3.10 Metodologi skema yang diusulkan

Pita Spektrum

Teknologi 5G menawarkan pita spektrum yang beragam yang memenuhi berbagai persyaratan. Misalnya, spektrum pita rendah dengan kurang dari 1 GHz diinginkan oleh banyak pelanggan karena dapat memberikan latensi secara bertahap.

Stasiun Pangkalan 5G

Stasiun pangkalan 5G adalah perangkat yang sangat kuat yang dapat membantu mendukung latensi dan juga konektivitas di luar standar yang ada.

Modul Energi

Modul energi bertanggung jawab untuk membantu pengontrol energi guna mencapai pendekatan hemat energi dengan teknologi 5G.

Pengontrol Energi

Pengontrol energi bekerja bersama-sama dengan modul energi dan modul manajemen sumber daya radio untuk mencapai efisiensi energi.

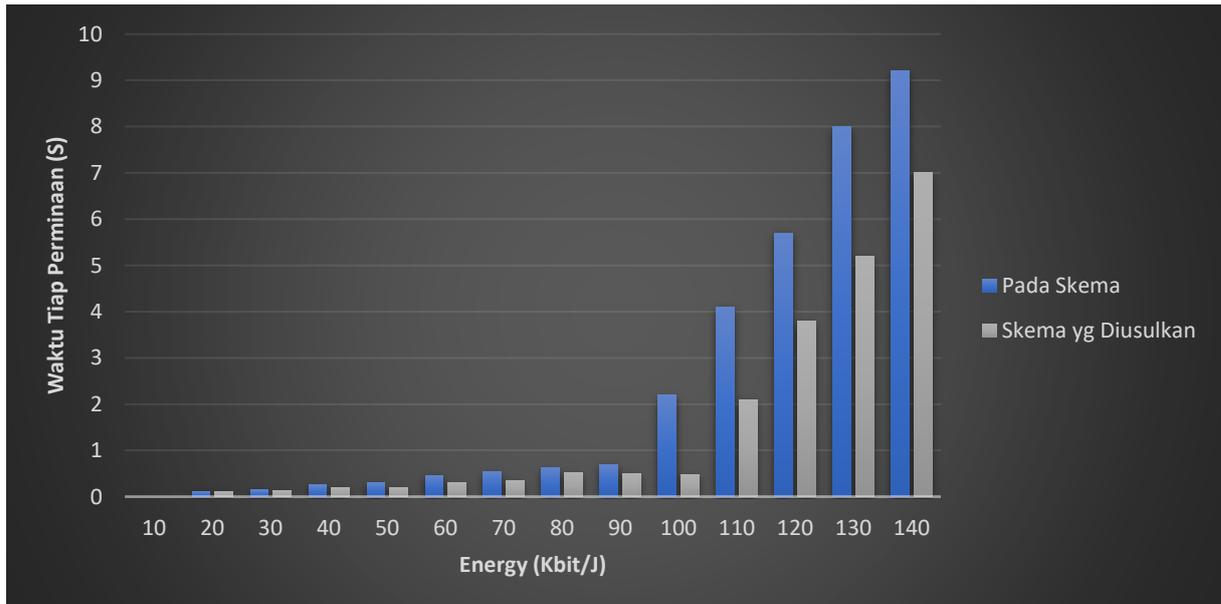
Algoritma 1 Pseudocode dari skema yang diusulkan:

- 1) Mulai
- 2) Tetapkan stasiun pangkalan 5G
- 3) Aktifkan manajemen sumber daya radio
- 4) While(true)
- 5) Untuk setiap ruang dalam repositori ruang putih tv
- 6) Hitung konsumsi energi dan penundaan
- 7) Simpan ke peta
- 8) Akhiri Selama
- 9) Temukan ruang hemat energi dengan penundaan paling sedikit
- 10) Beri tahu pengontrol energi
- 11) Pengontrol energi membantu modul energi
- 12) Modul energi membantu stasiun pangkalan
- 13) Hasil dalam efisiensi energi
- 14) Akhiri saat

15) Akhiri

Skema yang diusulkan bersifat peka terhadap penundaan dan hemat energi. Skema ini terus memantau TVWS untuk memperoleh peluang guna membantu stasiun pangkalan 5G agar memiliki fungsionalitas hemat energi.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11, efisiensi energi sistem yang diusulkan dibandingkan dengan skema Mekikis et al. (2014). Skema yang diusulkan terbukti hemat energi.



Gambar 3.11 Perbandingan kinerja dalam hal efisiensi energi

Tantangan dan Arah Penelitian Masa Depan

Eksplorasi sumber daya spektrum dalam 5G memiliki kelebihan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya dengan lebih baik. Meskipun teknologi 5G terbukti menjadi pengubah permainan, teknologi ini memiliki tantangan tertentu yang harus dipahami dan diatasi. Tantangan pertama adalah memiliki infrastruktur atau pengembangan jaringan 5G yang membutuhkan teknologi sel kecil untuk meningkatkan kapasitas jaringan. Tantangan kedua adalah biaya yang terlibat dalam infrastruktur 5G. Biaya sel mikro lebih mahal dan biaya tersebut akan berperan dalam menghambat adopsinya. Masalah ketiga adalah teknologi 5G memiliki masalah dengan backhaul dan koordinasi dengan teknologi seluler saat ini. Masalah keempat adalah adanya tantangan terkait penyediaan bandwidth yang diperlukan dengan spektrum gelombang di hadapan pepohonan, bangunan, dan objek lain yang bertindak sebagai penghalang. Tantangan kelima adalah 5G memiliki tantangan keamanan tertentu dalam hal kerentanan dalam infrastruktur yang ada dan infrastruktur baru. Dengan adanya tantangan-tantangan ini, penting untuk melakukan penelitian lebih lanjut guna memperoleh cara dan sarana untuk menangani tantangan-tantangan ini.

Kesimpulan

Bab ini berfokus pada berbagai aspek teknologi 5G dan dampaknya pada berbagai teknologi komunikasi. Bab ini menyajikan arsitektur teknologi 5G, mekanisme yang

mendasarinya, dukungan untuk komunikasi D2D, peningkatan MIMO, manajemen interferensi tingkat lanjut, peningkatan utilitas jaringan ultra-padat, pembagian spektrum, dan teknologi cloud yang terkait dengan jaringan 5G. Bab ini juga mengusulkan metodologi dengan broker spektrum dengan komponen-komponen yang mendasarinya dengan pendekatan yang sadar-penundaan dan hemat energi untuk memanfaatkan stasiun pangkalan 5G yang mengarah pada pengurangan konsumsi energi. Konsep penundaan antrean dipertimbangkan saat mengusulkan skema untuk komunikasi yang sensitif-penundaan dengan efisiensi energi. Broker spektrum memiliki mekanisme untuk mencapai hal ini. Studi simulasi dengan skema yang diusulkan menunjukkan efisiensi energi dari skema yang diusulkan jika dibandingkan dengan keadaan terkini.

BAB 4

ALGORITMA OPTIMASI BACKHAUL NIRKABEL DALAM 5G

4.1 PENDAHULUAN

Pendekatan optimasi backhaul nirkabel menggunakan delay jitter disarankan untuk menangani masalah backhaul nirkabel untuk situasi heterogen dinamis 5G. Pertama, masalah delay dan delay jitter dalam situasi heterogen dinamis 5G dievaluasi dengan cermat, indikator optimasi ditetapkan, dan model backhaul fundamental dibangun lebih lanjut. Kemudian, dengan mempertimbangkan kebutuhan tindakan optimasi, sertakan kendala delay untuk membuat model 1 yang lebih baik; periksa kelebihan beban jaringan, kendurkan variabel alokasi nomor saluran untuk membangun model 2 yang lebih baik, dan sajikan metode hierarki yang cocok untuk solusi cepat. Hasil simulasi mengungkapkan bahwa pendekatan yang disarankan telah meningkatkan kinerja delay jitter dibandingkan dengan tiga jenis algoritma optimasi backhaul nirkabel saat ini.

Dengan pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta peningkatan standar hidup masyarakat secara terus-menerus, berbagai jenis perangkat terminal seluler dan layanan internet seluler digunakan secara luas. Diperkirakan pada tahun 2030, jumlah terminal seluler akan mendekati 100 miliar, dan lalu lintas layanan seluler akan meningkat hampir 20.000 kali lipat. Akan sulit bagi sistem komunikasi yang ada untuk memenuhi persyaratan akses terminal dan layanan yang sangat besar di masa mendatang. Mengingat hal ini, sistem komunikasi seluler generasi kelima (5G) muncul seiring dengan perkembangan zaman. Di sisi lain, dengan munculnya berbagai layanan multimedia interaktif secara bertahap (seperti konferensi video dan permainan daring, dll.), penundaan dan jitter penundaan semakin menjadi indikator QoS yang paling penting, dan menjadi kunci pengalaman layanan pengguna. Penelitian saat ini terutama berfokus pada analisis karakteristik penundaan paket data, dan terdapat relatif sedikit penelitian tentang jitter penundaan. Oleh karena itu, sangat penting untuk mempelajari jitter penundaan untuk lingkungan 5G.

Kontrol penundaan layanan dan jitter penundaan terutama diimplementasikan pada lapisan tautan jaringan dengan paket sebagai granularitas, dan penjadwalan penerusan dan manajemen antrean paket data dilakukan melalui node jaringan. Saat ini, hasil dari mempelajari kinerja jitter penundaan dengan paket sebagai granularitas masih jarang. Referensi telah mengeksplorasi karakteristik jitter penundaan jaringan. Perlu dicatat bahwa sebagian besar literatur tentang penelitian delay jitter didasarkan pada sistem titik tunggal, seperti hanya mempelajari delay jitter jaringan akses nirkabel atau jaringan inti kabel. Namun, jaringan 5G harus menjadi jaringan heterogen yang kompleks dan beragam, dan jaringan backhaul merupakan bagian penting. Pertimbangan terpadu dari jaringan akses dan jaringan backhaul dapat lebih benar-benar menggambarkan jaringan 5G masa depan. Oleh karena itu, dalam penilaian masalah yang ada, buku ini menyarankan algoritma alokasi sumber daya saluran yang optimal dengan delay jitter sebagai indeks optimasi untuk skenario backhaul hibrida 5G. Dengan mempertimbangkan karakteristik dinamis saluran, masalah delay jitter

dianalisis secara komprehensif, indeks delay jitter diperoleh, dan kemudian berbagai model optimasi backhaul dibangun. Terakhir, algoritma hierarki digunakan untuk menyelesaikan masalah dengan cepat.

Sisa bab ini disusun sebagai berikut: bagian “Skenario Jaringan dan Asumsi Sistem” mencakup skenario jaringan 5G, bagian “Analisis Indikator Jitter Penundaan” mencakup analisis indikator jitter penundaan, bagian “Penetapan Model Optimasi” mencakup deskripsi model yang diusulkan, bagian “Solusi Model yang Disempurnakan” mencakup model yang disempurnakan, bagian “Analisis Simulasi” mencakup detail simulasi dan analisis hasil, dan terakhir, bagian “Kesimpulan” mencakup kesimpulan dan pekerjaan mendatang.

4.2 SKENARIO JARINGAN DAN ASUMSI SISTEM

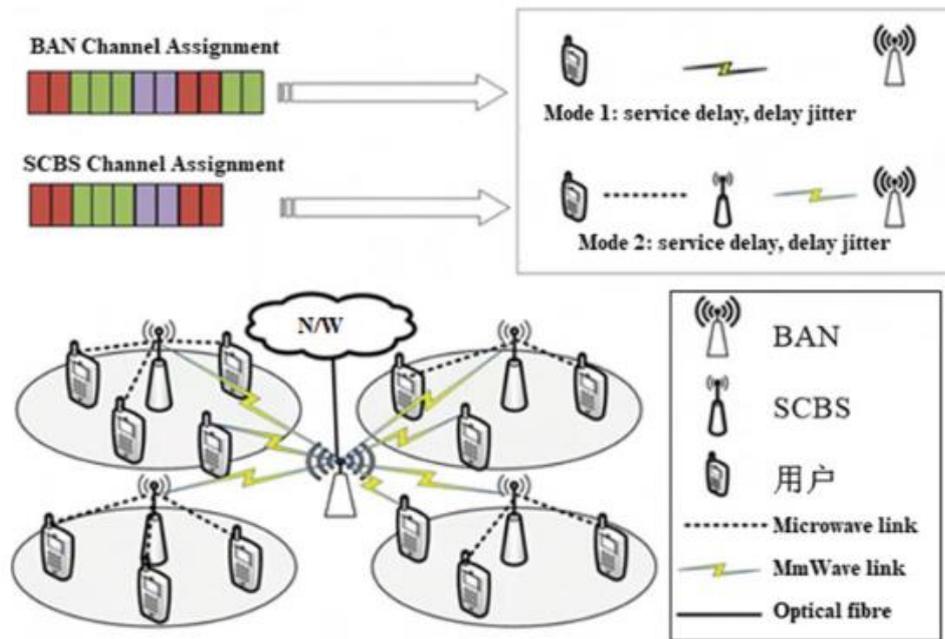
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1, untuk skenario jaringan heterogen dua lapis, lapisan atas adalah *Node Agregator Backhaul* (BAN). Lapisan bawah adalah beberapa stasiun pangkalan sel kecil (SCBS) yang dicakup oleh BAN. Serat optik khusus menghubungkan BAN ke seluruh jaringan, dan gelombang milimeter digunakan untuk komunikasi dengan SCBS atau pelanggan akhir.

Sementara SCBS menggunakan pita frekuensi di bawah 6 GHz untuk berkomunikasi dengan pengguna, di sini, BAN menggabungkan fungsi agregator dan akses stasiun pangkalan. Mempertimbangkan skenario backhaul hibrida, ada dua metode backhaul yang dapat dipilih: yang pertama, pengguna dapat terhubung ke BAN melalui koneksi nirkabel satu hop, dan BAN akan menangani cadangan melalui kabel Ethernet; yang kedua, pengguna dapat mengakses SCBS tempat ia menjadi bagiannya, dan kemudian menjadi miliknya.

SCBS mengakses BAN dan jaringan inti melalui tautan nirkabel dua hop.

Tentukan himpunan SCBS $SC = \{C_1, C_2, \dots, C_1, \dots, C_L\}$, tentukan himpunan pengguna yang dicakup oleh sel C_1 sebagai $UE_1 = \{UE_{11}, UE_{12}, \dots, UE_{1n}, \dots, UE_{1N_1}\}$, di mana UE_{1n} mewakili pengguna ke- n , N_1 adalah jumlah pengguna di sel C_1 . Diasumsikan bahwa semua SCBSs memiliki saluran yang sama. Sekarang, cakupan seluruh jaringan yang mulus tidak terputus-putus, yaitu, $UE_i \cap UE_j = \emptyset$ ($i \neq j$). Oleh karena itu, himpunan pengguna adalah $UE = \{UE_1, UE_2, \dots, UE_1, \dots, UE_L\}$, maka jumlah pengguna $N = \sum_{l=1}^L N_l$.

Vektor pemilihan akses didefinisikan sebagai



Gambar 4.1 Skenario jaringan heterogen dua lapis 5G

$$A = \{a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1N_2}, a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2N_2}, \dots, a_{L1}, a_{L2}, \dots, a_{LN_L}\}$$

Di antara mereka, $a_{1n} = 1$ ($n \leq N_1$) berarti bahwa pengguna n di sel C_1 mengakses BAN, dan BAN melakukan backhaul; $a_{1n} = 0$ ($n \leq N_1$) berarti bahwa pengguna n di sel C_1 mengakses C_1 , dan C_1 melakukan backhaul.

Matriks alokasi saluran yang mendefinisikan SCBS adalah

$$B = \begin{bmatrix} b_{11,1} & b_{11,2} & \dots & b_{11,M_1} \\ b_{12,1} & b_{12,2} & \dots & b_{12,M_1} \\ & & \ddots & b_{1n,m} \dots \\ b_{1N_1,1} & b_{1N_1,2} & \dots & b_{1N_1,M_1} \\ b_{21,1} & b_{21,2} & \dots & b_{21,M_1} \\ b_{22,1} & b_{22,2} & \dots & b_{22,M_1} \\ & & \ddots & \dots \\ b_{1N_2,1} & b_{2N_2,2} & \dots & b_{2N_2,M_1} \\ & & \ddots & \dots \\ b_{LN_L,1} & b_{LN_L,2} & \dots & b_{LN_L,M_1} \end{bmatrix}$$

Di antara mereka, $b_{ln,m} = 1$ menunjukkan bahwa lebar pita W_m dialokasikan kepada pengguna UE_{ln} , dan $b_{ln,m} = 0$ menunjukkan bahwa lebar pita tersebut tidak diberikan. Di sini, $W = W_1, W_2, \dots, W_{M_1}$ menunjukkan vektor saluran yang dapat dialokasikan SCBS, dan M_1 adalah jumlah total saluran SCBS.

Vektor distribusi saluran BAN didefinisikan seperti di bawah ini, di mana M_2 adalah jumlah total saluran dalam BAN

$$C = \{c_{11}, c_{12}, \dots, c_{1N_1}, \dots, a_{11}, a_{12}, \dots, c_{ln}, \dots, c_{lN_l}, \dots, c_{L1}, c_{L2}, \dots, c_{LN_L}\}$$

Jumlah saluran BAN yang ditetapkan ke UE_{ln} dilambangkan dengan c_{ln} dan $c_{ln} \in \{0, 1, \dots, N\}$. Penting untuk diingat bahwa pengguna memerlukan sejumlah kapasitas BAN, baik mereka menggunakan backhaul BAN atau backhaul SCBS. c_{ln} menampilkan jumlah saluran yang ditetapkan ke tautan BAN CI dalam rute BAN UE_{ln} CI untuk transmisi paket UE_{ln} jika a_{ln} ditetapkan ke 1; jika tidak, c_{ln} menampilkan jumlah saluran yang ditetapkan ke tautan BAN UE_{ln} untuk transmisi paket data UE_{ln} jika a_{ln} ditetapkan ke 0.

Metode permasalahan ini didasarkan pada prinsip-prinsip berikut:

- (1) Dengan asumsi bahwa saluran tersebut terpisah, BAN dapat menetapkan trek yang berbeda ke SCBS mana pun atau pengguna tertentu. SCBS juga dapat menetapkan jumlah media lain ke pengguna tertentu.
- (2) Untuk skenario transmisi uplink layanan, pelajari indeks jitter tunda berdasarkan granularitas paket.
- (3) Untuk menyederhanakan analisis interferensi, kami akan menganggap bahwa saluran BAN dan SCBS memiliki total lebar pita yang sama, dan total lebar pita BAN harus lebih besar daripada total lebar pita SCBS.
- (4) Jika laju transmisi tautan lebih tinggi daripada kapasitas salurannya, maka akan terjadi kehilangan paket nirkabel; setiap SCBS memiliki buffer tunggu tak terbatas untuk mencegah akumulasi kehilangan paket (atau kepadatan berlebih); dan jika tautan mengalami kehilangan paket, mekanisme transmisi akan melanjutkan untuk mengirimkan paket lagi.

4.3 ANALISIS INDIKATOR JITTER PENUNDAAN

Dalam lingkungan komunikasi nirkabel, jitter penundaan adalah kuantitas fisik yang mengukur perubahan penundaan yang dialami oleh paket data selama transmisi jaringan jitter penundaan paket. Oleh karena itu, untuk menganalisis masalah jitter penundaan, perlu untuk memeriksa masalah penundaan terlebih dahulu. Penundaan propagasi dan penundaan transmisi adalah komponen penundaan tautan. Penundaan propagasi dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk jarak yang harus ditempuh sinyal dan kecepatan gelombang elektromagnetik (yaitu, kecepatan cahaya). Karena jarak tempuh sinyal 5G yang pendek, penundaan transmisi dapat diabaikan. Namun, transfer fragmen data menyebabkan

penundaan, yang dikenal sebagai penundaan transmisi. Oleh karena itu, analisis sistem penundaan layanan dan jitter penundaan dianalisis secara terpisah di bawah ini.

Analisis Penundaan

Dalam skenario ini, ada tiga jenis tautan nirkabel untuk UEIn: tautan I1 untuk UEIn mengakses BAN, tautan untuk UEIn mengakses SCI I2, dan tautan untuk SCI mengakses BAN yang sesuai I3. Semua saluran tautan diasumsikan mengalami pemudaran Rayleigh skala kecil. Untuk tautan I1 dan I3, karena jalur yang sama tidak dialokasikan berulang kali In In dalam BAN, tidak ada interferensi dalam BAN;

Keduanya menggunakan komunikasi gelombang milimeter, dan jarak antara BAN relatif panjang. Analisis di atas menunjukkan rasio derau sinyal terhadap interferensi tautan li sebagai SINRi. Jika $SINRi \geq SINRth$, transmisi dianggap berhasil, In In In dan laju kesalahan bit BERi tautan li dihitung.

Pengodean koreksi kesalahan saluran dikaitkan dengan laju kehilangan data. Diyakini bahwa kapasitas semua paket adalah PL ($PL \geq 3$). Menurut laporan ini, paket data memiliki tiga kesalahan, atau bit, dan kotak tersebut dianggap hilang. Jika ada paket yang hilang dan data harus diterbitkan ulang, tingkat kehilangan paket adalah

$$PER_{ln}^i = 1 - (1 - BER_{ln}^i)^{PL} - C_{PL}^1 (1 - BER_{ln}^i)^{PL-1} BER_{ln}^i - C_{PL}^2 (1 - BER_{ln}^i)^{PL-2} (BER_{ln}^i)^2 \quad (4.1)$$

C_{θ}^{ϑ} mewakili jumlah kombinasi untuk memilih elemen ϑ dari elemen θ .

$LinkC_{ln}^i$ berasal dari rata-rata tingkat kehilangan paket untuk penundaan transmisi

$$\tau_{ln}^i = \frac{(1 - PER_{ln}^i)T + PER_{ln}^i(1 - PER_{ln}^i)2T + \dots + (PER_{ln}^i)^{RT}}{(1 - PER_{ln}^i)(RT + 1)T + (PER_{ln}^i)^{RT+1}(RT + 1)T} \quad (4.2)$$

T merupakan penundaan transmisi, sedangkan RT merupakan jumlah transmisi ulang terbesar.

Studi latensi rute UE \rightarrow BAN mudah dipahami setelah kita melampaui level koneksi. Dengan tautan nirkabel satu hop, latensi yang disebabkan oleh jaringan pusat kabel dapat diabaikan dan tidak perlu dipertimbangkan. Oleh karena itu, untuk jalur UE \rightarrow SC \rightarrow BAN, waktu bagi Paket1, Paket2, Paket3, ..., Paket k untuk mencapai SC₁ adalah $1\tau_{ln}^2, 2\tau_{ln}^2, 3\tau_{ln}^2 \dots k \tau_{ln}^2$ secara berurutan. Jika $\tau_{ln}^2 \geq \tau_{ln}^3$, maka di SC_i tidak terjadi kemacetan antrian, maka waktu sampai di BAN adalah $\tau_{ln}^2 + \tau_{ln}^3, 2\tau_{ln}^2 + \tau_{ln}^3, 3\tau_{ln}^2 + \tau_{ln}^3, \dots, k \tau_{ln}^2 + \tau_{ln}^3$. Jika $\tau_{ln}^2 < \tau_{ln}^3$, terdapat penundaan antrean di SC_i, sehingga penundaan antrean di SC_iis 0 secara berurutan, $\tau_{ln}^3 - \tau_{ln}^2, 2(\tau_{ln}^3 - \tau_{ln}^2), \dots, (k - 1)(\tau_{ln}^3 - \tau_{ln}^2)$, waktu untuk setiap paket data untuk tiba di BAN adalah $\tau_{ln}^2 + \tau_{ln}^3, \tau_{ln}^2 + 2\tau_{ln}^3, \tau_{ln}^2 + 3\tau_{ln}^3, \dots, \tau_{ln}^2 + k\tau_{ln}^3$. Dengan menggabungkan kedua situasi di atas, penundaan lintasan UE \rightarrow SC \rightarrow BAN dapat dianalisis dari perspektif rata-rata yang diharapkan; Interval penundaan kedatangan paket adalah maks $\{\tau_{ln}^2, \tau_{ln}^3\}$, dan penundaan awal adalah $\tau_{ln}^2 + \tau_{ln}^3$

Analisis Delay Jitter

Lebih jauh, delay jitter dari link li dapat dihitung sebagai berikut

$$\sigma_{ln}^i = \frac{(1 - PER_{ln}^i)(T - \tau_{ln}^i)^2 + PER_{ln}^i(1 - PER_{ln}^i)(2T - \tau_{ln}^i)^2 + \dots + (PER_{ln}^i)^{RT}}{(1 - PER_{ln}^i)[(RT + 1)T - \tau_{ln}^i]^2 + (PER_{ln}^i)^{RT+1}[(RT + 1)T - \tau_{ln}^i]^2} \quad (4.3)$$

Di antara mereka, τ_{ln}^i mewakili penundaan transmisi rata-rata dari tautan l_{ln}^i , PER_{ln}^i mewakili tingkat kehilangan paket, dan T mewakili penundaan transmisi satu kali. Lebih lanjut, Persamaan (4.3) menggambarkan tingkat fluktuasi penundaan transmisi tautan l_{ln}^i relatif terhadap penundaan rata-rata dalam bentuk varians matematis.

Menyebarkan dari tautan ke jalur, untuk transmisi paket data pertama, karena tidak ada penundaan tunggu, setiap tautan komponen dapat dianggap independen satu sama lain, sehingga jitter penundaan awal jalur adalah jumlah jitter penundaan setiap tautan komponen. Untuk transmisi paket data berikutnya, ada dua situasi antrean dan non-antrean di simpul perantara. Mekanisme pengiriman ulang paket membuat perhitungan penundaan tunggu menjadi lebih rumit. Pada saat ini, setiap tautan komponen dapat dianggap saling terkait, sehingga jalur jitter penundaan harus lebih kecil dari jumlah jitter penundaan setiap tautan komponen.

Untuk menyederhanakannya, buku ini menggunakan jitter tunda maksimum dari setiap tautan komponen untuk memperkirakan jitter tunda dari seluruh jalur. Menganalisis latensi dan gangguan pada rute UE \rightarrow BAN (di mana BAN segera melakukan backhaul UEIn) adalah hal yang mudah. Tulang punggung jaringan kabel dapat dijangkau melalui satu langkah nirkabel. Diasumsikan bahwa koneksi kabel tidak memiliki jitter tunda, jalurnya nirkabel. Jitter tunda awal dan jitter tunda rata-rata dari sisi masuk keduanya adalah σ_{ln}^i . Untuk jalur UE \rightarrow SC \rightarrow BAN (yaitu, jalur backhaul tempat UEIn mengakses BAN melalui SC1), jitter tunda awalnya adalah $\sigma_{ln}^1 + \sigma_{ln}^2$, dan jitter tunda rata-rata dari paket berikutnya adalah maks $\sigma_{ln}^2, \sigma_{ln}^3$.

4.4 PEMBENTUKAN MODEL OPTIMASI

Model Backhaul Dasar

Berdasarkan studi jitter delay di atas, tujuan optimasi dapat ditulis sebagai berikut:

$$[X^*, Y^*, Z^*] = \arg \min_{\forall a_{ln}, b_{ln,m}, c_{ln}} \left\{ U = \sum_{\forall l} \sum_{\forall i} (1 - a_{ln}) \right. \\ \left. [r \cdot \max(\sigma_{ln}^2, \sigma_{ln}^3)] + a_{ln} \cdot \sigma_{ln}^1 \right\} \quad (4.4)$$

Di antara mereka, U mewakili fungsi tujuan pengoptimalan dari model backhaul dasar, yang dapat dianggap sebagai jumlah rata-rata jitter tunda dari semua jalur backhaul pengguna, X^* , Y^* , dan Z^* mewakili solusi optimal dari X , Y , dan Z , masing-masing, dan $r \geq 1$ adalah faktor kompensasi jitter tunda awal untuk mencerminkan efek jitter tunda awal. Secara khusus, ketika $\max(\sigma_{ln}^2, \sigma_{ln}^3)$, rata-rata jitter tunda dari dua jenis jalur adalah sama. Dalam hal ini, UE \rightarrow BAN dengan jitter tunda awal yang lebih dapat diabaikan akan dipilih sebagai jalur optimal. Kemudian, model pengoptimalan dasar dapat dibuat:

$$\arg \min_{\forall a_{ln}, b_{ln,m}, c_{ln}} \left\{ \sum_{\forall l} \sum_{\forall n} (1 - a_{ln}) [r \cdot \max(\sigma_{ln}^2, \sigma_{ln}^1)] + a_{ln} \cdot \sigma_{ln}^1 \right\} \quad (4.5)$$

$$\text{s. t. } \min \left(\sum_{m=1}^{M_1} b_{ln,m}, a_{ln} \right) = 0, \forall l, n \quad (4.6)$$

$$\sum_{n=1}^{N_l} b_{ln,m} \leq 1, \forall l, m \quad (4.7)$$

$$\sum_{\forall l, n} c_{ln} \leq M_2 \quad (4.8)$$

$$a_{ln} \in \{0, 1\}, \forall l, n \quad (4.9)$$

$$b_{ln,m} \in \{0, 1\}, \forall l, n, m \quad (4.10)$$

$$c_{ln} \geq 1, \forall l, n \quad (4.11)$$

Berdasarkan Persamaan (4.6), UE_{ln} menggunakan backhaul SCBS (yang mana SCBS mengalokasikan beberapa bandwidth) atau backhaul BAN (yang mana SCBS tidak menetapkan saluran). Menurut Persamaan (4.7), untuk mencegah crosstalk intra-sel, setiap trek dalam sel tertentu hanya dibagikan oleh satu pengguna. Dalam Persamaan (4.8), M₂ adalah jumlah saluran tertinggi yang dapat disediakan oleh BAN, sehingga jumlah saluran yang dialokasikan oleh BAN harus kurang dari atau sama dengan M₂. Persamaan (4.9) dan (4.10) mendefinisikan ruang nilai a_{ln} dan b_{ln,m}. Akhirnya, Persamaan (4.11) menunjukkan bahwa bandwidth BAN perlu dialokasikan tidak peduli bagaimana pengguna di-backhaul.

Model 1 yang Disempurnakan

Model dasar hanya mengoptimalkan jitter tunda dan mengabaikan pengoptimalan tundaan layanan, sehingga kendala interval tunda jalur backhaul pengguna UE_{ln} ditambahkan:

$$(1 - a_{ln}) [r \cdot \max(\sigma_{ln}^2, \sigma_{ln}^3)] + a_{ln} \cdot \tau_{ln}^1 \leq \varepsilon_{ln}, \forall l, n \quad (4.12)$$

Di antara semuanya, ε_{ln} merupakan batasan penundaan maksimum untuk memastikan persyaratan penundaan dasar bisnis. Oleh karena itu, model 1 yang disempurnakan dibangun:

$$\arg \min_{\forall a_{ln}, b_{ln,m}, c_{ln}} \left\{ \sum_{\forall l} \sum_{\forall n} (1 - a_{ln}) [r \cdot \max(\sigma_{ln}^2, \sigma_{ln}^3)] + a_{ln} \cdot \sigma_{ln}^1 \right\} \quad (4.13)$$

$$\text{s.t. } \min \left(\sum_{m=1}^{M_1} b_{ln,m}, a_{ln} \right) = 0, \forall l, n \quad (4.14)$$

$$\sum_{n=1}^{N_1} b_{ln,m} \leq 1, \forall l, m \quad (4.15)$$

$$\sum_{\forall l, n} c_{ln} \leq M_2 \quad (4.16)$$

$$(1 - a_{ln}) [r \cdot \max(\sigma_{ln}^2, \sigma_{ln}^3)] + a_{ln} \cdot \tau_{ln}^1 \leq \varepsilon_{ln}, \forall l, n \quad (4.17)$$

$$a_{ln} \in \{0, 1\}, \forall l, n \quad (4.18)$$

$$b_{ln,m} \in \{0, 1\}, \forall l, n, m \quad (4.19)$$

$$c_{ln} \geq 1, \forall l, n \quad (4.20)$$

Model 2 yang Disempurnakan

Ketika jumlah pengguna melebihi jumlah saluran yang tersedia di jaringan (yaitu jaringan kelebihan beban), model di atas akan menghadapi masalah yang tidak dapat dipecahkan, yaitu:

$$N = \sum_{l=1}^L N_l > M_2 \quad (4.21)$$

Pada saat ini, bahkan jika $c_{ln} = 1 (\forall l, n)$ masih ada $\sum_{\forall l, n} c_{ln} = N > M_2$

Karena tidak ada cukup rute BAN untuk memenuhi semua permintaan, sistem kontrol penerimaan harus dipicu, yang mengecewakan beberapa pengguna. Mengenai pengguna mana yang ditolak dan bagaimana sumber daya dialokasikan untuk menerima pengguna, model perbaikan 2 perlu dibuat:

$$\arg \min \left\{ U + w \left(M_2 - \sum_{\forall l, n} c_{ln} \right) \right\} \quad (4.22)$$

$$\text{s.t. } \min \left(\sum_{m=1}^{M_1} b_{ln,m}, a_{ln} \right) = 0, \forall l, n \quad (4.23)$$

$$\sum_{n=1}^{N_1} b_{ln,m} \leq 1, \forall l, m \quad (4.24)$$

$$\sum_{\forall l, n} c_{ln} \leq M_2 \quad (4.25)$$

$$(1 - a_{ln})[r \cdot \max(\sigma_{ln}^2, \sigma_{ln}^3)] + a_{ln} \cdot \tau_{ln}^1 \leq \varepsilon_{ln}, \forall l, n \quad (4.26)$$

$$a_{ln} \in \{0, 1\}, \forall l, n \quad (4.27)$$

$$b_{ln, m} \in \{0, 1\}, \forall l, n, m \quad (4.28)$$

$$c_{ln} \geq 0, \forall l, n \quad (4.29)$$

di mana ω adalah faktor penyesuaian, jika ω kecil, U cenderung dioptimalkan; jika ω besar, $M_2 = \sum_{\forall l, n} c_{ln}$ cenderung dioptimalkan untuk mengalokasikan sumber daya kepada pengguna sebanyak mungkin dengan alasan memastikan solusi. Selain itu, jika $c_{ln} = 0$, permintaan pengguna ditolak.

Solusi Model yang Disempurnakan

Model 1 yang Dimodifikasi dan Model 2 yang Dimodifikasi pada dasarnya adalah pemrograman integer. Untuk menyelesaikan model di atas dengan cepat, sesuai dengan karakteristik matematikanya, algoritma penyelesaian yang sesuai dirancang berdasarkan stratifikasi dan cabang dan batas.

Solusi Model 1 yang Disempurnakan

Model 1 yang Dimodifikasi terdiri dari vektor Boolean X, Solusi matriks Boolean Y, dan vektor angka Z. Hal ini menyebabkan masalah optimasi didekomposisi menjadi bagian-bagian komponennya. Pertama, proses inisialisasi diberikan sebagai berikut:

Inisialisasi:

1. Generate $X = \text{zeros}(1, N)$, $Y = \text{zeros}(N, M_1)$,
2. $Z = \text{ones}(1, N)$
3. Input: W, C, L, N_l, M_1
4. for $b_{ln} \in Y, W_m \in W$
5. if $(m = (\sum_{l=1}^{L-1} N_l + n) \bmod M_1) \vee ((\sum_{l=1}^{L-1} N_l + n) / M_1 \in N^*)$
6. then $b_{ln, m} \leftarrow 1$ end if
7. end for
8. for $W_m \in W, C_l \in C$
9. if $\sum_{n=1}^{N_l} b_{ln, m} \geq 2$
10. then $b_{ln, m'} = \text{find}(b_{ln, m} = 1)$; $b_{ln, m'} \leftarrow 0$; $a_{ln} \leftarrow 1$ end if
11. end for
12. Output: Initial solution X, Y, Z

Pada lapisan pertama, selesaikan vektor X. Vektor X menurut Persamaan (4.18) untuk membangun beberapa submasalah. Setiap iterasi dapat memperoleh solusi optimal untuk masalah optimasi saat ini. Di antara mereka, f_{ln} mewakili nilai rumus di sisi kiri Persamaan (4.17), dan f_0 mewakili nilai minimumnya. Dalam algoritma, f_0 dan $\{f_{ln}\}$ mewakili nilai fungsi objektif dari solusi layak saat ini. Lapisan penjelasan pertama, yaitu, Algoritma 1, adalah sebagai berikut:

Algoritma 1 Algoritma untuk Menghitung Input Vektor X: X, Y, Z, M₂, R, RT, PL

1. for $a_{ln} \in X$
2. if $a_{ln} = 0$ then
3. $a_{ln} \leftarrow 1; b_{ln,m'} = \text{find}(b_{ln,m} = 1); b_{ln,m'} \leftarrow 0;$
4. Calculate $ff_{ln}, f_{ln};$
5. if $(ff_{ln} \leq \varepsilon_{ln}) \&\& (f_{ln} < f_0)$ then
6. $f_0 \leftarrow f_{ln};$
7. else $b_{ln,m'} \leftarrow 1; a_{ln} \leftarrow 0;$ end if
8. end if
9. end for
10. Output: optimized value X^*Y, f_0

Matriks Y harus dipecahkan di lapisan kedua. Dengan menggunakan jawaban lapisan pertama, saluran yang tersisa di sel telah dialokasikan untuk memenuhi algoritma (17). Pengguna yang mengakses SCBS mendapatkan lebih banyak saluran, yang akan mengurangi tingkat kehilangan paket. Lapisan kedua dari solusi, yaitu Algoritma 2, adalah sebagai berikut:

Algoritma 2 untuk Menghitung Matriks Y Input: X*, Y, Z, W, f₀, N_i, M₂, ε_{ln} , R, RT, PL

1. for $a_{ln} \in X$
2. if $a_{ln} = 0$ then
3. $b_{ln,m'} = \text{find}(b_{ln,m} = 1);$
4. for $W_m \in W$
5. if $(W_m \neq W_{m'}) \&\& (\sum_{n'=1}^{N_i} b_{ln',m} = 0)$ then
6. $b_{ln,m} \leftarrow 1; b_{ln,m'} \leftarrow 0;$ Compute $f_m;$
7. if $f_m < f_0$ then $f_0 \leftarrow f_m;$
8. else $b_{ln,m} \leftarrow 0, b_{ln,m'} \leftarrow 1$ end if
9. end if
10. end for
11. end if
12. end for
13. for $a_{ln} \in X$
14. if $a_{ln} = 0$ then
15. while $ff_{ln} > \varepsilon_{ln}$
16. $b_{ln,m'} = \text{find}(b_{ln,m} = 1);$
17. for $W_m \in W$
18. if $(W_m \neq W_{m'}) \&\& (\sum_{n'=1}^{N_i} b_{ln',m} = 0)$ then
19. $b_{ln,m} \leftarrow 1;$ Calculate $ff_{ln,m}; b_{ln,m} \leftarrow 0$ end if
20. end for
21. $ff_{ln,m^*} = \arg \min(ff_{ln,m}); b_{ln,m^*} \leftarrow 1;$
22. end while
23. end if
24. end for
25. for $W_m \in W, a_{ln} \in X$
26. if $a_{ln} = 0$ then
27. Set $B_temp = \text{find}(b_{ln,m} = 1);$
28. if $(b_{ln,m} \notin B_temp) \&\& (\sum_{n'=1}^{N_i} b_{ln',m} = 0)$ then
29. $b_{ln,m} \leftarrow 1;$ Calculate $f_{ln,m}, ff_{ln,m}; b_{ln,m} \leftarrow 0;$ end if
30. end if
31. $[f_{ln,m^*}] = \arg \min(f_{ln,m});$
32. if $(ff_{ln,m^*} \leq \varepsilon_{ln}) \&\& (f_{ln,m^*} < f_0)$ then
33. $f_0 = f_{ln,m^*}, b_{ln,m^*} \leftarrow 1$ end if
34. end for
35. Output: optimized value of Y^*

Pada langkah ini, selesaikan matriks Z. Setelah lapisan pertama dan kedua diselesaikan, masalah pengoptimalan saat ini menjadi masalah pemrograman integer murni. Saluran BAN yang tersisa dialokasikan, dan satu saluran yang tersisa dialokasikan untuk setiap lintasan. Lapisan ketiga solusi, yaitu Algoritma 3, adalah sebagai berikut:

Algoritma 3 untuk Menghitung Input Vektor Z: X^* , Y^* , Z, f_0 , L, N_i , M_2 , ϵ_{ln} , r_2 , RT, PL

1. while $\sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^{N_l} c_{ln} < M_2$
2. for $c_{ln} \in Z$
3. $Z' \leftarrow Z$; $c_{ln} = c_{ln} + 1$; compute f_{ln} , ff_{ln} ; $Z \leftarrow Z'$;
4. end for
5. $[f_{1^*n^*}] = \arg \min(f_{ln})$;
6. if $(ff_{1^*n^*} \leq \epsilon_{ln}) \&\& (f_{1^*n^*} < f_0)$ then
7. $f_0 \leftarrow f_{1^*n^*}$; $c_{1^*n^*} = c_{1^*n^*} + 1$ end if
8. end while
9. Output: optimized value of Z^*

Metode di atas untuk menemukan solusi dapat dilihat dengan memecah masalah awal menjadi serangkaian tiga tantangan yang semakin sulit yang dipecahkan secara berulang sesuai dengan karakteristik ruang solusi. Solusi optimal masalah terkait dapat diperoleh dengan menggunakan metode cabang dan batas, dan solusi berulang dapat secara bertahap menyatu ke solusi optimal dari masalah awal.

Solusi Model 2 yang Disempurnakan

Berdasarkan teknik solusi model 1 yang disempurnakan, berdasarkan karakteristik matematis model 2 yang disempurnakan, teknik solusi tiga lapis dari model 2 yang disempurnakan diusulkan:

1. Pada lapisan pertama, selesaikan matriks X. Relaksasikan (25) dan tetapkan $\omega = 0$. Metode solusinya sama dengan algoritma 1 dari model 1 yang disempurnakan.
2. Pada lapisan kedua, selesaikan matriks Y. Proses penyelesaiannya sama dengan algoritma 2 dari model 1 yang disempurnakan.
3. Pada tingkat ketiga, vektor Z harus diselesaikan. Diperlukan untuk mengevaluasi ulang batas Persamaan (4.25) berdasarkan jawaban yang ditemukan pada lapisan pertama dan kedua dan untuk melakukan pengulangan $N - M_2$. Pada setiap langkah, orang dengan fluktuasi penundaan terbesar dalam hasil pengoptimalan saat ini akan dikeluarkan. Algoritma 4 menjelaskan metode yang digunakan untuk menemukan jawabannya.

Algoritma 4 Algoritma untuk Menyelesaikan Input Vektor Z: X^* , Y^* , Z, L, N_i , M_1 , M_2 , ω , ϵ_{ln} , r, RT, PL

1. While $\sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^{N_l} a_{ln} + \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^{N_l} \sum_{m=1}^{M_1} b_{ln,m} > M_2$ do
2. for $a_{ln} \in X$
3. if $a_{ln} = 1$ then $a_{ln} \leftarrow 0$;
4. Algorithm 1; Algorithm 2;
5. compute f_{ln} ; $a_{ln} \leftarrow 1$;
6. else for $b_{ln,m} \in Y$
7. Set B_temp = find($b_{ln,m} = 1$);

8. for $b_{ln,m} \in B_temp$ then $b_{ln,m} \leftarrow 0$ end for
9. Algorithm 1; Algorithm 2; Calculate f_{ln} ;
10. for $b_{ln,m} \in B_temp$ then $b_{ln,m} \leftarrow 0$ end for
11. end for
12. end if
13. end for
14. $[f_{1*n^*}] = \arg \max(f_{ln}); a_{1*n^*} \leftarrow 0$;
15. $b_{1*n^*,1} \leftarrow 0, b_{1*n^*,2} \leftarrow 0, \dots, b_{1*n^*,M1} \leftarrow 0$;
16. end while
17. for $a_{ln} \in X$
18. if $(a_{ln} = 0) \&\& (\sum_{m=1}^{M1} b_{ln,m} = 0)$ then $c_{ln} \leftarrow 0$ end if
19. end for
20. Output: optimized solution Z^*

Analisis Simulasi

BAN diposisikan di tengah-tengah 500 m * 500 m, dan keempatnya ditempatkan secara merata pada interval yang teratur. Untuk memastikan cakupan yang lengkap, SCBS memiliki radius kontak tipikal 175 m.

Tabel 4.1 Parameter yang digunakan dalam simulasi

| Parameter | Parameter | Parameter value |
|----------------|---|-----------------|
| α | Free space transfer coefficient | 3 |
| n_0^{BAN} | Thermal noise of BAN/(dBm · Hz ⁻¹) | -174 |
| n_0^{SCBS} | Thermal noise of SCBS/(dBm · Hz ⁻¹) | -174 |
| Δ_{BAN} | Channel bandwidth allocated by BAN/MHz | 20 |
| Δ_{SC} | Channel bandwidth allocated by SCBS/MHz | 20 |
| M_2 | Number of channels that can be given by BAN | 250 |
| P_{UE} | User's transmit power/dBm | 7 |
| P_{SC} | Transmit power of SCBS/dBm | 27 |
| H | Packet sending rate /(Mb · s ⁻¹) | 100 |
| PL | Packet size/bit | 512 |
| r | Initial delay compensation factor | 1.1 |
| Ω | Regulator | 1000 |

Setiap N pelanggan berkorespondensi dengan salah satu dari N SCBS, dan N saluran transmisi dimodelkan sebagai saluran Rayleigh fading. Lebih jauh, kinerja jaringan akan secara langsung dipengaruhi oleh nilai jumlah RT transmisi ulang: RT yang besar akan meningkatkan penundaan transmisi tetapi menurunkan tingkat kehilangan paket, sementara RT yang kecil akan menurunkan penundaan transmisi tetapi meningkatkan tingkat kehilangan paket. Untuk menemukan titik tengah yang tepat antara kelambatan transmisi dan kehilangan paket dalam sistem dunia nyata, coba RT = 5. Tabel 4.1 menunjukkan parameter simulasi tambahan.

Dalam buku ini, kami mengusulkan Algoritma Terpecahkan Berbasis Model 1 yang Disempurnakan (IM1SA) dan Algoritma Terpecahkan Berbasis Model 2 yang Disempurnakan (IM2SA) sebagai dua versi dari algoritma terpecahkan berbasis model untuk pengoptimalan

backhaul nirkabel, dan kami memodelkan kinerjanya menggunakan tiga algoritma berbeda untuk mengevaluasi keefektifannya. WBOASBS adalah algoritma pengoptimalan backhaul nirkabel untuk skenario backhaul tunggal, dan termasuk dalam kelas algoritma pertama. Pendekatan ini dikembangkan untuk jenis skenario komunikasi tertentu. (yaitu, semua pengguna mengakses BAN melalui SCBS untuk backhaul). Kategori metode kedua adalah metode Pengoptimalan Backhaul Nirkabel untuk Skenario Saluran Statis (WBOASCS).

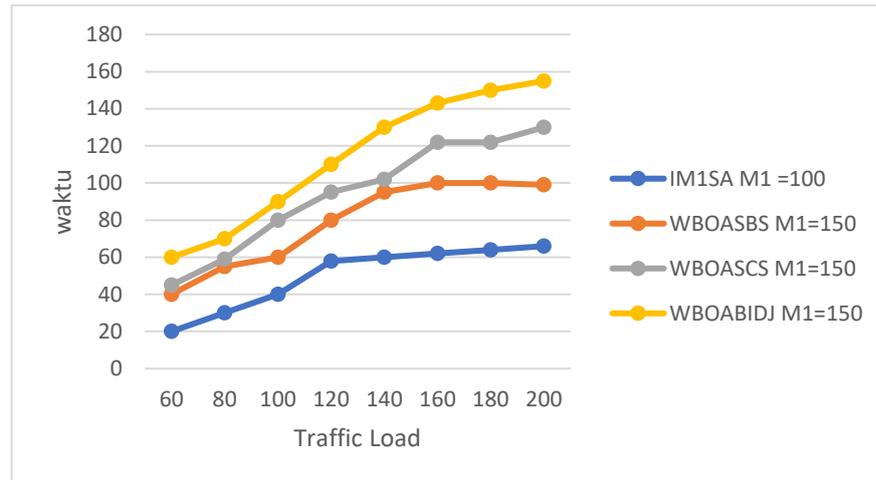
Untuk mengoptimalkan alokasi saluran, jenis algoritma ketiga, WBOABIDJ, menggunakan indeks jitter tunda rata-rata yang tidak memperhitungkan dinamika saluran. Algoritma ini dipertimbangkan untuk skenario backhaul hibrid (yang mencakup dua jenis metode backhaul). Ketiga kategori algoritma tersebut sangat mirip dengan yang disajikan dalam artikel ini, dan masing-masing dikembangkan dengan bantuan MATLAB. Delay jitter digunakan sebagai metrik efisiensi untuk mengevaluasi metode-metode yang disebutkan di atas. Jitter dalam konteks ini mengacu pada waktu yang dibutuhkan untuk mengimplementasikan hasil distribusi saluran yang diperoleh dari berbagai metode ke dalam jaringan yang berfungsi. Jumlah fluktuasi delay pengguna yang umum ditentukan.

Dalam situasi permintaan layanan minimal, Gambar 4.2 membandingkan delay jitter dari IM1SA, tiga jenis algoritma lainnya, dan jumlah pengguna (jumlah pengguna kurang dari M2). Peningkatan jumlah pengguna N menyebabkan delay jitter dari empat metode berbeda meningkat secara stabil, seperti yang ditunjukkan di bawah ini untuk berbagai nilai M1; ketika jumlah pengguna kecil, beban jaringan rendah, dan kinerja jaringan berada pada level yang lebih baik (yaitu, tingkat kehilangan paket tautan adalah standar), pada saat ini, delay jitter dari algoritma yang sama di bawah M1 yang berbeda sangat dekat; ketika jumlah pengguna besar, beban jaringan tinggi, dan kinerja jaringan memburuk (yaitu, tingkat kehilangan paket tautan tinggi), Pada saat ini, semakin tinggi M1, semakin kecil jitter tunda dari algoritma yang sama; dalam hal apa pun, kinerja jitter tunda IM1SA selalu optimal (Tabel 4.2).

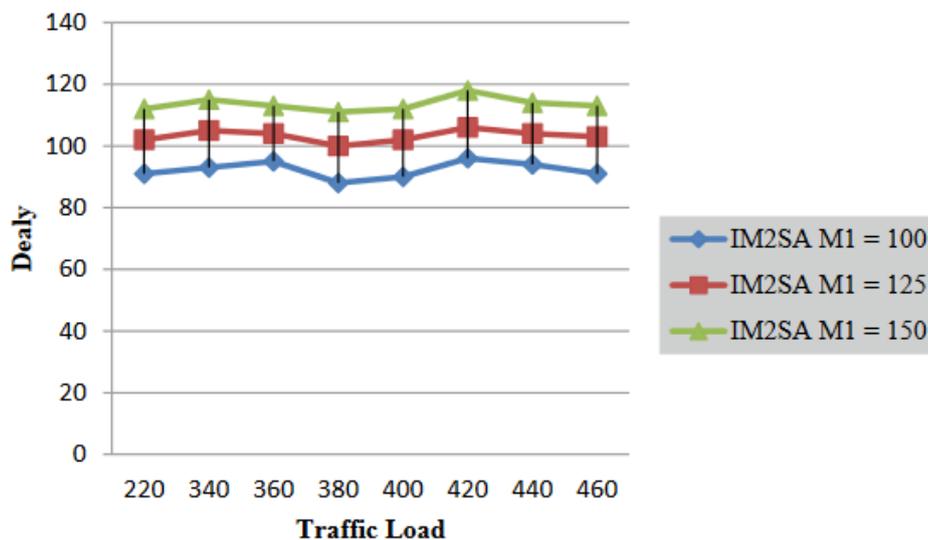
Temuan pemodelan untuk skenario beban lalu lintas ringan tidak ditunjukkan pada Gambar 4.2. Setelah jumlah pengguna meningkat di atas M2, keempat jenis algoritma tidak akan dapat mengoptimalkan sistem; dengan kata lain, mereka tidak akan berguna dalam sistem yang kelebihan beban. Akibatnya, IM2SA diusulkan dalam artikel ini. Dalam hal permintaan layanan yang besar, fluktuasi tunda IM2SA bervariasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. (yaitu, jumlah pengguna lebih signifikan daripada M2).

Tabel 4.2 Perbandingan delay dan jitter dari empat jenis algoritma (beban bisnis rendah)

| | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 |
|-------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| IM1SA M1 = 100 | 20 | 30 | 40 | 56 | 59 | 62 | 64 | 66 |
| WBOASBS M1 = 150 | 40 | 55 | 60 | 78 | 89 | 100 | 102 | 99 |
| WBOASCS M1 = 150 | 50 | 60 | 80 | 92 | 105 | 125 | 127 | 130 |
| WBOABIDJ M1 =150 | 60 | 70 | 90 | 110 | 130 | 145 | 150 | 155 |



Gambar 4.2 Perbandingan delay dan jitter dari empat jenis algoritma (beban bisnis rendah)



Gambar 4.3 Hasil jitter penundaan IM2SA (beban lalu lintas tinggi)

Ketika jumlah pengguna pada IM2SA bertambah, fluktuasi tunda hanya akan bervariasi dalam rentang yang sempit. Fluktuasi tunda IM2SA berkurang ketika jumlah pengguna, N , meningkat. Manajemen penerimaan dan alokasi saluran dapat dieksekusi secara efisien oleh IM2SA. Dalam kasus IM2SA, kinerja delay jitter berdasarkan IM2SA selalu dipertahankan pada level tertentu tanpa penurunan (Tabel 4.3 dan 4.4). Gambar 4.4 menunjukkan hasil yang berbeda dari parameter jaringan IM2SA dengan jumlah pengguna dalam kasus beban layanan yang tinggi (yaitu, jumlah pengguna lebih signifikan daripada $M2$). Dapat dilihat bahwa rasio pengiriman paket, end-to-end delay, dan beban IM2SA berfluktuasi dalam rentang tertentu dengan peningkatan jumlah pengguna N . Mengingat jumlah pengguna, delay jitter IM2SA menunjukkan tren menurun dengan peningkatan $M1$. IM2SA dapat secara efektif melakukan kontrol penerimaan dan mengalokasikan saluran secara wajar.

Tabel 4.3 Hasil jitter penundaan IM2SA (beban lalu lintas tinggi)

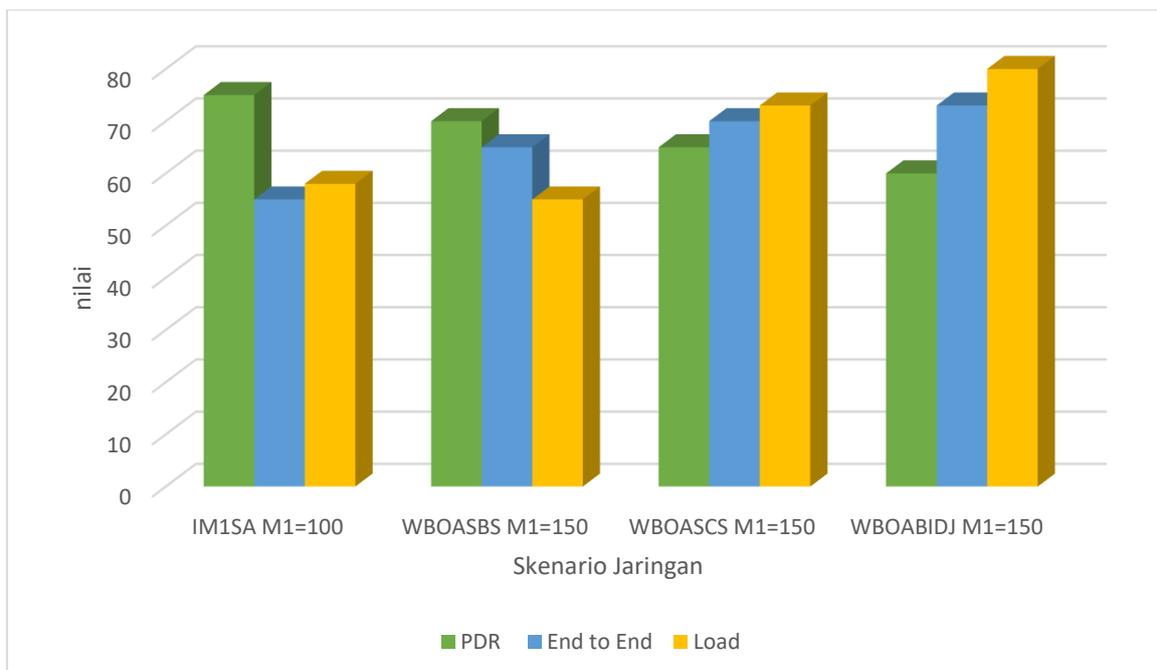
| | 220 | 340 | 360 | 380 | 400 | 420 | 440 | 460 |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| IM2SA M1=100 | 91 | 93 | 95 | 88 | 90 | 96 | 94 | 91 |
| IM2SAMI=125 | 102 | 105 | 104 | 100 | 102 | 106 | 104 | 103 |
| IM2SA MI= 150 | 112 | 115 | 113 | 111 | 112 | 113 | 114 | 113 |

Tabel 4.4 Evaluasi IM2SA melalui parameter jaringan

| Skenario Jaringan | Rasio Pengiriman Paket (PDR) | Penundaan Ujung Ke Ujung | Memuat |
|-------------------|------------------------------|--------------------------|--------|
| MISA M1=100 | 78 | 56 | 58 |
| WBOASBS M1=150 | 72 | 68 | 62 |
| WBOASCS M1=150 | 68 | 72 | 74 |
| WBOABIDJ M1=150 | 62 | 75 | 80 |

Kesimpulan

Untuk situasi dinamis 5G yang beragam, artikel ini menyarankan metode pengoptimalan untuk backhaul nirkabel yang memperhitungkan ketidakpastian penundaan. Metrik pengoptimalan backhaul dibuat, dan model backhaul fundamental dibangun, berdasarkan studi metodis tentang penundaan layanan dan ketidakstabilan penundaan dalam teknik beragam aktif. Selain itu, model 1 yang dioptimalkan dan model 2 yang dioptimalkan dikembangkan dari sudut pandang pengoptimalan penundaan dan kelebihan jaringan, masing-masing, dan metode hierarki disarankan untuk menanganinya secara efisien. Artikel ini menggunakan program untuk menunjukkan kemanjuran metode tersebut.

**Gambar 4.4 Evaluasi IM2SA melalui parameter jaringan**

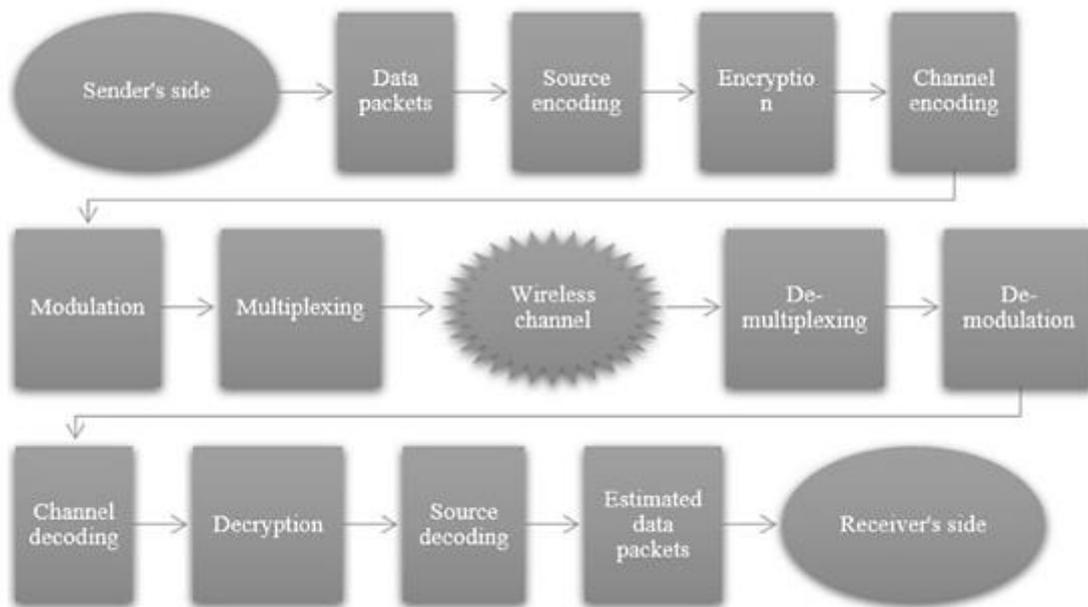
BAB 5

KEAMANAN DAN KERENTANAN JARINGAN SELULER

5.1 PENDAHULUAN

Keamanan data sangat penting saat menyediakan komunikasi baik melalui media kabel maupun nirkabel. Ini adalah masalah yang sangat menantang di dunia dan jaringan seluler nirkabel membuatnya lebih menantang. Dalam jaringan seluler nirkabel, ada sekelompok jaringan mandiri dan terorganisasi sendiri yang membentuk jaringan radio peer-to-peer multi-hop sementara, tanpa menggunakan organisasi yang telah ditentukan sebelumnya. Karena jaringan ini bersifat seluler dan tautan koneksi nirkabel digunakan untuk menghubungkan jaringan ini satu sama lain, sering kali jaringan semacam ini berhasil mengelola sendiri, mendefinisikan sendiri, dan mengonfigurasi sendiri. Karena sifatnya yang dinamis, jaringan/sistem seluler nirkabel tidak memiliki infrastruktur yang tetap dan, karena itu, lebih rentan terhadap berbagai jenis serangan yang tidak bersahabat. Berbagai jenis serangan keamanan yang ada dalam jaringan seluler nirkabel dijelaskan dalam buku ini beserta teknik deteksi dan pencegahannya. Lebih jauh, buku ini membahas berbagai jenis jaringan seluler beserta berbagai tantangan dan masalahnya. Lebih jauh lagi, buku ini mendefinisikan kebutuhan dan tujuan keamanan dalam jaringan seluler nirkabel serta berbagai serangan keamanan beserta metode deteksi atau pencegahannya.

Selama beberapa tahun terakhir, telah terlihat contoh nyata dalam kehidupan sehari-hari sebagai pemindahan dari jaringan tetap ke jaringan seluler nirkabel untuk kemudahan komunikasi karena tidak diperlukan pita frekuensi berlisensi untuk beroperasi dan jaringan seluler nirkabel tidak memerlukan investasi apa pun dalam infrastruktur karena dapat membentuk struktur yang dinamis. Properti ini memiliki peran penting untuk membuatnya menarik bagi beberapa implementasi komersial di berbagai bidang dan yang terpenting di bidang militer. Karena ada banyak hal baik dalam jaringan seluler nirkabel, ada sisi lain yang mengatakan, dalam jaringan seluler nirkabel banyak masalah terjadi; di antaranya, keamanan jaringan adalah perhatian yang paling penting. Teknologi seluler berkembang pesat, jaringan seluler nirkabel telah muncul dalam berbagai bentuk seperti laptop, PDA, dll. Ada peluang yang sangat tinggi bagi penyerang, karena dalam jaringan seluler nirkabel, sebuah node dapat dioperasikan sebagai sumber, tujuan, dan router (node perantara). Komunikasi dalam jaringan seluler nirkabel dilakukan melalui pesan, jaringan dapat mengirim data ke jaringan yang berdekatan melalui pesan. Dan jaringan ini tidak berisi informasi apa pun tentang node/jaringan lain, apakah jaringan tersebut rentan terhadap serangan atau aman. Mereka tidak saling mengenal. Mengamankan jaringan seluler nirkabel sulit dilakukan karena ada banyak alasan seperti tidak ada batasan, serangan dari node yang tidak bersahabat ke dalam jaringan, tidak ada fasilitas manajemen pusat, catu daya terbatas, kemampuan ekstensi, tidak ada perlindungan saluran, perubahan topologi, dll.



Gambar 5.1 Prosedur transmisi

Jaringan seluler nirkabel biasanya memiliki perangkat kecil yang lebih dibatasi memori dan lebih rentan terhadap kegagalan. Meskipun energi merupakan sumber daya yang langka untuk kedua jenis jaringan, jaringan ini memiliki persyaratan yang lebih ketat pada masa pakai jaringan, dan pengisian ulang atau penggantian baterai node bukanlah pilihan yang tepat. Tujuan dasarnya difokuskan pada penyediaan komputasi terdistribusi dan pengumpulan informasi. Jaringan seluler nirkabel digunakan di lingkungan seperti hutan, gunung, sungai, dll. Agar bersifat kontraproduktif dan mencoba memprediksi bencana alam seperti kebakaran hutan, gempa bumi, banjir, hujan badai, dll. Jaringan seluler nirkabel dapat digunakan untuk memantau layanan, peralatan, dan node yang keluar. Jaringan ini juga dapat digunakan dalam pengawasan medan perang, deteksi serangan atom, biotik, dan kimia. Jaringan seluler nirkabel dapat digunakan dalam aplikasi kesehatan untuk telemonitoring data fisiologis manusia, dalam sistem informasi pengobatan telecare, untuk pemberian obat di rumah sakit, dan untuk melacak dan memantau pasien dan dokter di dalam rumah sakit. Gambar 5.1 menunjukkan prosedur transmisi data dalam bentuk paket dalam jaringan seluler nirkabel.

Sistem seluler nirkabel rentan terhadap wabah keselamatan karena perilaku siaran media komunikasi dan sifat sensitif dari informasi yang dikumpulkan. Efek keamanan berdasarkan beberapa parameter jaringan seluler nirkabel yang harus ditangani adalah keterbatasan sumber daya, keterbatasan pemrosesan, keterbatasan memori dan ruang penyimpanan, keterbatasan daya, dll. Mikrokontroler dalam node jaringan seluler nirkabel berkisar antara 4 dan 400 instruksi mesin per detik yang menerapkan fungsi komunikasi tetapi tidak cukup untuk mendukung mekanisme keamanan. Memori node yang kecil memerlukan pembatasan ukuran kode algoritma keamanan bernama enkripsi, dekripsi, verifikasi, dll., yang digunakan dalam algoritma keamanan memerlukan lebih banyak pemrosesan, yaitu konsumsi daya. Dan juga lebih banyak energi yang wajib disampaikan untuk menyampaikan data atau overhead yang terkait dengan keselamatan. Perutean tanpa koneksi menyiratkan pertukaran

yang tidak dapat diandalkan. Karena kesalahan saluran dan kemacetan, paket dapat rusak, yang mengakibatkan paket hilang atau hilang. Paket yang disiarkan pada tautan radio dapat bertabrakan yang menyebabkan hilangnya informasi. Perutean multi-hop dalam node jaringan seluler nirkabel dapat menyebabkan latensi yang lebih besar dan menyulitkan pencapaian sinkronisasi. Jadi, hal ini menyebabkan masalah dalam mendeteksi dan melaporkan kejadian tepat waktu. Manajemen jarak jauh menyulitkan untuk memperhatikan gangguan fisik dan masalah perawatan fisik. Mungkin sistem yang disebarluaskan tanpa manajemen titik pusat menyulitkan pengorganisasian jaringan. Lebih jauh, inspirasi utama dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- ❖ Karya ini membahas latar belakang serta berbagai jenis jaringan seluler nirkabel dan kebutuhan pengamanan data dalam jaringan melalui transmisi/koneksi nirkabel.
- ❖ Karya ini membahas berbagai tantangan dan masalah jaringan seluler nirkabel,
- ❖ yang muncul selama pemindahan data.
- ❖ Karya ini menyoroti tujuan keamanan dan kategori serangan, dan juga membahas cara melindungi jaringan seluler nirkabel dari serangan secara terperinci.
- ❖ Karya ini mengeksplorasi beberapa data yang baru-baru ini diajukan terkait dengan jaringan dan menguraikan beberapa metode untuk mencegah serangan pada suatu sistem.
- ❖ Karya ini mendefinisikan ulang inspirasi untuk melindungi data dengan Java guna membentuk aplikasi pengamanan untuk Mengamankan data.

Sisa buku ini direncanakan sebagai berikut, bagian “Jenis Jaringan Seluler Nirkabel” mendefinisikan berbagai jenis jaringan seluler nirkabel yang dibangun berdasarkan koneksi nirkabel. Lebih jauh, bagian “Tantangan dan Masalah dalam Jaringan Seluler Nirkabel” membahas berbagai tantangan dan masalah yang terjadi selama pembentukan jaringan seluler nirkabel atau saat transmisi berlangsung.

Selain itu, bagian “Tujuan Keamanan Jaringan Seluler Nirkabel” menguraikan tujuan keamanan, yang membahas kerahasiaan, ketersediaan, autentikasi, integritas, dan non-repudiasi. Selain itu, bagian “Klasifikasi Serangan Keamanan” menjelaskan klasifikasi serangan keamanan untuk mengamankan aplikasi atau sistem atau jaringan seluler nirkabel. Bagian ini juga mendefinisikan beberapa jenis serangan dan menggambarkan bagaimana serangan tersebut dapat memengaruhi jaringan seluler nirkabel. Lebih jauh, bagian ini juga membahas informasi tentang berbagai mekanisme deteksi dan pencegahan untuk melindungi jaringan dari berbagai jenis serangan. Terakhir, bagian “Kesimpulan” mengakhiri buku ini.

5.2 JENIS-JENIS JARINGAN SELULER NIRKABEL

Tautan nirkabel digunakan untuk koneksi antarperangkat dengan menggunakan media seperti gelombang mikro, satelit komunikasi, gelombang radio, teknologi spektrum lebar, transmisi optik ruang bebas, atau berbagai teknologi yang digunakan dalam jaringan seluler. Berbagai jenis jaringan seluler nirkabel ditunjukkan pada Gambar 5.2.

PAN Nirkabel

Jaringan Area Pribadi (PAN) nirkabel menghubungkan semua jaringan dan perangkat ujung ke ujung ke wilayah yang cukup kecil, yang biasanya dapat diakses oleh seseorang. Sebagai ilustrasi, radio Bluetooth, serta sinar inframerah yang tidak dapat dibedakan, memberikan headset PAN nirkabel yang terhubung ke komputer portabel. ZigBee juga mendukung aplikasi PAN Nirkabel yang mencakup sensor dan banyak perangkat terkait.



Gambar 5.2 Jenis-jenis jaringan nirkabel

LAN Nirkabel

Jaringan Area Lokal (LAN) nirkabel menghubungkan dua atau lebih node serta perangkat jaringan ke jarak pendek menggunakan teknik penyebaran nirkabel, biasanya memberikan titik akses jaringan melalui internet. Penggunaan teknologi penyebaran spektrum atau transmisi nirkabel dapat memungkinkan pengguna untuk menavigasi dalam area terbatas dan tetap terhubung dengan sistem. Teknologi nirkabel tak bergerak menggunakan asosiasi titik-ke-titik di antara komputer atau jaringan dalam dua posisi jarak jauh, biasanya menggunakan gelombang mikro khusus atau sinar lain yang diubah menjadi garis pandang. Teknologi ini sering digunakan di ibu kota untuk menghubungkan sistem di dua atau lebih bangunan tanpa memperbaiki koneksi nirkabel.

Manet

Jaringan Ad hoc Seluler Nirkabel (MANET) adalah sistem nirkabel yang menghubungkan node atau perangkat berdasarkan struktur topologi mesh. Setiap perangkat mengirimkan paket data alih-alih mengetahui perangkat/node lain dan setiap node membentuk rute.

Jaringan ad hoc dapat "mendukung diri sendiri", dan secara otomatis pindah ke lingkungan yang terkurus. Sejumlah protokol lapisan jaringan diperlukan untuk menggunakan

MANET, seperti pelacakan urutan vektor, rute berbasis asosiatif, rute sumber dinamis, dan banyak lagi.

MAN Nirkabel

Jaringan Area Metropolitan (MAN) nirkabel adalah jenis jaringan nirkabel yang menghubungkan sejumlah LAN nirkabel untuk menyediakan konektivitas antara dua jenis jaringan dan mencakup jaringan dalam jangkauan sekitar ribuan kilometer atau area yang mencakup dua kota, misalnya, WiMAX.

WAN Nirkabel

Jaringan Area Luas (WAN) nirkabel sering kali mencakup wilayah yang sangat luas, seperti desa dan kota terdekat, atau kota dan pinggiran kota. Sistem ini dapat digunakan untuk menghubungkan kantor cabang dengan perusahaan atau berfungsi sebagai sistem akses internet publik, misalnya, internet adalah jenis WAN, yang menghubungkan orang-orang di seluruh dunia yang dikatakan WAN mampu membuat atau memelihara jaringan terbesar di dunia dengan mudah. Tautan nirkabel di antara titik akses umumnya berupa gelombang mikro titik-ke-titik yang menggunakan bejana parabola pada pita 2,4 GHz, sebagai pengganti klakson omnidirectional, yang digunakan dengan jaringan minor. Sistem standar terdiri dari hub dasar, router, gateway, titik akses, dan jembatan nirkabel relai. Sistem konfigurasi lain memiliki ruang di mana setiap titik akses juga bertindak sebagai relai.

Jaringan Seluler

Ini adalah sistem radio yang tersebar di seluruh dunia yang disebut sel, yang masing-masing dilengkapi dengan setidaknya satu transceiver yang tidak bergerak, yang dikenal sebagai situs seluler atau stasiun pangkalan. Dalam jenis jaringan ini, semua sel menggunakan kelompok frekuensi radio yang beragam di seluruh sel yang berdekatan untuk menghindari gangguan apa pun. Ketika disatukan, sel-sel ini menyediakan siaran radio di seluruh negeri.

Gan

Jaringan Area Global (GAN) adalah jaringan yang digunakan untuk mendukung telepon seluler dengan sejumlah LAN nirkabel, lingkungan yang tercakup satelit, dll. Ini adalah jenis jaringan di mana berbagai jaringan atau perangkat atau media transmisi saling terhubung untuk mencakup ruang geografis yang tidak terbatas. Tantangan terbesar dalam komunikasi seluler adalah transfer komunikasi pengguna dari satu lokasi ke lokasi lain. Proyek IEEE 802 melibatkan serangkaian LAN tanpa dasar.

Jaringan Dirgantara

Jaringan dirgantara adalah jaringan yang digunakan untuk berkomunikasi antar-pesawat antariksa, biasanya di area yang dekat dengan alam semesta. Jaringan ini telah menyediakan dukungan instruksional, resolusi perangkat lunak, dan fasilitas penemuan media untuk klien skolastik dan komersial. Contoh jenis jaringan ini adalah jaringan antariksa NASA.

5.3 TANTANGAN DAN ISU DALAM JARINGAN SELULER NIRKABEL

Di dunia saat ini, menyediakan moda komunikasi yang andal dan dapat diandalkan, terutama dalam keadaan darurat atau aplikasi merupakan salah satu perhatian dan tantangan penelitian yang penting. Beberapa isu dan tantangan penting dalam jaringan seluler nirkabel

adalah manajemen buffer, penemuan node, penerusan pesan, keamanan jaringan dan data, dll., yang dijelaskan secara singkat di bawah ini dan juga disebutkan dalam Gambar 5.3.

Manajemen Informasi

Jaringan seluler nirkabel adalah jenis lingkungan yang sebagian besar fokusnya adalah pada pengiriman informasi untuk mencapai hal ini, sebagian besar protokol perutean menggunakan mekanisme berbasis flooding. Jenis protokol ini memiliki kebiasaan memuat jaringan dengan mentransfer sejumlah besar informasi ke dalam jaringan. Jadi, untuk menangani masalah ini, penulis menyediakan berbagai jenis protokol lain yang didasarkan pada pendekatan penerusan daripada pendekatan pembanjiran.

Komunikasi Tanpa Akhir

Dalam jaringan seluler nirkabel, komunikasi antara dua perangkat menyediakan dasar untuk interaksi. Masalah komunikasi diperburuk oleh tidak adanya informasi sebelumnya tentang posisi, waktu, dan lebar pita yang diperlukan. Perjanjian rute yang menggunakan konteks, profil, atau riwayat pengguna seluler serta semua perangkat yang terhubung harus diperiksa untuk digunakan pada jaringan seluler. Perlu untuk meningkatkan metode middleware sehingga topeng dapat ditunda dan menyembunyikan kompleksitas metode yang fleksibel dalam sistem operasi. Informasi yang diperoleh harus dianalisis untuk diarsipkan, disempurnakan, dan disebarluaskan karena kapasitas penyimpanan dan lebar pita dibatasi.

Toleransi Penundaan

Pemanfaatan aplikasi Delay Tolerant Network (DTN) yang efektif telah terbukti sangat berguna untuk jaringan seluler nirkabel. Toleransi penundaan memainkan peran penting dalam komputer seluler karena semua individu tidak ingin menunggu atau membuang-buang waktu mereka, oleh karena itu, sangat penting untuk menyediakan komunikasi yang lancar tanpa penundaan apa pun.



Gambar 5.3 Tantangan dalam jaringan seluler nirkabel

Heterogenitas

Mungkin, banyak jenis node dapat berkumpul secara otomatis seperti ponsel, PD, laptop, buku catatan digital, sensor, kamera, dan perangkat RFID. Perangkat ini dapat dikelola oleh berbagai kemampuan komunikasi dan sinyal radio. Interaksi komunikasi antara pasangan perangkat yang berbeda ini merupakan eksperimen utama.

Kesadaran Kontekstual

Ini adalah kunci penting untuk mencari/menemukan sistem yang aman. Sebagian besar konten penting bagi orang-orang yang secara langsung dekat dengan sumbernya, menciptakan publik lokal sementara tempat mereka ingin berbagi. Ini perlu meresmikan hubungan sesaat yang kuat dan andal antara orang dan peralatan. Pengetahuan konten dan profil perangkat, individu, dan aplikasi serta strategi pengembangan repositori diperlukan untuk mengelola repositori konten secara efektif. Untuk berbagi informasi di media sosial, para peneliti telah memproyeksikan situs jejaring sosial. Arsip sosial adalah kompilasi logis dari perangkat untuk setiap perangkat yang menyimpan informasi yang berguna bagi anggota jaringan sosialnya. Mengingat bahwa peserta dapat diprediksi akan bertemu secara teratur, dan data yang disimpan dalam repositori publik dapat digunakan secara efektif oleh lebih banyak anggota, penyimpanan komunitas sementara dapat meningkatkan kinerja sistem secara signifikan.

Manajemen Buffer

Bagian terpenting dari perangkat adalah penyimpanan atau ruang buffer itu sendiri. Pada komputer seluler atau bergerak, perangkat menyimpan informasi orang lain di repositori mereka yang harus dipantau secara hati-hati dengan menghapus data yang tidak diinginkan dan melindungi data yang dapat digunakan dari aplikasi pada perangkat jaringan, seperti perangkat yang diharapkan akan ditemui oleh rekan-rekan kita selanjutnya. Repositori konten dapat diproses melalui aplikasi lain, konten, atau metode lain.

Fitur Daya

Daya merupakan fitur penting lain dari perangkat portabel, yang sebagian besar perangkatnya menggunakan daya baterai. Manajemen daya merupakan masalah terpisah dalam hal penyimpanan dan manajemen bandwidth. Peningkatan transfer data pada konektor optik nirkabel menghasilkan daya yang lebih besar, sementara penyimpanan data lokal dapat menimbulkan biaya energi yang signifikan dalam kontrol memori.

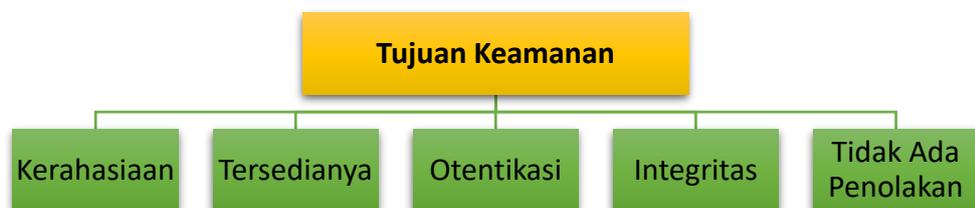
Privasi dan Keamanan

Menemukan keamanan dan kepercayaan antara node anonim dalam jenis jaringan ini merupakan tantangan. Namun, struktur jejaring sosial menyediakan dasar untuk meningkatkan kepercayaan dan memberikan perlindungan melalui penggunaan "komunitas" perangkat serupa di dalam diri mereka sendiri, secara fisik atau mental. Gagasan untuk menggunakan infrastruktur jejaring sosial guna meningkatkan keamanan jaringan bukanlah hal baru. Sebenarnya, karya tersebut mencakup beberapa saran berdasarkan penggunaan jejaring sosial untuk memerangi spam email dan melindungi jaringan dari berbagai jenis serangan. Sebaliknya, penggunaan jejaring sosial sebagai pemisahan jaringan secara menyeluruh merupakan tugas yang baru dan menantang karena, dalam lingkungan ini,

resolusi keamanan berdasarkan server pusat atau spesialis daring tepercaya tidak dapat dicapai. Dalam kasus ini, arah alami dari pengejaran eksploitasi jaringan sosial elektronik dan hubungan antara kepercayaan dan keamanan tertanam kuat dalam hubungan antarmanusia.

5.4 TUJUAN KEAMANAN JARINGAN SELULER NIRKABEL

Jaringan nirkabel lebih layak dibandingkan dengan jaringan kabel, tetapi sangat penting untuk menawarkan komunikasi atau koneksi yang aman dan terjamin antara pengguna. Ada lima tujuan keamanan yang perlu dicapai untuk menjaga kelancaran komunikasi dalam jaringan seluler nirkabel seperti yang ditunjukkan pada Gambar dibawah ini



Gambar 5.4 Sasaran keamanan

- ❖ **Kerahasiaan**—Mengacu pada perlindungan data yang dikirim oleh perangkat sehingga tidak dapat dibaca oleh orang atau titik akses yang tidak berwenang. Karena jaringan nirkabel bersifat terbuka, semua jaringan berada dalam jangkauan transmisi langsung, sehingga pengambilan data menjadi mudah sehingga sangat penting untuk menjaga kerahasiaan data dari pengguna atau perangkat yang tidak berwenang.
- ❖ **Ketersediaan**—“Keaktifan komunikasi” merupakan hal yang paling penting dalam jaringan layanan jaringan harus selalu tersedia saat dibutuhkan. Ketersediaan berarti data, media transmisi, serta node, akan tersedia atau dapat dijangkau dalam jaringan untuk komunikasi atau koneksi jika tidak sedang sibuk di jaringan lain.
- ❖ **Autentikasi**—Mengidentifikasi bahwa jaringan atau klien asli atau tidak palsu dan mencegah parodi sehingga perangkat apa pun yang membawa virus tidak dapat dengan mudah terhubung dengan jaringan asli atau melakukan tindakan ilegal. Karena node palsu memiliki identitas jaringan atau perangkat asli untuk mengakses informasi sensitif dengan mudah, maka sangat diperlukan autentikasi pengguna.
- ❖ **Integritas**—Integritas berkaitan dengan fakta bahwa pesan pengirim harus sampai ke penerima secara utuh, tanpa perubahan atau penghapusan. Itu berarti ketika paket data yang dikirim oleh pengirim ke penerima melalui media transmisi terbuka dan tidak aman harus sama tanpa perubahan atau penggantian satu bit pun dalam paket data.
- ❖ **Non-repudiation**—Memberikan jaminan kepada pengirim bahwa pesan yang dikirim tidak dapat disangkal setelah pengiriman bahwa pesan atau bahwa pesan telah diterima oleh penerima yang dituju tidak akan dapat disangkal. Ini digunakan untuk memisahkan dan mengidentifikasi titik akses yang terinfeksi. Jika Jaringan X menerima

pesan yang terinfeksi dari Jaringan Y, Jaringan X harus dapat menyalahkan Jaringan Y dan memberi tahu jaringan lain tentang hal itu menggunakan non-repudiation.

Klasifikasi Serangan Keamanan

Media transmisi jaringan nirkabel bersifat broadcast. Karena itu, jaringan nirkabel sangat sensitif terhadap berbagai jenis ancaman keamanan. Dalam jaringan nirkabel, serangan keamanan dapat dikategorikan sebagai berikut.

- Serangan pasif versus aktif—Dalam serangan pasif, data berjalan melalui jaringan tanpa operasi mengganggu yang diterapkan pada transmisi. Sementara dalam serangan aktif, gangguan informasi, perubahan, penghapusan, konstruksi, dll., dapat mengganggu fungsi normal jaringan nirkabel.
- Serangan internal versus eksternal—Serangan internal dilakukan di dalam jaringan oleh jaringan yang disusupi yang berada di dalam jaringan, sedangkan serangan eksternal dilakukan oleh jaringan yang tidak berada di dalam jaringan.
- Serangan sembunyi-sembunyi versus tidak sembunyi-sembunyi—Penyerang mencoba menyembunyikan identitas/tindakannya dan beroperasi secara diam-diam untuk mengganggu jaringan. Dalam serangan tidak sembunyi-sembunyi, penyerang tidak menyembunyikan tindakan/identitasnya.
- Serangan kriptografi versus non-kriptografi—Serangan tanda tangan digital, serangan hash collision, dan masih banyak lagi adalah jenis serangan yang termasuk dalam kategori serangan kriptografi. Serangan flooding, serangan blackhole, dll., adalah serangan yang termasuk dalam kategori serangan non-kriptografi.
- Serangan pada berbagai lapisan—Tabel 5.1 menunjukkan serangan, yang diklasifikasikan berdasarkan lapisan jaringan model internet. Ada beberapa serangan, yang termasuk dalam berbagai lapisan seperti peniruan identitas, pemutaran ulang, man-in-the-middle, dll., seperti yang ditunjukkan di bawah ini.

Tabel 5.1 Serangan keamanan pada berbagai lapisan

| Lapisan | Serangan |
|----------------------|---|
| Lapisan Fisik | Pengupasan, Interferensi |
| Lapisan Tautan Data | Penggangguan frame MAC, Pemantauan |
| Lapisan Jaringan | Pengungkapan lokasi, Serangan rushing, Serangan blackhole, Serangan wormhole, Byzantine |
| Lapisan Transportasi | Flooding, Pembajakan |
| Lapisan Aplikasi | Eksplorasi data, Skrip lintas situs, Penyangkalan |

5.5 SERANGAN PALING UMUM DALAM SISTEM NIRKABEL

Ada berbagai jenis serangan keamanan, yang dilakukan oleh penyerang untuk mendapatkan akses dan pengakuan dalam jaringan dan merusak jaringan serta data. Dalam subbagian ini, berbagai serangan keamanan diklasifikasikan atau dijelaskan bagaimana mereka melakukan perilaku jahat.

Serangan Denial of Service (DoS)

Dalam serangan ini, penyerang membiasakan diri dengan banyak paket data palsu atau tidak sah dalam sistem untuk memengaruhi konflik sistem di server nirkabel. Terkadang, sistem yang terinfeksi mungkin berpura-pura sebagai jaringan yang sibuk dan menolak berkomunikasi dengan yang lain. Dalam serangan ini, banyak permintaan palsu atau jenis permintaan lainnya membanjiri sistem atau server untuk membuat jaringan tetap sibuk dan membuat mereka tidak dapat melakukan tugas yang sebenarnya. Ini memengaruhi aksesibilitas jaringan, selanjutnya, teknik deteksi, serta pencegahan serangan ini adalah sebagai berikut. Memperkuat status keamanan mereka: Ini termasuk memperkuat semua sumber daya berbasis internet untuk mencegah kompromi, memasang dan memelihara perangkat lunak anti-virus, menyiapkan dinding keamanan yang dirancang untuk melindungi jaringan dari serangan DoS, dan mengikuti prosedur keselamatan yang ketat untuk mengamati dan mengendalikan lalu lintas yang tidak diinginkan.

Serangan Banjir

Tujuan dari jaringan yang terinfeksi adalah untuk menghabiskan sumber daya dalam jaringan seperti menghabiskan daya baterai jaringan dengan membanjiri permintaan yang tidak perlu. Ini juga disebut serangan konsumsi sumber daya atau serangan informasi palsu. Selain itu, teknik pencegahan untuk serangan banjir disebutkan.

Daftarkan jaringan yang terinfeksi ke daftar hitam Setiap jaringan memiliki nilai ambang batas dalam jaringan yang telah ditentukan sebelumnya. Jika jaringan mengirimkan permintaan RREQ lebih dari nilai ambang batasnya, maka jaringan tersebut akan masuk daftar hitam dari jaringan dan setiap permintaan yang datang dari jaringan daftar hitam akan dibuang begitu saja oleh jaringan lain.

Jamming

Tujuan utama serangan ini adalah untuk mencegah pengiriman dan penerimaan paket yang sah dari sumber ke tujuan. Terkadang, serangan ini dapat dilakukan untuk menangkap jalur dan mendapatkan akses. Dalam serangan ini, pesan permintaan dan respons yang tidak perlu dibanjiri untuk mengganggu rute sehingga fungsionalitas jaringan menurun. Akhirnya, semua rute yang memungkinkan antara jaringan dalam jaringan hancur dan tidak ada komunikasi yang dilakukan, serangan ini juga disebut serangan banjir SYN. Selain itu, beberapa teknik deteksi dan pencegahan serangan ini adalah sebagai berikut.

- ✓ Sistem penguatan anti-jamming—Digunakan untuk melihat apakah ada gangguan yang terjadi. Untuk mengurangi efek gangguan, sistem ini menyediakan adaptasi kecepatan dan tindakan pengendalian daya seperti ARES (Paket perangkat lunak yang memungkinkan file segera diunduh ke dalam sistem).
- ✓ Uncoordinated Direct Sequence Spread Spectrum (UDSSS)—Penerima memiliki sertifikat kunci publik pengirim dalam situasi siaran ini, tetapi mereka tidak bertukar kunci rahasia. Akibatnya, penerima akan dapat memverifikasi permintaan tersebut.
- ✓ Steiner Triple System dan Traversal Design (STS &TD)—Kedua pendekatan ini, STS dan TD, diusulkan untuk memberikan pencegahan gangguan.

Intervensi

Komunikasi radio dapat dihalangi oleh penyerang untuk merusak atau melukai data sehingga tidak dapat mencapai penerima. Hal ini terjadi ketika pengguna dapat mengakses sedikit informasi penting tentang jaringan tanpa akses langsung ke sana. Tujuan dari serangan yang tidak disengaja ini adalah untuk menggabungkan informasi pada satu tingkat keamanan untuk menentukan kebenaran yang harus dilindungi pada tingkat keamanan.

Serangan Deprivasi Tidur

Untuk konsumsi baterai jaringan yang lebih banyak, serangan deprivasi tidur dilakukan. Dalam hal ini, jaringan dipaksa untuk tetap terjaga oleh penyerang untuk mengurangi masa pakai baterai dan mematikan jaringan. Serangan ini adalah jenis serangan yang paling berbahaya pada tahap ini, karena node jahat membuat permintaan ke node hanya untuk membuat korban tetap terjaga. Oleh karena itu, node korban dicadangkan untuk jaringan yang terjaga dan tidak dapat menyelesaikan tugas berbasis energi.

Serangan Lubang Hitam

Dalam serangan ini, jaringan yang terinfeksi menciptakan ilusi bahwa ia memiliki jalur terpendek dari pengirim ke penerima. Setelah itu, semua paket yang masuk ke jaringan yang terinfeksi akan jatuh. Jika lebih dari satu jaringan yang terinfeksi bekerja sama dan mencoba melumpuhkan seluruh jaringan, maka itu disebut serangan lubang hitam kolaboratif atau serangan kehilangan paket. Selain itu, teknik deteksi dan pencegahan yang digunakan untuk melindungi jaringan dari serangan lubang hitam dan serangan lubang hitam kooperatif adalah sebagai berikut.

- Pencegahan Serangan Lubang Hitam Kooperatif (PCBHA)—Konsep PCBHA adalah menggunakan tingkat fidelitas dalam jaringan. Awalnya, setiap jaringan memiliki tingkat fidelitas default, dan setelah distribusi RREQ, jaringan sumber menunggu untuk menerima RREP pengembalian setelah jaringan tetangga, hanya jaringan tetangga yang dipilih yang memiliki tingkat keandalan tingkat lanjut dan melampaui nilai ambang batas, untuk meneruskan paket data. Jaringan tujuan wajib mengembalikan pesan ACK setelah menerima paket data. Ketika jaringan sumber menerima pesan ACK dari jaringan tujuan, jaringan tersebut menambahkan 1 ke tingkat fidelitas jaringan tetangga. Jika tidak ada respons ACK yang diterima oleh jaringan sumber dari jaringan tujuan, maka 1 dikurangi dari tingkat fidelitas jaringan tetangga yang menunjukkan kemungkinan adanya simpul lubang hitam di jaringan pada rute yang diikuti (Heo et al. 2018).
- Perlindungan berdasarkan kriptografi—Untuk melindungi serangan lubang hitam dan serangan lubang hitam kolaboratif, beberapa teknik kriptografi juga digunakan seperti sidik jari (hash atau hash MAC), tanda tangan digital, dan perlindungan lainnya.
- Modifikasi protokol—Untuk melindungi serangan lubang hitam dan serangan lubang hitam kolaboratif, beberapa modifikasi protokol juga dapat dilakukan seperti pemeriksaan silang, tingkat kepercayaan, dan tabel informasi perutean data.

- Metode rute redundan—Untuk mencegah serangan lubang hitam, tidak hanya satu tetapi juga banyak rute ditemukan dari pengirim ke penerima. Jumlah minimum rute yang valid dari pengirim ke penerima, dalam hal apa pun, adalah tiga sesuai.

Serangan Rushing

Dalam serangan ini, jaringan sumber mengirimkan RREQ ke jaringan tujuan melalui beberapa jaringan di antaranya. Bersamaan dengan itu, RREQ lain dikirim ke jaringan tujuan yang sama oleh jaringan penyerang. Jika jaringan tetangga dari jaringan tujuan tersebut menerima permintaan jaringan penyerang terlebih dahulu, maka rute yang terinfeksi tersebut dipilih (rute yang memiliki jaringan yang terinfeksi). Setelah itu, permintaan asli yang dilakukan dari jaringan sumber diterima oleh jaringan tetangga dan akan dibuang. Akibatnya, komunikasi antara jaringan sumber dan jaringan tujuan hanya dilakukan melalui jaringan yang terinfeksi atau jaringan penyerang. Selain itu, teknik deteksi yang digunakan untuk mendeteksi serangan rushing dalam jaringan dinyatakan sebagai berikut.

- Deteksi tetangga yang aman—Mengonfirmasi bahwa jaringan tetangga berada dalam skala komunikasi maksimum dengan memperkenalkan pesan delegasi yang didasarkan pada tanda berdasarkan beberapa entri tabel perutean.

Serangan Sybil

Dalam serangan ini, jaringan mengambil alih seluruh jaringan dan kemudian mengklaim banyak identitas. Umumnya, hal ini mengganggu aksesibilitas tetapi, di sisi lain, hal ini juga memengaruhi tujuan keamanan lainnya. Serangan Sybil adalah jenis serangan jaringan komputer di mana penyerang mengabaikan reputasi sistem dengan membuat sejumlah besar identitas palsu dan menggunakannya untuk mendapatkan pengaruh yang tak tertandingi. Teknik deteksi dan pencegahan untuk serangan ini dinyatakan di bawah ini.

- ◆ **Sertifikasi terpercaya**—Setiap sistem dalam jaringan memiliki satu sertifikasi identitas yang diberikan oleh otoritas terpusat yang tidak dapat diubah atau digandakan. Ini adalah jenis sertifikasi yang merupakan dokumen hukum yang diberikan oleh otoritas terpusat untuk mengesahkan individualitas kepercayaan dan tindakan wali amanat.
- ◆ **Perangkat terpercaya**—Dalam pendekatan ini, kartu jaringan digunakan untuk menyediakan keaslian entitas dan semua entitas wajib memiliki kartu dalam jaringan, ini adalah semacam sertifikasi yang merupakan dokumen hukum yang diberikan oleh otoritas terpusat.

Serangan Sinkhole

Serangan ini dilakukan di dalam suatu sistem. Penyerang mengakomodasi jaringan di dalam seluruh jaringan dan memulai serangan seperti packet drop, pembaruan perutean palsu, dan modifikasi. Untuk mendeteksi dan mencegah serangan sinkhole, mekanisme dikembangkan yang mempertimbangkan pengoperasian protokol AODV serta perilaku serangan sinkhole. Mekanisme ini dibagi menjadi empat fase—fase inisialisasi, fase penyimpanan, investigasi, dan fase penyambungan kembali.

Serangan Gray Hole

Ini adalah kasus serangan blackhole yang lebih unggul. Ini sangat mirip dengan serangan blackhole. Satu-satunya perbedaan adalah serangan blackhole menjatuhkan semua

paket data sementara serangan gray hole dapat atau tidak dapat menjatuhkan paket data. Serangan ini tidak memiliki perilaku yang tetap. Serangan ini sering kali mengubah statusnya dari jaringan yang terinfeksi ke jaringan normal dan sebaliknya. Untuk melindungi sistem dari serangan ini, kita dapat menggunakan semua teknik deteksi dan pencegahan serangan blackhole yang telah dibahas karena cara kerja kedua serangan tersebut sangat mirip.

Serangan Bizantium

Dalam serangan ini, pembuatan loop perutean, penerusan paket melalui jalur yang tidak ada, atau serangan menjatuhkan dilakukan dalam serangan Bizantium oleh jaringan yang terinfeksi atau sekelompok jaringan yang terinfeksi yang bekerja sama.

Serangan Ubur-ubur

Motif dari serangan ini adalah untuk membuat penundaan yang tidak diinginkan saat paket data sedang dikirim. Serangan ini menyebabkan jeda dalam penerusan paket data yang menghasilkan penundaan ujung ke ujung yang tinggi. Serangan ini dikenal sebagai serangan Ubur-ubur atau serangan GTS dan serangan Waktu. Berbagai teknik deteksi dan pencegahan untuk serangan ubur-ubur adalah sebagai berikut.

1. **2ACK**—Teknik dasar 2ACK didasarkan pada gagasan bahwa pengakuan dua hop tertentu yang disebut 2ACK dikirim oleh jaringan tujuan ke jaringan sumber hanya untuk menunjukkan bahwa paket data berhasil diterima oleh jaringan tujuan.
2. **Sistem berbasis kredit**—Dalam pendekatan tersebut, token atau kredit digunakan oleh jaringan, saat jaringan mulai mengirim paketnya untuk mendorong transmisi yang berhasil.
3. **Skema berbasis reputasi**—Dalam sistem ini, jaringan tunggal mampu mendeteksi jaringan yang berperilaku tidak semestinya (seperti CONFIDANT).

Serangan Wormhole

Paket data ditangkap oleh penyerang dari satu tempat dan disalurkan ke tempat lain untuk mengacaukan perutean. Terkadang serangan ini juga dapat memengaruhi aksesibilitas jaringan. Jika mekanisme penyaluran tidak diterapkan dengan benar, semua paket dapat dijatuhkan oleh penyerang. Selanjutnya, teknik deteksi dan pencegahan untuk serangan wormhole dijelaskan.

1. **Clustering**—Seluruh jaringan dipartisi menjadi cluster kecil (kelompok jaringan) yang berisi kepala cluster. Dalam sebuah cluster, jumlah anggota (jaringan) ditentukan sebelumnya. Kepala cluster adalah pemimpin cluster yang memiliki kekuatan untuk mengirimkan informasi ke seluruh anggota. Tidak ada hubungan komunikasi antara anggota, komunikasi hanya dilakukan melalui kepala cluster.
2. **Packet leash**—Dua jenis leash digunakan untuk mendeteksi dan mencegah serangan wormhole. Yang pertama adalah geographic leash, dan yang lainnya adalah temporal leash. Dalam geographic leash, jaringan mengirimkan lokasi dan waktu transmisinya sebelum mengirim paket data. Ketika penerima menerima paket data, ia menghitung waktu traversal paket hanya untuk mencocokkan informasi yang dikirim oleh pengirim. RTT (Round trip time) dan time of flight adalah beberapa metode yang termasuk dalam geographic leash untuk mendeteksi serangan. Di sisi lain, dalam temporal leash, paket

dikirim dengan stempel waktu pengiriman yang ditambahkan oleh pengirim, dan jarak tempuh paket tersebut dihitung oleh penerima.

3. **Teknik lain**—Beberapa teknik lain juga dapat digunakan untuk mencegah serangan ini seperti DS, pemantauan jaringan, dan teknik penanggulangan lubang cacing berbasis GPS (antena terarah).

Penyadapan

Ini adalah pemblokiran dan pengintaian data dan percakapan oleh penyerang. Ini mengganggu privasi jaringan. Ini juga disebut analisis lalu lintas atau serangan sniffing. Ini adalah pencurian data saat dikirimkan ke jaringan melalui node, telepon pintar, atau perangkat lain yang terhubung. Ini menggunakan peluang koneksi jaringan yang tidak aman untuk mengakses data saat dikirim atau diterima oleh penggunanya. Ini terjadi ketika penjahat dunia maya mencuri informasi yang dikirim atau diterima oleh pengguna melalui jaringan yang tidak aman. Selain itu, dengan penggunaan teknik enkripsi yang kuat, kita dapat mengurangi serangan ini dan dapat melindungi sistem/jaringan.

Serangan Pengungkapan Informasi

Dalam jenis serangan ini, penyerang mengungkapkan informasi yang terkait dengan topologi jaringan, data rahasia, posisi geografis jaringan, atau jalur ideal ke jaringan sebenarnya di jaringan. Ini juga dikenal sebagai serangan kebocoran informasi, ini terjadi ketika situs web secara tidak sengaja mengungkapkan data sensitif kepada penggunanya. Bergantung pada kerangka kerjanya, situs web dapat memberikan semua jenis data/informasi sebagai imbalan bagi penyerang potensial, termasuk data pengguna lain, seperti nama pengguna atau informasi keuangan. Hal ini terjadi ketika permintaan tidak cukup melindungi informasi sensitif yang pada akhirnya dapat diungkapkan kepada pihak-pihak yang seharusnya tidak memiliki akses ke informasi tersebut.

Serangan Man-In-The-Middle

Penyerang berada di antara pengirim dan penerima dan mengamati informasi, saat transmisi dan pencurian data/informasi penting dalam serangan ini. Serangan ini adalah nama umum di mana pelaku menempatkan dirinya dalam percakapan antara pengguna dan pendengar permintaan atau berpura-pura menjadi salah satu pihak, membuatnya tampak seperti mereka bertukar informasi umum. Serangan ini juga membantu penyerang yang kejam, tanpa jenis peserta apa pun yang Anda lihat hingga terlambat, untuk membobol data target orang lain dan tidak boleh dikirim sama sekali.

Serangan Replay

Serangan ini bersifat pasif. Dalam serangan ini, penyerang menyimpan pesan atau paket data dari suatu jaringan dan menggunakan pesan yang disimpan tersebut untuk komunikasi lebih lanjut dengan mengendalikan dan mengirimkannya kembali untuk mengakses jaringan dan melakukan tindakan penyamaran.

Serangan ACK

Dalam serangan ini, pengakuan palsu dikirim oleh peretas ke penerima, simpul perantara, serta pengirim untuk menguping jaringan. Ketika permintaan dikirim oleh pengirim, penyerang memanfaatkan hal ini untuk mengirim pengakuan palsu sebagai respons

di tempat penerima atau simpul perantara. Setelah pengakuan palsu diterima oleh pengirim yang persis sama dengan pengakuan penerima yang sebenarnya, pengirim terperangkap dan mengirimkan data asli sebagai respons atas pengakuan palsu yang diterima.

Serangan Spoofing

Ketika jaringan/simpul yang terinfeksi salah mencetak identifikasinya ke simpul asli sebagai beberapa simpul, yang mengakibatkan perubahan topologi, penundaan, perubahan data, tindakan ilegal, dan kehilangan data. Sistem yang terinfeksi dapat berpura-pura menjadi anggota jaringan yang valid setelah mempertahankan alamat IP yang sama dari anggota jaringan tersebut. Ini dikenal sebagai serangan spoofing, serangan spoofing IP, dan serangan pembajakan sesi.

Serangan Spoofing Tautan

Dalam Serangan Ini- ketika jalur palsu ke jaringan yang tidak ada dibangun atau pembaruan palsu dalam tabel perutean dilakukan, maka protokol perutean secara langsung terpengaruh. Ini juga disebut serangan spoofing Tautan, serangan fabrikasi, atau serangan Sistem Pemosisian Global (GPS). Oleh karena itu, teknik deteksi yang digunakan untuk melindungi jaringan dari serangan spoofing tautan disebutkan. • Deteksi berbasis informasi lokasi—Setiap jaringan memiliki GPS dan stempel waktu yang dilampirkan melalui teknik ini. GPS bekerja dengan metode kriptografi. Dalam jaringan, setiap jaringan harus mengumumkan informasi lokasi terkini dan aktualnya dengan bantuan GPS ke jaringan lain sehingga setiap jaringan yang ada di jaringan tersebut mengetahui detail lokasi jaringan lain di jaringan tersebut. Jarak antara dua jaringan yang berpura-pura bertetangga dapat diverifikasi dan tautan palsu dapat ditolak.

Serangan Spear-Phishing

Spear-phishing juga dikenal sebagai spoofing email, dalam hal ini, penyerang memaksa korban untuk membuka emailnya guna memperoleh akses dan mengambil informasi penting. Ini adalah serangan email jahat yang ditujukan pada organisasi atau individu, yang mencari akses tidak sah ke informasi sensitif. Ini adalah upaya langsung untuk mencuri informasi sensitif seperti informasi akun atau informasi keuangan dari korban, biasanya untuk alasan jahat. Ini dicapai dengan memperoleh informasi pribadi dari korban seperti teman, kampung halaman, tempat yang sering mereka kunjungi, dan apa yang baru saja mereka beli secara daring.

Serangan Penolakan

Serangan penolakan mengacu pada penolakan dalam mengambil bagian dalam aktivitas komunikasi, yaitu node yang terkena serangan penolakan akan terus menolak untuk membuat koneksi atau mengambil bagian dalam berbagi paket data dengan menunjukkan bahwa mereka sibuk. Dua teknik yang diusulkan dalam literatur untuk melindungi jaringan dari serangan penolakan adalah buat Jejak Audit Aman (CSAT) dan Tanda Tangan Digital (DS).

Injeksi Kode yang Terinfeksi

Virus, worm, bom logika, spyware, adware, dan Trojan horse adalah contoh pemrograman berbahaya yang dapat menargetkan sistem operasi dan aplikasi pengguna serta

jaringan. Ini juga dikenal sebagai serangan malware. Teknik deteksi atau pencegahan untuk serangan ini adalah sebagai berikut:

- **Analisis kode statis**—Ini adalah metode paling efektif untuk mencegah malware berbahaya menginfeksi sistem bisnis. Saat ini, pemindai terkemuka dapat dengan cepat mengekspos kode yang terinfeksi seperti teknik anti-debugging, informasi stabil, kebocoran data, bom waktu, rootkit, dll.

Serangan Mis-Relay Bersekongkol

Dalam serangan mis-relay berkolusi, alih-alih satu penyerang, sekelompok penyerang bekerja sama secara diam-diam untuk mengubah paket data atau mengirim paket yang tidak terkirim untuk mengganggu operasi normal jaringan. Ketika penyerang menjatuhkan paket, hal itu berdampak pada ketersediaan jaringan. Untuk mendeteksi serangan ini, pendekatan berbasis pengakuan digunakan di sisi penerima dan juga sisi pengirim.

Serangan Penerusan Selektif

Penyerang mendapatkan semua paket data yang berasal dari sumber dan kemudian meneruskan beberapa paket data ke node tujuan yang dipilih secara acak, sementara paket data yang tersisa dicuri oleh penyerang sehingga tindakan jahat dapat dilakukan.

Serangan Peretasan Basis Data

Dalam jaringan, semua aktivitas atau data yang disimpan dalam basis data harus dikonfigurasi dengan benar tetapi ketika dikonfigurasi dengan tepat. Namun, jaringan tersebut dapat diretas jika dikonfigurasi secara tidak benar.

Buku ini membahas dan menyajikan berbagai masalah keamanan yang ada di jaringan seluler atau nirkabel yang mengganggu fungsi normal jaringan. Sifat seluler jaringan membuatnya semakin rentan terhadap serangan keamanan seperti serangan DoS, serangan Blackhole, Jamming, serangan Flooding, serangan Sybil, serangan Gray hole, serangan IP spoofing, serangan Rushing, serangan Sleep deprivation, serangan Wormhole, dll. Buku ini membahas berbagai kategori jaringan seluler nirkabel, berbagai tantangan jaringan seluler nirkabel, tujuan keamanan, dan klasifikasi serangan ke dalam berbagai kategori pada berbagai ukuran. Terakhir, buku ini menyajikan beberapa deteksi dan pencegahan serangan seperti yang diusulkan oleh berbagai peneliti. Buku ini menyajikan survei komprehensif tentang serangan pada jaringan seluler nirkabel dan solusi yang dimaksudkan. Dalam pekerjaan mendatang, kami akan merancang teknik yang dapat mengamankan jaringan dari berbagai jenis serangan.

Tabel 5.2 Serangan keamanan pada jaringan seluler nirkabel

| | | | | |
|----------------------------|-------------------------------|--|--|------------------------|
| Serangan lubang pembuangan | Serangan aktif | Penyerang mengirimkan detail perutean palsu untuk mengumpulkan semua lalu lintas jaringan. Paket data juga dapat dimodifikasi oleh penyerang | SAR | Semua sasaran keamanan |
| Serangan lubang abu-abu | Serangan aktif | Memberikan permintaan palsu dan kemudian membuang (mungkin atau mungkin tidak) paket-paket tersebut | Abaikan jaringan yang terinfeksi | Ketersediaan |
| Serangan lubang cacing | Serangan pasif/Serangan aktif | Jaringan yang terinfeksi menggunakan tautan berkecepatan | Pengelompokan, Paket paling sedikit, Tanda tangan digital (Waktu | Kerahasiaan |

| | | | | |
|-----------------------------------|----------------|---|---|------------------------------|
| | | tinggi untuk terhubung ke sumber dan bertindak sebagai tetangga asli | perjalanan pulang pergi), Antena terarah | |
| Pengacauan | Serangan aktif | Memblokir paket asli agar tidak dikirim atau diterima | ARES, UDSSS, UFH | Ketersediaan |
| Serangan lubang hitam dan | Serangan aktif | Penyerang membuat rute setelah menerima permintaan rute dan paket data yang diterima tidak dikirim ke jaringan | PCBHA, Perlindungan berbasis kriptografi, Modifikasi protokol, dan Metode rute redundan | Ketersediaan |
| serangan lubang hitam kolaboratif | Serangan pasif | Penyerang memantau rute dan transmisi paket data secara ketat. Untuk menangkap informasi pribadi yang penting | Metode penyandian yang kuat | Kerahasiaan |
| Analisis lalu lintas | Serangan aktif | Membanjiri jaringan dengan permintaan yang tidak perlu dan pesan balasan, menghabiskan sumber daya jaringan | Daftar hitam jaringan yang terinfeksi | Ketersediaan |
| Serangan terburu-buru | Serangan aktif | Ketika penyerang menerima paket data permintaan rute, ia mengirimkannya ke seluruh jaringan hingga jaringan asli | Deteksi tetangga yang aman | Ketersediaan |
| Serangan pemalsuan tautan | Serangan aktif | Untuk mengubah rute, tempatkan rute ke yang tidak ada | Deteksi berbasis informasi lokasi | Keaslian |
| Serangan mis-relay yang berkolusi | Serangan aktif | Beberapa modifikasi diterapkan pada paket dan membuang paket tersebut untuk menghancurkan fungsi normal jaringan. | Pendekatan berbasis pengakuan | Kerahasiaan dan ketersediaan |
| Penyadapan | Serangan pasif | Temukan informasi rahasia dengan mengendus paket data | Mekanisme enkripsi yang kuat | Kerahasiaan |
| Serangan ubur-ubur | Serangan aktif | Memperkenalkan penundaan yang tidak perlu selama pengiriman paket | Sistem berbasis kredit, 2ACK, Skema berbasis reputasi | Ketersediaan |
| Penolakan layanan | Serangan aktif | Penyerang bertindak sebagai jaringan yang sibuk, menolak atau menghentikan penerusan paket | Cara memikat berdasarkan penolakan | Ketersediaan |
| Serangan kode yang terinfeksi | Serangan aktif | Kode yang terinfeksi dimasukkan ke dalam data atau melalui jaringan | SCA | Integritas |
| Serangan Sybil | Serangan pasif | Lebih dari satu individualitas dihasilkan oleh penyerang untuk satu jaringan | Sertifikasi tepercaya, perangkat tepercaya, kekuatan sinyal yang diterima | Ketersediaan |
| Serangan Penolakan | Serangan aktif | Penolakan untuk berbagi | DS dan CSAT | Ketidaksangkalan |

BAB 6

MANFAAT 5G UNTUK PERTANIAN 4.0

TREN, ISU, DAN TINJAUAN

6.1 PENDAHULUAN

Jaringan 5G yang sangat cepat akan memainkan peran penting dalam industri pertanian selama beberapa tahun mendatang, yang berfungsi untuk meningkatkan hasil panen dan kualitas tanaman dengan kebutuhan tenaga kerja yang minimal. Petani akan lebih terinformasi untuk membuat keputusan cerdas terkait irigasi dengan menggunakan pertanian cerdas dan presisi. Pengenalan 5G akan secara signifikan mengubah karakteristik pertanian dan praktik pertanian di era Pertanian 4.0 ini. Layanan komputasi awan berbasis IoT pada jaringan 5G menawarkan solusi pertanian cerdas yang fleksibel dan berdaya guna. Hal ini akan memungkinkan pengoperasian berbagai perangkat pertanian tanpa awak yang lancar selama membajak, menabur benih, dan mengelola fase pertanian tanaman, yang menghasilkan operasi yang aman, andal, ramah lingkungan, dan hemat energi, serta terciptanya pertanian tanpa awak.

Buku ini mengkaji kebutuhan dan peran pertanian cerdas dan presisi di sektor pertanian yang menggabungkan aplikasi 5G dalam pertanian presisi di era Pertanian 4.0 saat ini, seperti pemantauan waktu nyata, analisis data, repositori cloud, konsultasi virtual, dan pemeliharaan prediktif, serta membahas peluang yang akan datang. Solusi IoT berbasis 5G yang berfokus pada Komunikasi Latensi Rendah yang Sangat Andal (URLLC) seperti kontrol otomatis dan kendaraan yang dikendarai sendiri untuk mendukung waktu respons yang cepat dan ketergantungan yang lebih tinggi akan mengurangi keterlambatan komunikasi dalam aplikasi pertanian yang sensitif terhadap waktu dan jaringan non-publik untuk mengalokasikan sebagian spektrum frekuensi sesuai permintaan, alternatif pemotongan jaringan juga dibahas di sini.

Pertanian merupakan faktor pendapatan utama sebagian besar negara dan memainkan peran penting dalam pembangunan ekonomi mereka. Berbagai gaya pertanian dilakukan di seluruh dunia, dengan tujuan produksi makanan sehat untuk memenuhi kebutuhan penduduk dunia. Pertanian merupakan sumber pendapatan utama negara berkembang. Pertanian modern dimulai sekitar abad kedelapan belas, selama Revolusi Pertanian Inggris, ketika banyak perbaikan pertanian dicapai dalam waktu singkat, menghasilkan peningkatan hasil panen yang produktif dan cara yang lebih efisien. Produksi pangan harus ditingkatkan dengan cepat untuk mengimbangi pertumbuhan populasi global yang cepat. Praktik pertanian tradisional menghasilkan hasil yang tidak teratur, penggunaan sumber daya yang berlebihan, dan penciptaan sampah yang tidak terkendali.

Petani akan membutuhkan teknologi yang lebih maju untuk memenuhi permintaan ini, yang akan memungkinkan mereka untuk menghasilkan lebih banyak sambil membutuhkan lebih sedikit tenaga kerja secara manual. Di sinilah otomatisasi berperan. Dalam konteks ini, pengenalan komunikasi 5G memberikan faktor yang berpotensi mengganggu. Dalam hal komunikasi, kecepatan data 5G yang ditingkatkan, latensi ujung ke ujung yang lebih rendah, dan jangkauan yang lebih luas memiliki kemampuan untuk memenuhi bahkan permintaan pengguna akhir IoT yang terus meningkat. Kemampuannya untuk mengakomodasi sejumlah besar perangkat memungkinkan terciptanya Internet of Things yang benar-benar global. Lebih jauh lagi, karena berfokus pada integrasi metode akses, 5G dapat berfungsi sebagai kerangka kerja interkoneksi terpadu, yang memungkinkan "benda-benda" untuk terhubung ke Internet dengan mulus. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengkaji secara mendalam potensi 5G untuk Internet of Things dalam meraup manfaat penuh dari pertanian pintar. Namun, dengan layanan mesin-ke-mesin, adopsi 5G akan membantu mempercepat seluruh prosedur. Kemampuan transfer data real-time 5G dapat membantu dalam pengoperasian teknologi ini secara efisien, yang memungkinkan pengambilan keputusan yang cepat, andal, berbasis data, dan real-time. Aplikasi 5G dalam pertanian meliputi mesin yang disempurnakan dengan AI, penyemprot drone, estimasi panen yang akurat, irigasi yang efektif, dan pelacakan ternak serta manajemen.

6.2 TANTANGAN YANG DIHADAPI OLEH TEKNOLOGI JARINGAN YANG ADA

Paradigma jaringan 4G menghadapi batasan signifikan yang dapat menghambat teknologi tersebut untuk mencapai prospek penuhnya dalam industri pertanian. Salah satu batasan paling signifikan adalah area operasi. Lokasi terpencil tidak tercakup oleh jaringan nirkabel yang ada. Karena kecepatan data yang bervariasi, alokasi sumber daya, serah terima, dan status saluran, masalah antara jaringan heterogen yang memfasilitasi QoS menimbulkan tantangan yang cukup besar. Banyaknya antena dan pemancar menyebabkan masa pakai baterai yang buruk di node seluler. Karena banyak gadget pertanian saat ini, seperti drone dan agribot yang ditenagai oleh baterai, ini tidak dapat dimasukkan ke ladang tanaman terpencil untuk jangka waktu yang lama. Beberapa perangkat terus bertambah jumlahnya, yang membutuhkan kecerdasan, skalabilitas, kapasitas pemrosesan, komunikasi aman, dll. yang lebih tinggi untuk menjalankan operasi komputasi yang mendalam. Latensi yang sangat rendah bersama dengan koneksi yang tinggi sangat penting bagi perangkat IoT untuk memberikan kinerja yang cepat dan harga yang rendah. Karena hanya memungkinkan konektivitas pengalihan paket berbasis IP, jaringan 4G (LTE) yang ada tidak dapat menyediakan fungsi tersebut. Transisi ke 5G generasi berikutnya akan mengatasi keterbatasan generasi sebelumnya ini.

Motivasi Kerja

Petani dapat mengharapkan manfaat berikut dalam waktu dekat sebagai hasil dari kemampuan 5G yang mudah diakses seperti komunikasi yang lebih cepat, di mana 5G akan menawarkan kecepatan data hingga 10 Gbps, yang 100 kali lebih cepat dari pendahulunya, 4G. Komunikasi real-time antara para pemangku kepentingan akan difasilitasi oleh kecepatan

yang lebih tinggi dan latensi yang jauh lebih rendah. Transfer data dari mesin ke mesin akan memfasilitasi transfer informasi langsung antara peralatan yang mendukung 5G tanpa perlu campur tangan manusia yang dapat meningkatkan kecepatan dan efisiensi proses pertanian. 5G akan mengurangi biaya, di mana pemilik pertanian dapat meningkatkan pendapatan secara signifikan dengan membutuhkan lebih sedikit input pertanian, tenaga kerja, dan sumber daya lainnya. Ada kemungkinan bahwa 5G akan membutuhkan waktu lebih lama untuk berkembang sepenuhnya dan mencakup semua lokasi yang jauh. Namun, ketika itu terjadi, teknologi pertanian baru ini akan memangkas persyaratan tenaga kerja sekaligus menghadirkan otomatisasi. Jaringan 5G meminimalkan waktu per unit untuk transfer data, mendukung kecepatan data yang lebih tinggi, memastikan koneksi yang aman dan andal yang diperlukan untuk efisiensi aplikasi yang sensitif terhadap waktu seperti penjadwalan irigasi yang bergantung pada prediksi kekeringan dan banjir secara real-time.

Masalah dan Kontribusi yang Ada

Seiring dengan meluasnya jangkauan 5G di seluruh dunia, jangkauan yang luas akan tersedia untuk berbagai aplikasi baru. Jaringan energi 5G menggunakan LTE untuk mesin (LTE-M) dan teknologi IoT pita sempit. Untuk memenuhi persyaratan layanan, 5G akan membentuk jaringan yang sangat padat. Kepadatan yang tinggi menciptakan kesulitan organisasi mobilitas dan menyebabkan pemanfaatan energi yang lebih besar. Metode pemanenan energi membantu menyebarkan sejumlah besar sensor nirkabel di lokasi perkotaan dan pedesaan. Kecerdasan juga ditambahkan yang akan menghasilkan penghematan energi yang substansial selama transmisi. Pengaturan parameter yang ideal untuk meminimalkan kehilangan energi dapat dicapai melalui analisis data jaringan yang canggih. Lebih jauh lagi, daripada pendekatan reaktif tradisional terhadap manajemen energi, metode proaktif dapat ditetapkan. Demi masa depan 5G yang stabil, kami mempelajari solusi pengelolaan dan pemanenan energi untuk perangkat IoT. Berdasarkan skema pemanenan energi, perangkat IoT akan menjadi strategi penghematan daya dan pengelolaan di tingkat sirkuit, sistem, dan perangkat yang akan diterapkan dalam waktu dekat.

6.3 CAKUPAN JARINGAN BERBASIS 5G DALAM AGRIIOT

5G menyediakan serangkaian kemampuan yang beragam untuk memenuhi kebutuhan layanan eMBB, mMTC, dan URLLC. Gagasan "pemotongan jaringan" memungkinkan pengoperasian banyak jaringan khusus pada satu platform. Fleksibilitas spesifikasi 5G untuk mendedikasikan satu bagian khusus jaringan untuk area aplikasi tertentu juga akan memungkinkan aplikasi IoT jarak jauh dan seluler baru, tidak seperti jaringan seluler generasi sebelumnya. Dalam 5G, pemotongan jaringan memungkinkan berbagai segmen koneksi digunakan untuk mengimplementasikan satu atau beberapa kasus penggunaan. Dalam 5G, pemotongan jaringan memungkinkan berbagai segmen koneksi digunakan untuk mengimplementasikan satu atau beberapa kasus penggunaan. Jaringan 5G akan dihubungkan oleh sejumlah besar node IoT. Ini akan memungkinkan kecepatan transfer data dan komunikasi yang sangat andal atau sangat rendah. Komputasi tepi dan Kecerdasan Buatan di

tepi, yang menggabungkan 5G, akan menjalankan realitas tertambah (AR) baru, aplikasi IoT industri yang sangat penting, realitas virtual (VR), dll.

Antarmuka pelacakan mata VR, yang menunjukkan titik fokus pengguna dan menyediakan gambar beresolusi tinggi di titik bidang fokus, adalah area aplikasi VR-IoT. Untuk menghemat energi, resolusi yang dikurangi digunakan di tempat lain. 5G dapat menyediakan akomodasi bagi jutaan perangkat 5G dalam satu kilometer persegi karena kemampuannya untuk "komunikasi tipe mesin besar." Teknologi 5G sangat cocok untuk memenuhi persyaratan waktu yang dikurangi untuk melakukan transfer data dan kebutuhan ketergantungan peralatan IoT yang penting. Kemampuan untuk memberikan layanan bagi sistem yang penting dan dapat diandalkan, seperti pemantauan pertanian berdasarkan penginderaan parameter cuaca waktu nyata sangat penting bagi 5G dengan jaringan seluler. URLLC adalah karakteristik utama 5G dan salah satu fondasi utamanya. IoT URLLC digunakan untuk mengendalikan lalu lintas dengan lebih baik dan mencegah kemacetan sambil memberikan peringatan dini kepada pengguna.

Mayoritas perangkat IoT 5G akan digerakkan sepenuhnya oleh baterai. Jadi, memperpanjang masa pakai jaringan perangkat IoT memerlukan rencana penghematan energi seperti memodifikasi frekuensi penginderaan dan pengumpulan data. Komputasi di mana-mana berbiaya rendah adalah pendorong IoT utama untuk memastikan efisiensi energi. Ukuran komputasi unit telah menyusut selama lima dekade terakhir, dan ini, bersama dengan teknologi jaringan 5G baru seperti MIMO masif dan transmisi gelombang milimeter, dapat membantu IoT mewujudkan potensi penuhnya. Pengurangan energi yang dapat diakses adalah kekurangan komputasi di mana-mana. Seiring waktu, ukuran unit pemrosesan tunggal telah menyusut secara dramatis. Sementara itu, teknologi baterai dan penyimpanan energi berkembang sangat lambat. Akibatnya, node IoT memiliki jumlah energi yang tersedia terbatas. Sensor memiliki ukuran baterai yang sederhana. Karena umur baterai biasanya jauh lebih pendek daripada umur elektronik, mengembangkan sistem berbasis pemanenan energi yang dapat mencapai energi nol bersih untuk simpul sensor akan menjadi strategi yang unggul.

Metode Manajemen Konsumsi Energi dalam Jaringan 5G

Teknologi Pemanenan Energi akan sangat penting dalam memperpanjang umur jaringan dengan menyediakan cara pengisian ulang baterai yang terkendali. Ini merupakan kemajuan potensial yang tidak mengurangi kebutuhan daya perangkat tetapi justru membuatnya lebih mudah untuk diubah menjadi daya mandiri jika terjadi pemadaman listrik. Sistem pemanenan energi 5G dapat dibagi menjadi sumber energi, metode konversi energi, fase pemanenan energi, model pemanenan, dll. Transduser dapat mengubah sumber pemanenan energi menjadi daya listrik yang dapat digunakan yang melakukan konversi daya dan kapasitas penyimpanan energi, seperti superkapasitor atau baterai, untuk menyimpan daya yang dikonversi. Ada berbagai sumber energi ambien yang tersedia di lingkungan seperti Surya, elektromagnetik, getaran mekanis atau sumber energi kinetik, termal dll. semuanya merupakan contoh sumber energi terbarukan. Secara umum, radiasi elektromagnetik dapat digunakan untuk menghasilkan energi secara non-radiatif dan metode radiatif. Metode non-

radiatif memiliki kompetensi yang lebih tinggi tetapi jangkauan yang lebih sedikit, tetapi metode radiatif memiliki efisiensi yang lebih rendah tetapi jangkauan yang relatif lebih baik. Akibatnya, di masa depan 5G dan seterusnya, pemanfaatan pendekatan ini secara efektif sangat penting. Energi matahari telah terbukti menjadi sumber praktis pembangkitan daya yang signifikan. Generator mengubah energi mekanik menjadi daya listrik yang berguna dari sana. Dengan menggunakan generator termoelektrik, energi dengan cepat diekstraksi menggunakan pemanenan energi termal. Sumber energi kinetik dapat menjadi pendorong penting dalam pengembangan komponen yang mendukung 5G.

Dengan konektivitasnya yang cepat, kemampuan nirkabel 5G dapat membuka opsi baru untuk analisis data terkait pertanian. Jika kerangka kerja manajemen daya generik dapat melayani semua perangkat IoT 5G dengan kemampuan pemanenan energi, perluasan bidang tersebut terbatas di mana manajemen daya yang cerdas diperlukan. Kemampuan untuk menghentikan sistem saat tidak digunakan bisa dibilang merupakan cara yang paling efisien untuk menghemat energi. Sensor, manajemen daya, transceiver komunikasi, dan pemanen energi membentuk simpul penginderaan perangkat IoT. Cara paling praktis untuk mengurangi penggunaan energi sistem adalah dengan menggunakan mode tidur untuk menghidupkan dan mematikan BS. Ini menjamin bahwa energi yang ditangkap digunakan secara efisien. Karena subsistemnya tetap aktif dalam keadaan diam, perangkat IoT 5G kemudian juga dapat menghabiskan sejumlah besar energi saat tidak mengirimkan data/penginderaan. Sementara itu, salah satu aspek jaringan generasi berikutnya adalah proporsionalitas energi dengan lalu lintas.

Setiap tingkat tidur BS ditentukan oleh ambang batas latensi transisi. Jumlah latensi reaktivasi dan deaktivasi bagian tersebut adalah laju transisi subkomponen dari data yang ditransfer per satuan waktu. Saat BS dalam keadaan tidur, waktu aktivasi cepat digunakan untuk menjaga subkomponen dengan laju transisi transfer data yang panjang per satuan waktu selalu aktif. Di sebagian besar sistem saat ini, strategi ini digunakan untuk menjaga QoS. Dengan memanfaatkan kemampuan perangkat keras perangkat IoT, fleksibilitas jaringan, dan periodisitas pengukuran yang diperoleh perangkat, kondisi tidur dapat mencapai penghematan energi yang signifikan. Periode tidur BS terpendek adalah dalam mode tidur satu. BS yang berada dalam mode tidur 1 masih aktif dan dapat menerima data. Saat BS tidak mentransmisikan data, BS secara otomatis beralih ke kondisi tidur ini. Mode tidur dua menunjukkan situasi tidur kondisi tengah di mana lebih banyak subbagian dinonaktifkan, dan ini setara dengan 1 ms.

Akhirnya, BS dalam mode siaga dalam mode tidur empat, yang berlangsung minimal 1 detik. Dalam mode tidur 4, BS dinonaktifkan, meskipun dapat diaktifkan kembali. Transfer data komponen IoT dapat dijadwalkan dengan empat mode tidur BS yang terpisah untuk memastikan bahwa energi yang dipanen digunakan sambil tetap memenuhi QoS. Untuk struktur rangka 5G, lima numerologi berbeda telah ditetapkan. Karena kepadatan daya dan efisiensinya yang tinggi, baterai Lithium dapat memberikan masa pakai baterai yang lama. Aplikasi IoT yang masif memerlukan perangkat miniatur dan otonom, yang membatasi manajemen daya dan kemampuan penyimpanan energi. Baterai yang tidak dapat diisi ulang

juga akan terbatas penggunaannya sebagai sumber energi utama untuk aplikasi IoT yang luas karena seringnya penggantian, konsekuensi lingkungan, dan kekurangan sumber energi. Teknologi baterai lainnya adalah film tipis solid-state, yang memiliki konsentrasi energi tinggi tetapi kepadatan daya rendah. Karena sifat-sifat seperti kelenturan dan pembuatan dalam paket IC, baterai ini memungkinkan pengurangan ukuran dan biaya yang signifikan. Saat ini, superkapasitor digunakan sebagai pengganti baterai isi ulang karena memiliki siklus pengisian-pengosongan yang tidak terbatas. Karena baterai dapat dibentuk menjadi berbagai bentuk dan ukuran, baterai tetap menjadi pilihan yang layak untuk penerapan IoT skala besar yang memerlukan konsumsi daya yang sangat rendah dan masa pakai 10 tahun. Mengintegrasikan baterai isi ulang dengan pendekatan hemat energi sangat penting untuk memperpanjang masa pakai perangkat berkemampuan 5G dengan mengisi ulang baterai.

6.4 AREA APLIKASI 5G DALAM PERTANIAN CERDAS

Agregasi Data

Untuk agregasi data terpusat dalam operasi pertanian besar, teknologi 5G memiliki banyak potensi. Untuk mengagregasi data dari sistem manajemen tanaman yang dipantau secara mikro, pertanian perusahaan besar dapat membangun jaringan 5G pribadi. Sistem ini menggabungkan kepadatan sensor kelembapan tanah yang ratusan kali lebih besar daripada yang saat ini didukung oleh teknologi yang tersedia. Jaringan ini dapat memungkinkan sistem pemantauan waktu nyata yang lebih efisien, lengkap dengan pemicu untuk membatasi irigasi dan sistem pendukung tanaman lainnya.

Analisis Prediktif

Pertanian industri besar dapat memanfaatkan analisis prediktif dengan lebih baik berkat teknologi 5G, yang memungkinkan agregasi data. Perangkat lunak analisis mengembangkan model dan prakiraan berdasarkan data masa lalu dan saat ini tentang keadaan (misalnya kelembapan tanah dan penggunaan pestisida) untuk membantu petani dalam membuat keputusan. Analisis akan menjadi lebih tepat karena 5G memungkinkan data waktu nyata yang lebih padat, memaksimalkan produksi dan efisiensi pertanian.

Operasional Drone

Petani makin banyak menggunakan drone untuk memeriksa hasil panen mereka. Drone lebih murah daripada mengendarai traktor di ladang, dan drone menyediakan data yang lebih akurat tentang kerusakan tanaman dan aspek lainnya. Drone akan mampu mengumpulkan data video berkualitas tinggi dan mengirimkannya lebih cepat berkat teknologi pita lebar 5G. Kemampuan transfer data berkecepatan tinggi ini akan memungkinkan pengembangan teknologi drone AI dan laporan waktu nyata.

Pelacakan Hewan dan Pemantauan Waktu Nyata

Sensor pemantauan hewan kemungkinan besar akan tetap terhubung melalui Wi-Fi, Bluetooth, atau LTE LPWAN hingga Rel 17 meningkatkan kepraktisan jaringan sensor 5G berdaya rendah dan lebih padat. Peternakan besar yang terkonsentrasi, tempat infrastruktur 5G dapat dipasang di area kecil (misalnya peternakan ayam) dan hewan individu dapat dilacak, merupakan pengecualian. Sensor manajemen kawanan, seperti kalung pintar dan

tanda telinga, telah dikembangkan oleh pengembang teknologi pertanian untuk melacak posisi dan kesehatan hewan. Tindakan perbaikan otomatis dapat dipicu berdasarkan variasi apa pun dalam variabel-variabel ini untuk mempertahankan keadaan umum untuk hasil panen. Data sensor yang diperoleh untuk praktik pertanian dalam berbagai bentuk tergantung pada presisi dan kompatibilitas akan memerlukan penggunaan antarmuka yang relevan. Untuk mencakup jarak minimal atau maksimal, protokol komunikasi sangat penting dalam praktik irigasi pintar berbasis IoT. Jangkauan pendek dicakup oleh ZigBee atau Wi-Fi, sedangkan untuk mencakup jarak jauh digunakan protokol LoRaWAN, LPWAN, dan Bluetooth. IoT pita sempit dan evolusi jangka panjang komunikasi tipe mesin (GSMA 2019) membuka jalan bagi integrasi 5G di masa depan dan akan berdampak signifikan pada pertanian pintar di tahun-tahun mendatang. Sensor harus memiliki komunikasi jangkauan maksimal dan harus hemat energi (Yao dan Bian 2019). Hasilnya, masa pakai sensor diperpanjang secara signifikan dengan mentransfer data pada energi yang berkurang dan menghilangkan pengulangan data. 5G NR meningkatkan kinerja energi jaringan dan mengurangi interferensi dengan memungkinkan peralihan pita lebar adaptif dari pita lebar rendah ke pita lebar tinggi, sementara interkerja dan koeksistensi LTE memungkinkan jaringan seluler yang ada untuk digunakan sambil tetap mengakomodasi evolusi di masa mendatang.

Kendaraan Pertanian Otonom

Peralatan pertanian akan diuntungkan dari pengembangan teknologi kendaraan otonom di industri lain. Traktor dengan komputer terpasang sudah memungkinkan operator untuk mengatur detail tugas pertanian. Peralatan pertanian yang dapat mengemudi sendiri akan ditingkatkan, memungkinkan petani memiliki lebih banyak fleksibilitas dan efisiensi sekaligus menghemat biaya tenaga kerja. Manfaat sensor IoT juga dapat diperoleh dari truk yang digunakan untuk mengangkut hasil panen. Sensor ini dapat memantau suhu kargo dan memberi tahu Anda jika suhu menjadi terlalu panas atau dingin. Teknologi latensi tinggi seperti LPWAN kemungkinan akan terus digunakan oleh sensor seluler kecil seperti pelacak aset. 5G akan memungkinkan kendaraan otonom untuk mengirim dan menerima aliran data yang lebih besar dan berlatensi sangat rendah, termasuk video menggunakan komputer terpasang yang lebih canggih.

Stasiun Cuaca

Operasi pertanian bergantung pada cuaca. Sebagian besar tanaman dapat hilang karena penyakit dan kerusakan yang sebenarnya dapat dihindari. Petani dapat mengatasi masalah ini dengan menggunakan stasiun cuaca yang terhubung di lapangan untuk menyediakan data tentang kondisi pertanian. Sistem pemantauan InField, yang dirancang oleh AMA Instruments, adalah salah satu contohnya. InField memantau kelembapan dan tekstur tanah, suhu udara, kecepatan angin, dan paparan sinar matahari. Stasiun cuaca di lokasi terpencil kemungkinan besar akan terus menggunakan konektivitas LPWAN dalam waktu dekat. 5G akan membantu mereka karena akan memungkinkan pengamatan yang lebih padat data dan komputasi tepi. Pertanian cerdas akan terus berkembang seiring dunia yang terhubung dengan seluler beralih ke 5G. Petani akan dapat membuat keputusan yang

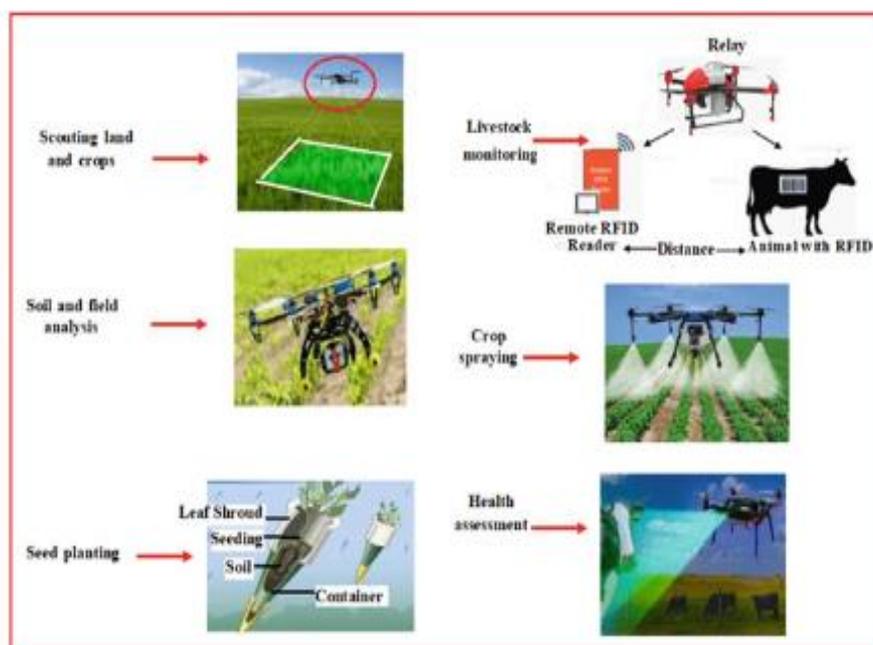
lebih baik berdasarkan data dan analisis prediktif, yang menghasilkan peningkatan produktivitas dan efisiensi.

Komponen yang Didukung 5G dalam Pertanian

Untuk menerapkan praktik pertanian yang lancar, 5G mendukung penggunaan sejumlah komponen seperti yang dirangkum di bawah ini.

Drone dan Kendaraan Udara Nirawak (UAV)

UAV dapat meningkatkan hasil panen, menghemat waktu, dan memaksimalkan kinerja jangka panjang. Drone ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Baik misi berbasis pesawat maupun berbasis darat dapat dilakukan. Drone berguna untuk melakukan pemantauan ternak yang cepat dan efektif. Petani dapat menerbangkan drone dalam jarak jauh menggunakan teknologi 5G. Dibandingkan dengan jaringan seluler generasi sebelumnya, jaringan 5G memungkinkan petani memperoleh data waktu nyata serta data sensorik penting lainnya dengan lebih cepat. Drone tidak menggunakan banyak daya pemrosesan, dan semua data dapat ditransfer ke cloud. Beberapa drone dapat berinteraksi satu sama lain untuk menyediakan penerbangan otonom terkoordinasi guna melakukan beberapa tugas dengan pengeluaran energi paling sedikit, sehingga memungkinkan waktu penginderaan yang lebih lama dan operasi yang ekonomis. Untuk pengambilan keputusan, sejumlah besar data dapat disimpan dan diproses. Drone dapat terbang untuk memasok produk pertanian menggunakan jangkauan jaringan 5G yang luas dan koneksi yang stabil. Jaringan seluler 5G dipadukan dengan teknologi pengawasan lalu lintas drone untuk meningkatkan konektivitas berkualitas tinggi dalam operasi. Karena ada sejumlah besar data yang harus ditransfer, diperlukan tautan data dengan kecepatan transfer data maksimal per satuan waktu, yang disediakan oleh jangkauan jaringan 5G yang kuat. Gambar 6.1 menunjukkan aplikasi Kendaraan Udara Nirawak (UAV) dalam Pertanian menggunakan 5G.



Gambar 6.1 Aplikasi wahana udara tak berawak (UAV) di bidang pertanian menggunakan 5G

Konsultasi Virtual dan Pemeliharaan Prediktif

Konsultasi virtual memungkinkan layanan sesi untuk memenuhi kebutuhan petani. Pakar domain dapat secara langsung memperoleh streaming langsung secara real-time menggunakan sensor untuk memperoleh pandangan menyeluruh mengenai kondisi dan memberikan solusi kepada petani untuk peningkatan praktik pertanian dan irigasi. Pertanian presisi, pengambilan sampel tanah, pengelolaan penyakit, dan pemantauan kesehatan hewan adalah beberapa layanan yang disediakan oleh layanan konsultasi. Beberapa mesin dapat dipantau secara real-time dengan 5G yang memiliki kecepatan transmisi cepat dan latensi rendah untuk memantau terlebih dahulu dan memberikan perbaikan tepat waktu tanpa gangguan apa pun. Dengan menggunakan beberapa sensor untuk memantau sejumlah besar kondisi cuaca secara real-time, 5G akan memberikan paradigma pemeliharaan baru yang disebut pemeliharaan prediktif tingkat lanjut. Berdasarkan umpan balik, petani diberi tahu tentang masalah yang akan datang dan bagian yang melemah, yang memungkinkan perbaikan direncanakan pada waktu yang tepat daripada menunda operasi apa. Hal ini dapat secara drastis mengurangi waktu henti yang tidak diinginkan yang disebabkan oleh peralatan yang rusak atau kerusakan mesin.

Realitas Tertambah dan Virtual

Petani dapat memperoleh manfaat dari peralatan realitas ditambah (AR) dan realitas virtual (VR) dalam berbagai cara. Melalui kacamata yang dapat dikenakan dan telepon pintar, AR dapat memberikan berbagai informasi seperti statistik tanaman, hewan, dan mesin, perubahan pola tanah dan cuaca, paparan penyakit pada ternak, pemeriksaan lahan, dan banyak lagi. Petani dapat memperoleh informasi penting seperti apakah tanaman tidak sehat atau kapan tanaman dapat dipanen atau ditanam menggunakan kacamata AR. Jadi, petani dapat bercocok tanam dengan cara yang lebih efisien untuk mengurangi tenaga kerja dan memastikan pengiriman tepat waktu sekaligus memastikan panen berkualitas premium. Realitas virtual dapat digunakan untuk pelatihan dan praktik pertanian yang mendalam. Pengalaman VR interaktif meningkatkan persyaratan konektivitas lebih jauh. Dengan menawarkan pengalaman yang realistis dan hebat bagi pelajar, 5G akan memungkinkan pembelajaran interaktif daring yang memanfaatkan realitas ditambah dan realitas virtual secara maksimal dibandingkan pendidikan luring konvensional.

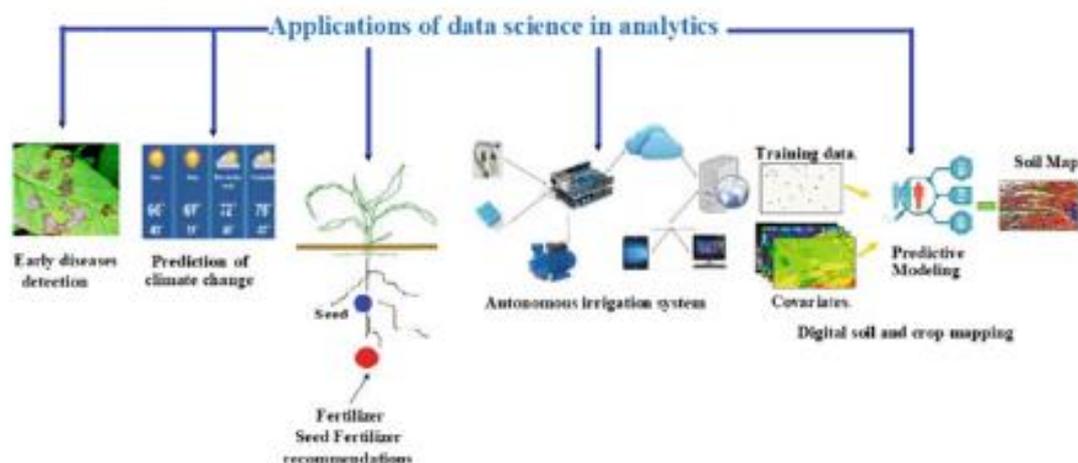
Robot Pertanian

Kolaborasi AI dan 5G mengungkap keuntungan baru dalam pemantauan video langsung, diagnostik jarak jauh, serta stabilisasi drone dan robot menggunakan manajemen parameter yang tepat. AI dalam pertanian terus berkembang pesat untuk memberikan solusi modern guna meningkatkan hasil panen dan robot bertenaga AI siap merevolusi industri. Baru-baru ini, robot pertanian telah digunakan untuk menanam berbagai tanaman secara mandiri di lahan yang luas. Robot dirancang untuk memetakan rute sendiri di seluruh lahan. Visi mesin merupakan potensi inti, yang memungkinkan mereka untuk melihat, mengidentifikasi, membatasi, dan menerapkan tindakan cerdas pada tanaman. Untuk menghindari tabrakan, pengintai laser digunakan untuk mendeteksi hambatan di jalur robot. Robot dapat memetakan rute ke lingkungan sekitarnya dan diarahkan dari lokasi mana pun

dengan memanfaatkan komputasi awan dan sejumlah besar data dikirim melalui 5G. Transmisi foto waktu nyata yang direkam dari sensor dengan latensi sangat rendah melalui jaringan 5G.

Analisis Data Berbasis Cloud

Data merupakan salah satu aspek terpenting yang mengembangkan bisnis pertanian cerdas ke depan. Di banyak pertanian, semua data yang diperoleh dari sumber seperti sensor dan drone disimpan di cloud. 5G dan komputasi tepi memungkinkan transfer data ke cloud, yang memungkinkan analisis waktu nyata untuk membantu mengotomatiskan proses pertanian. Data yang lebih besar harus diangkut ke cloud dan kemudian dikembalikan ke pengguna. Untuk mengurangi kompleksitas, komputasi tepi berbasis cloud sebagian besar digunakan dalam robot pintar. Cloud dapat digunakan sebagai pusat data atau host untuk menyimpan navigasi robot dan layanan kontrol pemrosesan data. Dalam skenario pertanian presisi, intelijen menganalisis data ini secara waktu nyata untuk mengembangkan AI untuk drone atau mesin pelindung. Dengan menempatkan GPU di server tepi, kebutuhan akan unit pemrosesan grafis (GPU) robot dihilangkan. Karena bandwidth pemrosesan data sangat tinggi, hanya 5G yang dapat menanganinya. Ukuran fisik, pengeluaran daya, dan biaya robot semuanya telah berkurang drastis. Melalui jaringan seluler yang ada, 5G akan sangat meningkatkan pengalaman transfer data. Sejumlah besar data dapat berhasil dikirim melalui beberapa perangkat sambil meminimalkan kehilangan data, mengurangi waktu henti koneksi, dan menghindari pengiriman ulang data yang menghabiskan banyak waktu saat mengirimkan sejumlah besar data secara tidak perlu. Komputasi awan menyediakan akuisisi, transmisi, dan pemrosesan data yang lebih cepat di awan dengan latensi transfer data minimal antara berbagai perangkat 5G, yang memungkinkan efisiensi maksimum untuk pengelolaan pertanian berkelanjutan. Sensor, pesawat nirawak, robotika, dan perangkat pintar merupakan penggunaan 5G. Ada beberapa karakteristik 5G seperti kepadatan perangkat, laju transfer data yang sangat rendah per satuan waktu, keandalan dan keamanan yang sangat tinggi. Pesawat nirawak, robotika, dan sensor IoT bekerja sama untuk meningkatkan output dan menurunkan harga secara drastis. Gambar 6.2 menunjukkan aplikasi ilmu data dan repositori awan.



Gambar 6.2 Aplikasi ilmu data dalam analisis data dan repositori cloud

Skenario Pengembangan Terkini dalam Pertanian Berbasis 5G

Literatur relevan berdasarkan skenario pengembangan terkini dalam pertanian berbasis 5G mengenai UAV, pemeliharaan prediktif, AR dan VR, pemantauan waktu nyata, dan agribot dirangkum sebagai berikut (Tabel 6.1).

Tabel 6.1 Skenario pengembangan terkini di bidang pertanian berbasis 5G

| Metode | Kontribusi |
|--|---|
| Kendaraan udara nirawak | Berbagai drone dapat berinteraksi satu sama lain untuk menawarkan penerbangan otonom yang tersinkronisasi melintasi area geografis guna menjalankan banyak pekerjaan dengan sedikit kehilangan komunikasi data dan penggunaan baterai, sehingga memungkinkan waktu penginderaan yang komprehensif dan operasi ekonomis yang menguntungkan |
| Kendaraan udara nirawak | Sejumlah besar data yang diperoleh dapat disimpan dan diproses. Sejumlah drone yang diarahkan sendiri dapat terbang di udara untuk mengirimkan barang-barang pertanian ke depan pintu menggunakan koneksi jaringan seluler 5G yang stabil. Manajemen lalu lintas sistem pesawat nirawak, penerbangan di luar garis pandang, dan transmisi data sensor adalah tiga persyaratan utama untuk menghubungkan drone yang memanfaatkan konektivitas seluler 5G |
| Pemantauan waktu nyata | Komunikasi tipe mesin dengan evolusi jangka panjang dan IoT pita sempit membuka jalan bagi integrasi 5G di masa mendatang. Ini digunakan untuk menghubungkan banyak sensor ke satu menara seluler, yang memungkinkan petani untuk menyiapkan perangkat IoT guna melakukan tugas secara efisien |
| Pemeliharaan prediktif | Berdasarkan respons sensor 5G, pengguna akhir diberi tahu mengenai masalah yang akan datang dan komponen yang memburuk, yang memungkinkan pemeliharaan dijadwalkan tepat waktu dan tanpa menghentikan operasi apa pun. Hal ini dapat secara signifikan mengurangi waktu henti yang tidak diinginkan yang disebabkan oleh kerusakan mesin |
| Realitas ditambah dan realitas virtual | Kacamata yang dapat dikenakan dan telepon pintar dapat memberikan informasi yang berguna tentang statistik tanaman, hewan, dan mesin, informasi cuaca terkini, identifikasi penyakit yang didukung AI, penilaian lahan, dll. |
| Agribots | Robot yang didukung AI diprogram untuk menggunakan Sistem Pemosisian Global untuk merencanakan rute dan mengenali buah-buahan dan sayuran yang siap dipanen |
| Realitas ditambah dan realitas virtual | Dengan menggunakan jaringan seluler yang cepat dan kuat, siaran masukan dan keluaran audio dikembalikan ke pengguna dengan waktu transfer data yang sangat rendah, sehingga pengguna tidak mengalami mabuk perjalanan. |

Kesimpulan dan Pekerjaan Masa Depan

Jaringan 4G meskipun memungkinkan kecepatan transmisi data yang lebih cepat dan jangkauan yang memadai, tidak dapat mentransmisikan sejumlah besar data antara sejumlah perangkat. 5G hadir untuk memenuhi persyaratan pertanian presisi untuk meningkatkan hasil dengan jumlah usaha yang lebih sedikit. Dalam beberapa hari mendatang, jaringan 5G akan diimplementasikan di semua industri; jadi, harga internet akan jauh berkurang dan konektivitas akan ditingkatkan. Pemanfaatan 5G akan secara drastis menurunkan biaya implementasi, yang akan menjadi berkah bagi petani. Petani akan diperlengkapi dengan baik untuk pertanian cerdas, dengan kapasitas untuk menggunakan ponsel mereka untuk memperkirakan dan mencegah penyakit tanaman.

Dengan memperluas infrastruktur fisik mereka, operator seluler akan memberikan kontribusi substansial untuk pertanian presisi. Data dari lapangan akan dikumpulkan oleh sensor dan disimpan di cloud. Sensor yang memiliki masa pakai baterai yang lebih lama akan menjadi lebih kecil dan lebih murah dan jaringan akan lebih efisien, menjadi lebih cerdas serta aman. Meskipun 5G memiliki beberapa aplikasi dan manfaat dalam industri pertanian, teknologi ini pada dasarnya akan mengubah struktur pekerjaan. Ada kemungkinan besar jumlah pekerjaan pertanian akan berkurang. Pendekatan pengawasan daya tertentu, seperti mode tidur, harus diterapkan untuk memetakan alokasi lalu lintas tanpa beban jaringan 5G dan memaksimalkan penggunaan energi yang dipanen. Untuk mencapai periode aktif ideal stasiun pangkalan 5G sekaligus memenuhi kualitas layanan yang diberikan, waktu aktif perangkat IoT harus dikoordinasikan secara efisien.

BAB 7

KEAMANAN DAN PENANGGULANGAN SERANGAN IOT PADA 5G

7.1 PENDAHULUAN

Penggunaan jaringan generasi sebelumnya seperti 4G banyak digunakan dalam perangkat Internet of Things (IoT). Kebutuhan terus-menerus untuk tumbuh dan berkembang agar jaringan dapat memenuhi persyaratan perangkat IoT masih terus berlanjut. Pertumbuhan eksponensial layanan data secara substansial menantang keamanan dan jaringan IoT karena layanan tersebut dijalankan oleh internet seluler yang memerlukan bit rate tinggi, latensi rendah, ketersediaan tinggi, dan kinerja dalam berbagai jaringan. IoT mengintegrasikan beberapa sensor dan data untuk menyediakan layanan dan standar komunikasi. Perangkat IoT yang mendukung Sistem Komunikasi Generasi Kelima (5G) memungkinkan konektivitas tanpa batas dari miliaran perangkat yang saling terhubung.

Koneksi seluler telah menjadi bagian utama masyarakat yang mendukung kehidupan kita sehari-hari. Banyak masalah keamanan yang muncul karena perluasan teknologi 5G secara eksponensial dan adaptasi perangkat IoT yang lambat. Layanan jaringan tanpa keamanan dan privasi menimbulkan ancaman bagi infrastruktur dan terkadang membahayakan nyawa manusia. Menganalisis ancaman keamanan dan mitigasi merupakan bagian penting dan mendasar dari ekosistem IoT. Otorisasi data, kerahasiaan, kepercayaan, dan privasi perangkat IoT yang mendukung 5G merupakan bagian yang paling menantang dari sistem tersebut. Dan untuk memberikan solusi bagi hal-hal tersebut, kita memerlukan sistem yang kuat untuk menangani serangan siber dan mencegah kerentanan melalui tindakan pencegahan. Buku ini mencakup diskusi komprehensif tentang 5G, dasar-dasar IoT, arsitektur berlapis IoT 5G, serangan keamanan dan mitigasinya, penelitian terkini, dan arah masa depan untuk infrastruktur IoT yang mendukung 5G.

Jaringan Komunikasi Generasi Kelima (5G) terus berkembang, dan menjadi katalis penting bagi pertumbuhan perangkat Internet of Things (IoT). Aplikasi IoT di masa mendatang akan mengintegrasikan berbagai teknologi lainnya. Integrasi IoT dengan teknologi lain dapat memfasilitasi koneksi yang lancar antara perangkat heterogen dan mendorong infrastruktur komputasi yang ada di mana-mana dalam kehidupan kita sehari-hari. Namun, berbagai tantangan integrasi yang rumit muncul karena heterogenitas dan fragmentasi sistem konektivitas yang menghambat pengembangan IoT (Rahimi et al. 2018a). Selain itu, seiring dengan munculnya teknologi 5G, teknologi ini dianggap sebagai pelopor pengembangan IoT. Seiring dengan semakin meluasnya dan beragamnya penerapan IoT, keamanan dan kerentanan jaringan IoT 5G menjadi perhatian penting. Layanan yang disediakan IoT terintegrasi 5G perlu diamankan dari serangan siber dan kehilangan data. Meskipun tidak ada sistem keamanan tersendiri untuk perangkat IoT, perangkat tersebut sebagian besar bergantung pada pendeteksian kerentanan dan tindakan pencegahan.

Keamanan merupakan bagian integral dari infrastruktur apa pun. Hal yang sama berlaku untuk arsitektur terintegrasi IoT dan 5G. Oleh karena itu, sangat penting untuk

mengatasi masalah vektor serangan siber, analisis, pencegahan, dan tindakan pencegahan jaringan IoT 5G. Perangkat IoT saling terhubung, menggabungkan berbagai jenis sensor, aktuator, perangkat lunak tertanam, dan sistem operasi untuk menjalankan jaringan. Vektor aplikasi juga telah menyebar dari tempat tinggal kita sehari-hari menuju implementasi industri. Perangkat IoT umumnya dilengkapi dengan kapasitas daya rendah, arsitektur fisik yang relatif lebih kecil, dan tautan nirkabel dan nirkabel yang terpasang erat. Beberapa atribut IoT ini digunakan oleh penyerang siber untuk mengeksploitasi jaringan dengan menyelidiki, memasukkan kode berbahaya, dan akses tidak sah ke jaringan. Teknologi komunikasi Generasi Ketiga (3G) dan Generasi Keempat (4G) banyak digunakan dalam berbagai aspek kehidupan dan di lingkungan sehari-hari. Namun, teknologi 3G dan 4G belum sepenuhnya dioptimalkan untuk aplikasi IoT. Teknologi 5G mengalami peningkatan drastis dan integrasinya dengan IoT telah terbukti andal dan mumpuni. Selama 20 tahun terakhir, banyak teknologi M2M telah diimplementasikan seperti BLE, ZigBee, RPMA, SigFox, LoRa, dll. Ada banyak teknologi lain seperti ini, dan teknologi ini menghadirkan serangkaian tantangan baru untuk teknologi 5G. Akan tetapi, mereka juga diharuskan memenuhi kebutuhan aplikasi IoT.

Termotivasi oleh faktor-faktor yang disebutkan di atas, dalam buku ini, kami telah menganalisis secara komprehensif faktor integrasi IoT 5G dan ancaman keamanan serta tindakan pencegahan. Kami telah menganalisis berbagai ancaman keamanan di berbagai tingkat perangkat IoT yang mendukung 5G dari literatur yang ada dan juga menyajikan tindakan pencegahan secara komprehensif. Kami juga telah menguraikan tantangan penelitian yang terkait dengan IoT 5G, yang tidak terbatas pada masalah keandalan dan komunikasi. Karena 5G menggabungkan beberapa teknologi, hal itu menimbulkan dampak yang signifikan pada aplikasi IoT. Tujuan utama buku ini adalah untuk mendapatkan wawasan tentang ikhtisar perangkat IoT jaringan 5G, menganalisis masalah keamanan, dan mengembangkan solusi untuk mencegahnya terjadi. Kontribusi utama dari buku ini tercantum sebagai berikut:

- Bab ini menyoroti fitur-fitur utama, deskripsi arsitektur, dan tinjauan ekstensif jaringan 5G.
- bab ini memberikan pemahaman mendalam, wawasan, dan deskripsi komprehensif IoT.
- Bab ini membahas secara komprehensif tren integrasi, analisis arsitektur berlapis, dan teknologi canggih yang terlibat dalam 5G dan IoT.
- Bab ini mendalilkan berbagai jenis ancaman yang ada di jaringan IoT 5G.
- Bab ini juga menganalisis secara holistik analisis ancaman dan tindakan penanggulangan jaringan IoT 5G.
- Terakhir, bab ini membahas kesenjangan penelitian dan arah penelitian IoT 5G di masa mendatang.

Buku ini diperkenalkan di bagian "Pendahuluan"; Bagian kedua mencakup "Tinjauan Umum 5G"; Bagian "Tinjauan Umum IoT" memberikan latar belakang IoT; Bagian "IoT yang Mendukung 5G" berisi garis besar integrasi 5G dan IoT; Bagian "Arsitektur IoT Berbasis 5G" mencakup deskripsi arsitektur integrasi IoT 5G; Bagian "Teknologi dalam IoT Berbasis 5G"

memperkenalkan teknologi integrasi 5G dan IoT; analisis ancaman dan tindakan penanggulangan dijelaskan secara komprehensif di bagian “Analisis Ancaman dalam IoT 5G”; Bagian kedelapan menunjukkan “Penelitian terkini untuk 5G dan IoT”; Bagian “Arah dan Tantangan Penelitian Masa Depan” menunjukkan tren penelitian terkini dan arah penelitian masa depan untuk perangkat IoT berbasis 5G; dan terakhir, bagian “Kesimpulan” menyimpulkan buku.

Tinjauan Umum 5G

Dalam telekomunikasi, jaringan seluler yang telah diluncurkan adalah 5G yang tersedia di berbagai kota di seluruh dunia. Setelah peluncuran 5G, diketahui bahwa jaringan ini jauh lebih ditingkatkan secara signifikan daripada 4G LTE, terutama dalam 3 aspek. Dalam jaringan inti 5G yang canggih, terdapat virtualisasi fungsi jaringan pendukung dan pembagian jaringan, yang sebenarnya adalah *Software Defined Networking* (SDN). SDN dalam jaringan memisahkan data, serta bidang kontrol, dan bidang kontrol inilah yang berperan dalam mengeluarkan instruksi untuk sakelar SDN di bidang data, dan bidang kontrol ini terdapat di pengontrol SDN.

Kemampuan pemrograman, manajemen kebijakan terpusat, dan status jaringan global adalah beberapa keuntungan SDN bagi sistem 5G. Namun, manfaatnya harus diperhatikan dengan baik dalam jaringan inti 5G. Karena alasan ini, menjaga keamanan dalam saluran komunikasi adalah suatu keharusan untuk mencegah potensi serangan dan menjaga privasi serta keamanan data dengan aman. Di masa kini, 5G, teknologi canggih, dapat menciptakan antarmuka baru untuk perangkat dan komponen jaringan yang sering digunakan. Salah satu peran penting koneksi 5G adalah membangun koneksi antara sejumlah besar pengguna sehingga dapat menyediakan komunikasi yang lebih kompeten dan lebih cepat. Desain 5G dilakukan dengan cara yang dapat menyediakan jangkauan, bandwidth, keandalan, dan latensi yang lebih baik karena hal-hal inilah yang membuat 5G lebih baik daripada jaringan seluler lain yang diluncurkan sebelum 5G. Namun, meskipun lebih baik daripada jaringan seluler lain, seperti jaringan seluler lainnya, ada masalah keamanan, dan ada beberapa masalah yang membahas masalah keamanan 5G ini.

Ferrag et al. (2018) menunjukkan survei autentikasi dan pelestarian privasi 5G. Prasad et al. (2018) menunjukkan survei privasi, replay, bidding down, serangan pada kontrol, dan bidang pengguna. Namun, penelitian dalam Basin et al. (2018) ini memberikan analisis formal tentang autentikasi 5G. Jover dan Marojevic (2019) menunjukkan beberapa asumsi tidak realistis yang dibuat oleh spesifikasi 5G, yang menyebabkan serangan adversarial karena kerentanan dalam sistem 5G hingga fitur keamanan opsional lainnya ditambahkan. Dan potensi serangan atau ancaman keamanan ditunjukkan oleh Teniou dan Bensaber (2018) yang merupakan langkah-langkah yang harus diambil untuk keamanan 5G. Hal ini juga menunjukkan bahwa IPsec, protokol keamanan, digunakan terutama pada LTE dan untuk membuat IPsec lebih aman untuk komunikasi 5G, tunneling IPsec dapat dilakukan dengan integrasi autentikasi, integritas, dan enkripsi. Karena jaringan komunikasi seluler sebenarnya sedang dalam perjalanan untuk menyelesaikan siklus jaringan 5G, jaringan tersebut menjadi mampu mendukung skenario penggunaan baru dengan persyaratan kinerja yang ketat.

Namun, 5G tidak hanya terpaku pada konektivitas pita lebar yang mulus saja. Jaringan tersebut sudah berada di ambang kemajuan menuju visi IoT. Telah disiapkan agar dapat mengaktifkan berbagai macam aplikasi jenis mesin. Di dunia saat ini, media nirkabel adalah cara untuk melakukan sebagian besar komunikasi yang sebenarnya terbuka terhadap berbagai penyerang. Untuk alasan ini, operasi keamanan yang efisien harus mencakup dan memiliki.

Tinjauan Umum IoT

Saat ini, kemajuan teknologi, IoT, merupakan pergeseran paradigma yang signifikan dalam penyedia layanan seluler dan produsen perangkat elektronik. IoT membantu untuk merenungkan model bisnis dan konteks inovasi mereka. IoT membantu menciptakan interkoneksi miliaran perangkat melalui internet dan memiliki tingkat pertumbuhan yang luar biasa. IoT adalah jaringan perangkat yang terdiri dari sensor dan aktuator dan membantu mengaktifkan berbagai aplikasi dan layanan dengan saling bertukar data. Pengguna akhir memang memerlukan operasi yang membutuhkan komputasi intensif, dan seiring dengan itu, ada kebutuhan untuk penyimpanan yang besar dan komunikasi waktu nyata, dan hal itu dianggap bukan cara yang efisien oleh penyedia layanan cloud. Dan salah satu fitur penting dari semuanya adalah autentikasi perangkat IoT yang sah. Dan autentikasi tersebut ditangani dengan bantuan sertifikat yang diberikan oleh Otoritas Sertifikat (CA) tertentu tetapi merupakan salah satu yang menawarkan solusi yang ringan. Kota pintar, di antara sejumlah besar aplikasi, merupakan bidang integral IoT yang meningkatkan jumlah layanan pintar dalam sistem IoT. Aplikasi IoT berfokus pada kota-kota yang selalu terdiri dari dan dikendalikan oleh unit komputasi. Definisi yang berbeda diberikan untuk kota pintar seperti kota cerdas dan kota digital. Kota pintar berfokus pada peningkatan kualitas layanan masyarakat dan memanfaatkan sumber daya atau mengurangi biaya administrasi publik. Penerangan pintar atau lalu lintas pintar, dan banyak layanan lainnya terlihat tumbuh secara eksponensial. Namun dengan efisiensi dan teknologi canggih muncullah keamanan. Keamanan adalah fitur yang paling penting dan paling signifikan dari setiap perangkat pintar dengan arsitektur IoT. Kerahasiaan data, otorisasi, kepercayaan, dan privasi klien adalah tantangan keamanan yang dihadapi sistem IoT saat ini. Jadi, untuk mengatasi masalah keamanan ini, taksonomi aman diterapkan untuk menangani serangan siber dan semua kerentanan lainnya menggunakan teknik forensik.

Tanpa keamanan yang efisien dan kuat, perangkat IoT dapat menimbulkan masalah alih-alih membuat hidup manusia lebih mudah dan efisien karena perangkat ini akhirnya membahayakan privasi dan keselamatan manusia. Mungkin tidak ada keamanan tepercaya, tetapi kemajuan dan pertumbuhan sistem IoT dan layanannya bergantung pada pengenalan potensi pelanggaran keamanan dan tidak mampu menentangnya. Pelanggaran keamanan terjadi karena berbagai teknologi komunikasi yang digunakan di berbagai lapisan jaringan sensor nirkabel. Masalah keamanan dan privasi diteliti dengan lebih rinci tentang tiga lapisan arsitektur IoT, dan cacat tersebut diselidiki lebih lanjut dalam Jover dan Marojevic (2019).

7.2 IOT BERBASIS 5G

Berbagai jenis penelitian dari sudut pandang akademis dan industri yang berfokus pada 5G dan IoT telah dilakukan. Saat ini, kemajuan terlihat dalam teori, aplikasi, dan standarisasi, terutama dalam implementasi teknologi yang terkait dengan 5G. Fokus yang paling penting adalah menawarkan tempat bagi teknologi tersebut untuk berkembang dalam skenario IoT. Dan dalam beberapa tahun terakhir, berbagai pekerjaan telah dilakukan pada 5G dan IoT juga. Pada 5G, sebuah proyek penelitian nirkabel diprakarsai oleh CISCO, Intel, Verizon bersama-sama untuk meluncurkan perangkat baru, "*Algoritma Berbasis Neurosains*," dan untuk kebutuhan mata manusia, kualitas video adaptif diluncurkan di mana petunjuk ditunjukkan bahwa teknologi tersebut bahkan memiliki jaringan nirkabel yang akan mencakup kecerdasan manusia bawaan.

5G memainkan peran penting dalam kemajuan IoT karena dengan 5G, miliaran perangkat pintar dapat membuat interkoneksi dan berinteraksi serta berbagi data tanpa bantuan pengguna mana pun. Namun baru-baru ini, domain aplikasi yang berbeda membuat IoT semakin rumit untuk mengenali perangkat yang memenuhi persyaratan kebutuhan aplikasi. Sistem IoT yang ada sebagian besar menggunakan domain aplikasi tetap seperti

- ✓ BLE
- ✓ ZigBee, dll.
- ✓ Ada teknologi lain seperti
- ✓ WiFi
- ✓ Jaringan LP-WA
- ✓ Komunikasi seluler, misalnya, MTC menggunakan 3GPP dan sebagainya.

IoT terus berkembang dengan cepat tetapi dengan proposal yang berkembang dan domain aplikasi baru. Namun IoT terus berkembang dan menjadi lebih efisien untuk membuat kehidupan orang lebih efisien dan cepat serta mencoba membuat jaringan interkoneksi yang lebih efisien antara perangkat pintar. Namun seiring pertumbuhan Industri IoT (IIoT), tantangan dan hambatan baru juga muncul, seperti, kebutuhan akan tambahan baru yang canggih pada model bisnis dan produk serta solusi yang ada untuk perbaikan dan ada tantangan teknis dalam Industri IoT:

- ✓ Keandalan
- ✓ Abadi
- ✓ Ketahanan koneksi, dan sebagainya.
- ✓ Ada teknik komunikasi yang paling banyak digunakan dalam konektivitas IoT dan adalah, 3GPP dan LTE, yang ditawarkan ke sistem IoT juga seperti,
- ✓ Cakupan luas
- ✓ Biaya Penerapan rendah
- ✓ Tingkat keamanan tinggi
- ✓ Akses ke spektrum khusus
- ✓ Kesederhanaan manajemen.

Namun, komunikasi MTC tidak dapat menahan jaringan seluler yang ada karena jaringan seluler yang ada adalah kunci utama dalam IoT, yang merupakan salah satu masalahnya.

Namun hal ini tidak menjadi masalah jika jaringan 5G digunakan sebagai pengganti komunikasi MTC karena jaringan seluler masa kini mempercepat laju data dan hal ini terjadi karena latensi yang rendah serta versi komunikasi MTC yang lebih baik dibandingkan dengan 4G (LTE) masa kini yang menghasilkan aplikasi dan perangkat IoT yang lebih efisien.

7.3 ARSITEKTUR IOT BERBASIS 5G

Diperlukan arsitektur yang lebih efisien dan canggih, yang akan membantu mencapai teknologi baru yang lebih berkelanjutan dan efisien. Arsitektur perangkat IoT yang lebih skalabel akan lebih baik daripada arsitektur IoT 5G saat ini. Keuntungan menggunakan teknologi baru selama pengembangan adalah membuat arsitektur

- ✓ Lebih sederhana
- ✓ Mudah untuk skalabilitas
- ✓ Analisis
- ✓ Modularitas
- ✓ Efisiensi
- ✓ Kelincahan
- ✓ Aksesibilitas ke layanan dengan permintaan tinggi
- ✓ Delapan lapisan saling terhubung dengan kemampuan pertukaran data, dua arah, arsitektur ini telah dirancang, dijelaskan di bawah ini.

L1 Lapisan Perangkat Fisik

Lapisan umum arsitektur IoT meliputi

- ◆ Sensor nirkabel
- ◆ Aktuator
- ◆ Pengontrol

L2 Lapisan Komunikasi

Dua sub-lapisan yang dibahas di bawah ini. Sub-Lapisan Komunikasi Perangkat ke Perangkat: 5G meningkatkan komunikasi D2D dalam sub-lapisan ini dan merupakan peserta penting yang menyediakan konektivitas untuk perangkat dengan Komunikasi Tipe Mesin (MTC).

Sub-Lapisan Konektivitas: Ponsel, tablet, dll., adalah perangkat yang terhubung ke pusat komunikasi BS dalam sub-lapisan. Perangkat ini melanjutkan dengan analisis data dan kemudian dikirim ke unit penyimpanan melalui pusat dengan koneksi Intranet. Perangkat tersebut ditentukan dengan

- ◆ Keandalan Tinggi
- ◆ Performa
- ◆ Kelincahan.

L3 Fog Computing Layer

Dalam lapisan ini, untuk membuat keputusan, pemrosesan tepi diterapkan pada data oleh node (Kumar dan Patel 2014).

L4 Data Storage Layer

Perangkat fisik mengirimkan informasi pemrosesan tepi ke unit penyimpanan data di lapisan ini. Di sini, sejumlah besar data ditangani dan lalu lintas perangkat dan aplikasi masa depan ditangani, tetapi tidak tanpa keamanan data, yang merupakan kunci lapisan ini.

L5 Management Service Layer

Di lapisan ini, ada tiga sublapisan, yaitu

- (1) **Sublapisan Manajemen Jaringan:** Tujuan komunikasi terjadi antara perangkat dan pusat data di lapisan ini. IoT 5G atau ZigBee adalah protokol komunikasi yang jenis jaringannya konsisten dengan teknologi yang ada di lapisan ini: Wireless Network Functionality Virtualization (WNFV). Jaringan IoT dikelola, dan konfigurasi ulang jaringan diaktifkan karena teknologi Wireless Software Defined Network (WSDN). Berkat teknologi ini, pemantauan jaringan tradisional untuk peningkatan kinerja tidak diperlukan lagi.
- (2) **Sub-Lapisan Komputasi Awan:** Data dari lapisan dari Lapisan Komputasi Awan dapat diproses ulang di sub-lapisan ini, lalu informasi yang diproses dihasilkan di langkah terakhir.
- (3) **Sub-Lapisan Analisis Data:** Untuk menghasilkan nilai bagi pengambilan keputusan di lapisan ini, algoritme pembelajaran baru analisis data dapat diimplementasikan ke informasi sub-lapisan terakhir. Karena informasi dari jaringan IoT dikumpulkan, informasi tersebut mulai menjadi lebih dominan dan berkembang seiring waktu.

L6 Lapisan Aplikasi

Orang-orang yang terkait dengan bisnis memanfaatkan lapisan ini sebaik-baiknya karena mereka perlu merencanakan dengan data yang benar, dan ini juga membantu dalam revolusi, yaitu:

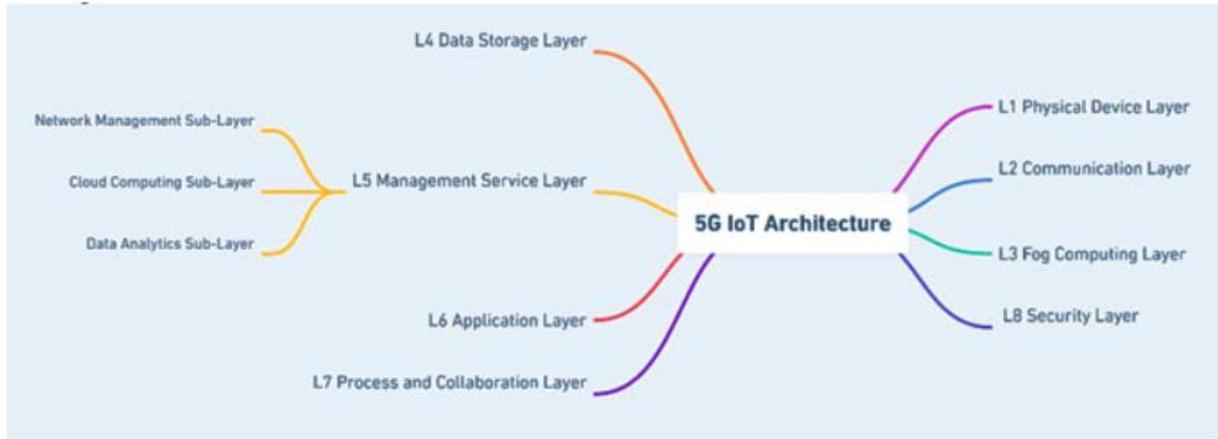
- Pasar vertikal dan kebutuhan bisnis berdasarkan aplikasi kontrol
- Aplikasi vertikal dan seluler
- Kecerdasan bisnis dan analitik.

L7 Lapisan Proses dan Kolaborasi

Kolaborasi dan komunikasi diizinkan di lapisan ini dalam perangkat dan layanan IoT. Hal itu terjadi karena data dan informasi tidak dapat digunakan dengan satu entitas karena berasal dari lapisan sebelumnya.

L8 Lapisan Keamanan

Ini adalah lapisan perlindungan untuk semua lapisan sebelumnya lainnya, dan perlindungan ini dilakukan tanpa memengaruhi fungsionalitas lapisan sebelumnya yang berbeda. Selain itu, taksonomi keamanan untuk memblokir dan meramalkan bahaya serangan siber dilindungi di sini di lapisan ini. Gambar 7.1 yang ditambahkan di bawah ini menunjukkan ikhtisar singkat tentang arsitektur IoT 5G.



Gambar 7.1 Arsitektur IoT 5G

7.4 TEKNOLOGI DALAM IOT YANG MENDUKUNG 5G

Dalam dekade terakhir, banyak penelitian telah dilakukan pada IoT yang mendukung 5G. Untuk membangun sistem IoT dan 5G yang canggih, penelitian ekstensif dilakukan oleh akademisi dan industri. Perangkat IoT yang mendukung 5G dapat berdampak signifikan pada interkoneksi perangkat IoT. Jaringan heterogen saat ini tidak dapat memenuhi kebutuhan aplikasi perangkat IoT. Sistem IoT yang populer meliputi BLE, ZigBee, WiFi, LP-WA, dll. Sistem saat ini berfokus pada peningkatan kehidupan sehari-hari kita, menciptakan kehidupan yang lebih berkualitas, dan melibatkan interkoneksi antara rumah pintar, kota pintar, pertanian, dan layanan kesehatan. Jaringan 3G dan LTE saat ini merupakan teknologi konektivitas yang paling banyak digunakan yang menawarkan biaya rendah dan jangkauan yang luas. Namun, jaringan yang ada saat ini tidak dapat mendukung MTC, yang merupakan kunci untuk mengaktifkan faktor tersebut pada perangkat IoT. Beberapa teknologi IoT yang mendukung 5G telah dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir, dan beberapa di antaranya sedang dalam tahap pengembangan. Beberapa di antaranya dijelaskan dalam Tabel 7.1.

Tabel 7.1 Teknologi dalam IoT yang mendukung 5G

| Teknologi | Kasus penggunaan |
|---------------------------------------|---|
| Jaringan heterogen (HetNet) | Memungkinkan laju transmisi sesuai permintaan untuk IoT 5G |
| Perangkat langsung ke perangkat (D2D) | D2D diusulkan untuk menciptakan komunikasi antara jarak pendek. Hemat daya, daya yang dioptimalkan, dan beban komunikasi terjadi di sini dan diharapkan dapat menyediakan spektrum yang efisien |
| Berbagi spektrum | Untuk memungkinkan teknologi dalam mengatasi ketidakseimbangan beban lalu lintas, manajemen spektrum adalah kuncinya. Massive MIMO adalah inti dari pembagian spektrum. |
| Zigbee | Ini adalah jaringan mesh yang dioptimalkan daya dan hemat biaya yang banyak digunakan di WSN dan terutama digunakan dalam aplikasi IoT Industri. |
| Teknologi lainnya | Teknologi pendukung lainnya termasuk komunikasi tipe mesin (MTC), mmWave, SDN, NFV, dan NB-IoT |

7.5 ANALISIS ANCAMAN DALAM IOT 5G

Karena keamanan dalam IoT muncul sebagai salah satu faktor penting dalam skema keamanan, penting untuk menganalisis dan mengurangi serangan. Di bagian ini, kategorisasi berbagai serangan dan tindakan pencegahan dilakukan untuk menekankan kontribusi terhadap buku ini.

Penyadapan

Penyerang penyadapan mencoba untuk menyadap beberapa informasi rahasia tetapi mendeteksi keabsahan pemancar atau penerima sulit untuk ditemukan atau dilacak karena penyerang tidak mengirimkan sinyal apa pun.

Interception

Penyerang dapat dengan mudah mendeteksi autentikasi komunikasi karena mereka mengintip di lingkungan nirkabel terdekat. Dengan teknik ini penyerang dapat menangkap informasi tentang jaringan. Informasi jaringan dapat mencakup konfigurasi, protokol transfer data sensorik, dll. Penyadapan melalui intersepsi merupakan salah satu teknik yang paling efektif dan tertua untuk mengeksploitasi keamanan.

Analisis Lalu Lintas

Algoritma kriptografi dapat mengenkripsi informasi penting dalam komunikasi yang sah. Dalam kasus ini, penyerang mencegat sinyal yang dikirimkan. Namun, mereka tidak dapat memperoleh konten yang signifikan, tetapi analisis lalu lintas dapat berguna untuk melacak pola komunikasi guna mewujudkan bentuk serangan lainnya.

Kontaminasi

Dalam jenis serangan ini, penyerang mencoba memperoleh akses tidak sah ke jaringan dan juga mengontaminasi tahap estimasi saluran. Jenis serangan ini dapat dikategorikan menjadi dua jenis kontaminasi menurut saluran yang berbeda.

Spoofing

Penyerang menyuntikkan informasi identitas palsu untuk menghancurkan atau bergabung dalam komunikasi. Penyerang dapat membuat saluran komunikasi palsu antara dua atau lebih titik yang sah. Dengan cara ini, tanpa disadari, dua pihak yang sah berkomunikasi satu sama lain melalui entitas palsu.

Di sini, node jahat dapat menyalin node lain, mengklaim identitas palsu, dan menghasilkan sejumlah identitas berbeda secara acak hanya dengan menggunakan perangkat keras. Jenis serangan Sybil membuat sistem menghasilkan laporan palsu, dan itu dapat membuat pengguna mendapatkan spam dan kehilangan privasi.

Jamming

Di sini target penyerang adalah memblokir komunikasi yang sah menggunakan noise dan musuh dapat mengirim sinyal berkelanjutan dengan mengurangi rasio sinyal terhadap noise melalui saluran hanya untuk menghambat komunikasi. Itu juga dapat memicu serangan DoS di lapisan fisik. Secara umum, ada tiga jenis pengacauan sinyal, yaitu pengacauan pilot, pengacauan proaktif, dan pengacauan reaktif.

Gangguan pilot diluncurkan saat saluran dilatih dan bertujuan untuk membuat koneksi tidak sah tanpa urutan pilot yang tepat. Seorang penyerang dapat meluncurkan serangan saat

ia mengetahui panjang dan urutan pilot. Gangguan pilot juga sangat efisien karena hanya sinyal yang perlu dirusak.

Keamanan Lapisan Fisik

5G dan IoT adalah paradigma mendasar masa kini, dan untuk keamanan komunikasi nirkabel, keamanan lapisan fisik menjadi prospek yang berkembang. PLS melindungi kerahasiaan data dengan memanfaatkan keacakan intrinsik media komunikasi. Teknik ini berperan dalam meningkatkan keamanan IoT 5G dari dua aspek utama, yaitu latensi jaringan pada Internet of Vehicles (IoV) dan Unmanned Aerial Vehicles (UAV) dapat dikurangi. Kendaraan dapat bergabung dan meninggalkan jaringan secara acak, sehingga membuat UAV sangat dinamis. PLS akan menawarkan autentikasi yang efisien dan tercepat dengan mengeksplorasi sidik jari frekuensi radio (RF), jika tidak, roaming di jaringan yang berbeda akan menurunkan kinerja komunikasi. Skema yang berbeda dalam PLS dapat menjadi perlindungan tambahan yang bekerja sama dengan arsitektur keamanan yang ada untuk memberikan perlindungan yang lebih baik bagi perangkat IoT 5G.

Kasus penggunaan saluran nirkabel acak dilakukan untuk menghasilkan kunci dalam skema PLS yang dapat melepaskan beban dalam jaringan IoT 5G; menjadi sulit atau agak menantang untuk mencapai distribusi dan manajemen kunci yang efektif. Memperkuat keamanan komunikasi dapat dilakukan tanpa enkripsi dan dekripsi menggunakan teori informasi.

Massive MiMo

Teknologi inti 5G mendapat perhatian besar dalam penelitian IoT. Teknologi ini membantu menyediakan banyak keunggulan komunikasi berdasarkan teknologi beamforming seperti array yang mendapatkan penguatan saluran dan saluran yang hampir ortogonal.

Penyadapan pasif dan juga serangan aktif dalam Massive MiMo diselidiki oleh banyak penulis. Analisis menunjukkan bahwa PLS terhadap penyadapan pasif dapat meningkatkan serangan kontaminasi pilot, dan hal ini berakibat fatal bagi komunikasi MiMo karena penyerang aktif dapat mengirim urutan pilot yang sama. Gangguan pilot diluncurkan saat saluran dibor dan bertujuan untuk membuat koneksi tidak sah tanpa urutan pilot yang tepat. Seorang penyerang dapat meluncurkan serangan saat ia mengetahui panjang dan urutan pilot. Gangguan pilot juga sangat efisien karena hanya sinyal yang perlu dirusak.

NoMa

Non-Orthogonal Multiple Access (NoMa) bersama dengan sumber daya non-ortogonal dapat meningkatkan efisiensi spektral serta mengurangi latensi transmisi dan biaya pensinyalan. Teknologi ini juga cocok digunakan di area dengan banyak sensor, seperti dalam pertanian cerdas dan manufaktur cerdas. Mengalokasikan dua pengguna ke dalam satu blok sumber daya ortogonal untuk pendaftaran pengguna adalah teknik yang bertujuan menyeimbangkan kompleksitas dan efisiensi. Kapasitas untuk menumpangkan banyak sinyal ke dalam sumber daya ortogonal dicapai melalui teknologi pengodean yang ditumpangkan.

MmWave

Teknologi 5G, yang mampu meningkatkan transmisi jaringan, memungkinkan perangkat untuk terhubung ke saluran komunikasi dengan bandwidth lebih tinggi.

Karakteristik baru seperti efek pemblokiran dan transmisi yang sangat terarah adalah fitur unik dari mmWave. Ciri-ciri baru dari saluran mmWave ini dapat meningkatkan efisiensi teknik Physical Layer Security (PLS) tradisional. Dengan panjang gelombang mmWave yang sangat kecil, puluhan hingga ratusan elemen antena dapat dipasang dalam susunan pada platform fisik yang kecil, yang secara signifikan mendukung penerapan MIMO dan integrasi berbagai teknologi 5G.

Mekanisme Kepercayaan dalam WSN

Mekanisme dalam Wireless Sensor Networks (WSN) telah menjadi faktor penting dalam skema keamanan, sehingga penting untuk menganalisis bagaimana serangan dapat diatasi dengan bantuan skema kepercayaan. Baru-baru ini, mekanisme ini telah dimodel ulang untuk menyaring node palsu dalam jaringan sensor. Pendekatan ini pertama kali diperkenalkan dalam E-commerce untuk memilih objek transaksi yang dapat diandalkan, dan banyak peneliti di berbagai bidang telah mengembangkannya. Karena evaluasi kepercayaan sepenuhnya didasarkan pada perilaku peserta sebelumnya atau dicampur dengan reputasi pemberi rekomendasi lain, mekanisme ini berpotensi menjadi lebih efisien. Namun, standar yang lebih tinggi diperlukan untuk mengembangkan kerangka kerja kepercayaan yang efektif di WSN, mengingat:

- Keterbatasan energi.
- Ruang penyimpanan yang terbatas.
- Kerentanan bawaan dari komunikasi nirkabel.

Analisis Crowdsourcing

Dalam jaringan 5G, crowdsourcing berfungsi sebagai alat yang efektif untuk melawan peretas. Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk menghadirkan masalah kepada komunitas partisipatif yang bersedia menyelesaikannya dan kemudian memprediksi hasilnya. Konsep ini telah diterapkan dalam Internet of Things (IoT) dengan berbagai cara oleh pengguna dan perangkat IoT mereka karena berbagai alasan. Namun, masih terdapat kekurangan dalam diskusi mengenai bagaimana fitur-fitur ini dapat membantu mengurangi dampak serangan siber dalam jaringan yang sangat kompleks, yang rentan akibat berbagai teknologi pada berbagai tingkat abstraksi, seperti yang terlihat dalam jaringan 5G. Crowdsourcing menghubungkan dunia jaringan 5G dan IoT dengan cara yang alami, di mana:

- Kepentingan peserta, baik pengguna maupun penyedia, didefinisikan.
- Kerja sama bersama dimotivasi untuk menghentikan serangan siber.

Tujuan Komersial

Model bisnis 5G memerlukan pembagian infrastruktur di antara penyedia layanan, sehingga sangat penting untuk menerapkan analisis crowdsourcing di antara penyedia layanan untuk mengidentifikasi serangan. Penggunaan mekanisme keamanan yang efektif sangat penting untuk mengurangi potensi serangan serta memastikan privasi dan kerahasiaan. Malware Information and Sharing Platform juga menerapkan sistem serupa untuk mengembangkan langkah-langkah pencegahan terhadap ancaman. Salah satu cara baru untuk memecahkan masalah, seperti menemukan lokasi penyerang, adalah dengan

memperluas kontrol keamanan di tepi perangkat IoT pengguna, di mana analisis crowdsourcing dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi serangan.

Media Sosial

Platform media sosial seperti WhatsApp, Twitter, dan Facebook merupakan sarana utama untuk crowdsourcing. Media sosial berfungsi sebagai pintu gerbang untuk crowdsourcing dan dapat dilakukan dengan dua pendekatan: 1. metode tradisional yang melibatkan manusia dan berfokus pada serangan terhadap sistem infrastruktur secara keseluruhan, atau 2. pendekatan lain yang mengekstrak informasi relevan dan mengidentifikasi pola serangan.

Serangan di Tingkat Arsitektur

Dunia saat ini semakin terhubung, dan kota pintar menjadi kunci dalam hal ini. Di kota pintar, berbagai perangkat IoT saling terintegrasi, dan node dalam kota pintar tersebut rentan terhadap ancaman keamanan, seperti serangan DoS dan manipulasi data.

Lapisan Perangkat Fisik - L1

Berbagai ancaman dan serangan dapat merusak node sensor dalam arsitektur ini. Beberapa serangan yang terjadi di L1 dijelaskan sebagai berikut:

- **Akses Tidak Sah ke Tag:** Penyerang dapat dengan mudah mengakses tag di RFID karena kurangnya teknik autentikasi yang memadai.
- **Kloning Tag:** Tag RFID dapat dikloning pada lapisan fisik, dan rekayasa balik dapat digunakan untuk mengekstrak informasi penting.
- **Serangan Deprivasi Tidur:** Dalam serangan ini, informasi kontrol dikirim tanpa henti, membuat node tetap berfungsi secara terus-menerus di jaringan.

Lapisan Komunikasi - L2

- **Serangan DoS:** Serangan DoS melibatkan penyerang yang membanjiri sistem korban dengan volume lalu lintas jaringan yang sangat besar.
- **Serangan Sybil:** Serangan ini menipu korban untuk melakukan satu tugas berkali-kali dengan menunjukkan identitas anonim pada node tersebut.
- **Serangan Putar Ulang:** Dalam serangan ini, paket data yang valid dikumpulkan dari jaringan selama penyadapan, dan setiap kali pengguna terhubung ke jaringan, penyerang mengumpulkan sumber daya dari mereka.
- **Serangan Lubang Pembuangan:** Aliran data diambil dari node lain yang berada di dekatnya dengan menggunakan node yang telah disusupi.

Lapisan Komputasi Kabut - L3

Penyerang dapat menggunakan gerbang palsu dan mengganti perangkat tepi untuk mengumpulkan data dari perangkat tersebut.

Lapisan Penyimpanan Data - L4

Privasi, kerahasiaan, dan integritas data sangat penting dalam sistem penyimpanan data IoT apa pun.

Lapisan Manajemen - L5

Penyerang menargetkan server, basis data, dan layanan lain di lapisan ini.

- **Manipulasi VM:** Virtual Machine (VM) beroperasi di sistem host, dan penyerang dapat mengambil alih kontrolnya. Serangan ini dapat mencakup ekstraksi informasi dan manipulasi data di dalam VM.
- **Serangan Flooding di Cloud:** Serangan ini terjadi di sub-lapisan cloud, di mana penyerang sering mengirimkan permintaan layanan yang berlebihan.
- **Injeksi Malware Cloud:** Malware dapat disisipkan ke dalam cloud dan digunakan untuk memanipulasi sistem, serta mengakses data sensitif.

Lapisan Aplikasi L6

Serangan di lapisan ini terutama bertujuan untuk mengakses data pengguna.

- **Injeksi Kode:** Penyerang menyisipkan worm dan kode berbahaya lainnya untuk mengeksploitasi celah dalam program dan mengambil alih kendali sistem.
- **Buffer Overflow:** Penyerang menggunakan program untuk melanggar batas buffer data atau kode, yang dapat membanjiri seluruh sistem.
- **Manipulasi Izin:** Serangan ini umumnya menargetkan administrasi data yang tidak sah dan melanggar privasi pengguna.

7.6 PENELITIAN TERKINI UNTUK 5G DAN IOT

Bagian ini membahas topik penelitian terkini dan solusi yang juga dapat diperkenalkan ke arah penelitian mendatang. Jumlah penelitian yang dilakukan pada mobilitas sangat minim, dan ini merupakan pokok bahasan yang menarik dalam hal mobilitas dalam serangan lapisan fisik baik pada sisi pengguna maupun penyerang. Penyerang dapat menggunakan fitur mobilitas untuk menemukan area serangan terbaik dan mencoba menghindari deteksi. Mobilitas juga dapat digunakan untuk melawan serangan ini. Namun, pengguna mungkin juga harus mempertimbangkan kinerja jika mobilitas diterapkan dan menyelidiki sistem mobilitas IoT 5G merupakan topik penelitian terkini.

mmWave dan NOMA adalah fitur baru yang saat ini tersedia dalam teknologi 5G. Beberapa penelitian menunjukkan eksploitasi fitur baru ini untuk mencapai serangan lapisan fisik. Dan skema untuk fitur-fitur baru ini belum ditemukan. Model kepercayaan untuk mengamankan data adalah bidang lain yang menjadi fokus penginderaan dan agregasi data. Beragamnya jenis data dan keamanan privasi meningkatkan hambatan dan menimbulkan masalah baru. Ancaman dan serangan terkini di WSN dapat diidentifikasi dengan model kepercayaan, dan model tepercaya juga dapat digunakan untuk merencanakan serangan itu sendiri. Dan saat ini, analisis ancaman yang ada dan potensial menjadi tujuannya.

Arah dan Tantangan Penelitian Masa Depan

Meskipun 5G memenuhi persyaratan untuk keamanan IoT, teknologi ini juga membuka serangkaian tantangan baru seperti keamanan arsitektur IoT dan komunikasi terverifikasi antar perangkat. Di bagian ini, kami telah meninjau area penelitian masa depan untuk keamanan IoT 5G.

Sintesis Karakteristik

Kerangka kerja 5G merupakan sintesis dari banyak teknologi. Kombinasi MIMO, mmWave, dan NOMA meningkatkan efisiensi spektrum. Lingkungan IoT dengan model

saluran virtual berbeda yang berbiaya rendah dan berdaya rendah dapat membantu membangun Titik Akses yang kuat. Teknologi ini dapat membantu membedakan antara beberapa pengguna yang dapat membantu mencegah serangan seperti serangan kontaminasi pilot. Meneliti bidang karakteristik sintesis IoT 5G dapat menjadi dorongan bagi solusi baru.

Pencabutan Sinyal

Deteksi serangan aktif apa pun di jaringan merupakan langkah utama menuju segala jenis tindakan pencegahan. Perangkat IoT diharapkan dapat menjaga komunikasi yang aman meskipun sedang diserang. Dan sangat menantang untuk menghilangkan serangan bahkan saat menjaga kontak. Desain bentuk gelombang dapat menjadi fungsi tambahan, dan dapat digunakan untuk mengenali apakah sinyal berasal dari pengguna yang sama. Setelah itu, mekanisme filter dapat dikembangkan untuk menyaring penyadap dalam jaringan menggunakan teknologi ini.

Kesadaran Lokasi

Kesadaran lokasi dapat menjadi faktor positif untuk menghilangkan ancaman dan mencegah ancaman, karena layanan lokasi 5G dapat memberikan data lokasi secara akurat. Kesadaran lokasi dapat membantu mengurangi ancaman dalam jaringan, dan ada banyak karakteristik prospektif jaringan 5G untuk mencapai kesadaran lokasi. Dan untuk mencapai komunikasi yang lebih efisien, informasi lokasi merupakan arah penelitian yang menarik.

Tantangan Teknis

Banyak pekerjaan telah dilakukan untuk mengurangi tantangan apa pun bagi jaringan yang mendukung 5G. Namun, masih banyak tantangan teknis. Ada masalah terkait desain pada tingkat arsitektur yang mencakup Skalabilitas dan manajemen jaringan, yang merupakan masalah utama dalam mengelola status informasi, Interoperabilitas dan heterogenitas memungkinkan perangkat terhubung dengan lancar, dan ini menjadi perhatian utama karena digunakan untuk mengumpulkan informasi tentang jaringan atau aplikasi pintar.

Jaringan Nirkabel Berbasis Perangkat Lunak

Meskipun WSDN memecahkan masalah skalabilitas dalam jaringan 5G, banyak kasus perlu diselesaikan dalam SDN. Perlu menyediakan fleksibilitas dan pemisahan kontrol dan bidang data, yang merupakan bagian paling menantang dari SDN.

Jaminan Keamanan dan Analisis Privasi

Perangkat IoT, keamanan, dan privasi generasi berikutnya yang mendukung 5G perlu ditambahkan ke tingkat jaringan dan perangkat karena akan menangani banyak aplikasi kompleks yang berbeda, termasuk kota pintar dan jaringan cerdas. 5G adalah sistem yang beragam, dan sistem keamanannya sangat rumit, dan jaminan keamanan harus dipertimbangkan di tingkat perangkat dan jaringan selama proses desain.

Masalah Standardisasi

Seiring dengan pengembangan 5G, 5G juga memungkinkan penyediaan banyak solusi IoT. Dan kalibrasi IoT akan membuat implementasi IoT 5G menjadi lebih mudah. Kurangnya konsistensi dan standardisasi telah menjadikannya rintangan dan tantangan besar untuk menutup kesenjangan antara manusia dan kontrol lingkungan. IoT sebagai layanan mungkin suatu hari nanti akan menjadi hasil yang mungkin.

Kesimpulan

Buku ini berfokus pada berbagai serangan keamanan dan tindakan penanggulangannya, dampak IoT berkemampuan 5G, dan kemungkinan solusi untuk mengurangi ancaman dalam jaringan berkemampuan 5G. Kami telah meninjau karakteristik 5G dan IoT serta ancaman lapisan fisik. Kami juga mengkategorikan berbagai jenis ancaman dengan berbagai jenis tujuan penyerangan. Isu-isu terbuka untuk IoT berkemampuan 5G juga dibahas, dan tren penelitian saat ini dan masa depan juga diperkenalkan di bagian terakhir buku ini. Pengembangan perangkat IoT berkemampuan 5G akan membuka lebih banyak gerbang untuk masa depan, yang menghadirkan kemungkinan masalah privasi dan keamanan data. Dan penting untuk mengetahui apa yang terkait dengan IoT berkemampuan 5G dan keamanannya serta berbagai solusi dalam spektrum luas jaringan 5G. Tujuan utama buku ini adalah untuk memberikan wawasan komprehensif tentang IoT berkemampuan 5G dan analisis ancaman serta membahas area penelitian di masa mendatang. Kami berharap buku ini akan membantu penelitian lebih lanjut tentang masa depan perangkat berkemampuan 5G.

BAB 8

EFISIENSI ENERGI DAN SKALABILITAS 5G UNTUK IOT

8.1 PENDAHULUAN

Penerapan teknologi 5G secara luas dengan Internet of Things (IoT) akan terjadi di tahun-tahun mendatang. Penerapan teknologi 5G mungkin menjadi hal yang menguntungkan bagi IoT karena IoT memiliki berbagai varian aplikasi di bidang pelacakan data dan sistem keamanan. IoT juga dapat diterapkan pada aplikasi seperti kota pintar dan gedung pintar, dsb. Lebih jauh, pengenalan pita frekuensi baru dalam sistem komunikasi saat ini menarik minat para peneliti di bidang optimalisasi energi dalam lingkungan seluler dengan lalu lintas padat. Buku ini bertujuan untuk menyajikan dasar-dasar sistem 5G beserta penerapan IoT. Berbagai teknik untuk efisiensi energi juga dianalisis secara komparatif beserta kelebihan dan kekurangannya untuk jaringan sensor nirkabel seluler.

Ekspansi baru jaringan seluler mencapai teknologi 5G. 5G dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti akses mobilitas tinggi di area padat, masa pakai baterai, sistem komunikasi, skenario lalu lintas, latensi rendah, dll. Teknologi 5G juga masuk ke sektor industri dengan bantuan teknik IoT. Seiring bertambahnya klien server seluler dari hari ke hari, kekhawatiran akan masalah jaringan juga muncul secara bersamaan. Pengenalan sistem IoT berdasarkan teknologi 5G menyelesaikan berbagai masalah yang terkait dengan jaringan dan kombinasi teknologi ini berfungsi sebagai tulang punggung bagi pertumbuhan ekonomi di bidang yang sedang berkembang.

Ada berbagai tantangan yang belum terselesaikan dalam sistem seperti keamanan di tingkat perangkat edge, penerapan skala besar, latensi rendah, masalah komunikasi, dan konektivitas jaringan. Teknologi IoT membuat sistem lebih efisien dan cerdas. Ini diterapkan untuk berbagai bidang seperti sistem transportasi, sistem pasokan listrik, reservasi air, rumah pintar, dan seluruh kota pintar. Penggabungan IoT dengan 5G meningkatkan kualitas layanan, sistem komunikasi, konektivitas jaringan, dll. Jaringan seluler yang terkait dengan IoT juga berkontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi negara serta efisiensi sistem komunikasi untuk kehidupan manusia. Ada peningkatan eksponensial dalam pelanggan seluler yang juga meningkatkan lalu lintas data dan rata-rata pemanfaatan data per pengguna juga meningkat. Operator data harus mengawasi kinerja seluruh jaringan dan efisiensi energi harus dipertahankan sambil mempertahankan konektivitas. Berdasarkan kondisi lingkungan dan ekonomi saat ini, area yang paling difokuskan adalah efisiensi energi bagi operator. Para peneliti saat ini tengah bekerja di bidang "sistem komunikasi hijau". Netralitas karbon merupakan fitur yang sangat diinginkan oleh penyedia jaringan berdasarkan penghematan energi. Selain itu, karena penghematan energi, ini merupakan metode yang hemat biaya untuk membuat sistem lebih andal dan berkelanjutan dalam hal aspek finansial suatu jaringan. Kombinasi komunikasi 5G dan sistem IoT mengatasi beberapa masalah penting jaringan yang tidak hanya membantu pengguna seluler tertentu tetapi juga sistem komunikasi secara keseluruhan. 5G tidak dimaksudkan untuk menggantikan teknologi lain yang berjalan dalam

sistem seluler tetapi untuk memberikan stabilitas dan peningkatan dalam jaringan saat ini sehingga sistem komunikasi yang kuat, andal, berkelanjutan, dan cepat dapat dibangun secara global. Latar belakang yang diberikan di atas menunjukkan bahwa ada banyak masalah yang dapat diselesaikan dengan menggunakan kombinasi berbagai teknik 5G, IoT, dan MWSN. Selain itu, terdapat banyak tantangan di bidang efisiensi energi dalam sistem komunikasi 5G. Oleh karena itu, hal ini memotivasi kami untuk melakukan tinjauan dan studi terhadap berbagai parameter yang berguna untuk memahami akuntabilitas efisiensi energi dan layanan IoT dalam sistem 5G untuk jaringan sensor nirkabel seluler. Kontribusi utama dari karya ini dapat diringkas sebagai berikut:

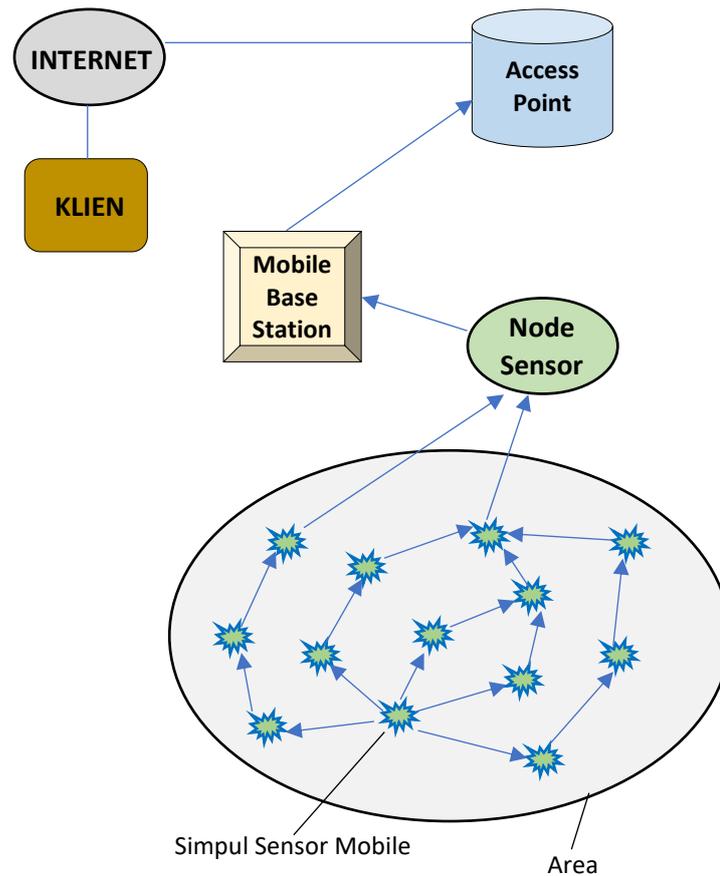
- Mengidentifikasi masalah berdasarkan studi literatur yang ketat.
- Untuk memahami konsep dasar efisiensi energi, sistem 5G beserta IoT dalam MWSN.
- Untuk meringkas konsep efisiensi energi, jaringan 5G melalui pita frekuensi, teknologi, layanan berbasis IoT, dll. dan teknik IoT, tantangan dan ancaman keamanannya, dll.

Sisa karya ini disusun sebagai berikut. Bagian “Efisiensi Energi dalam Jaringan Sensor Nirkabel Seluler” membahas efisiensi energi dalam hal IoT dalam MWSN. Lebih lanjut, bagian ini menyajikan dasar-dasar efisiensi energi dalam MWSN melalui arsitektur dan skema yang ada. Evolusi jaringan 5G, pita frekuensinya, masalah keamanan, dll. dibahas di bagian ketiga. Bagian “Layanan IoT Berbasis 5G” menunjukkan layanan IoT, tantangan, teknik yang didukung industri diikuti oleh bagian “Kesimpulan”.

8.2 EFISIENSI ENERGI DALAM JARINGAN SENSOR NIRKABEL SELULER

Salah satu fitur jaringan sensor yang paling diinginkan adalah efisiensi energi. Optimalisasi energi berkenaan dengan node seluler merupakan tugas yang sangat sulit. Gambar 8.1 yang diberikan di bawah ini adalah arsitektur dasar jaringan sensor nirkabel seluler. Dalam jenis jaringan ini, node sensor bersifat seluler, dan pada setiap saat, node tersebut mengubah posisinya sehingga sering terjadi putus-nyambung dengan titik akses. Hal ini membuat analisis sistem semacam ini menjadi sangat membosankan.

Evolusi node sensor telah memperlihatkan peningkatan perangkat berdaya rendah dengan penggunaan daya yang berkurang sehingga membuatnya cocok untuk sistem dengan kendala daya. Sensor bekerja sama untuk membentuk jaringan yang dikenal sebagai jaringan sensor nirkabel. Sensor digunakan untuk pemrosesan data di zona berisiko tinggi serta untuk faktor lingkungan dan masih banyak lagi. Masalah kritis yang terkait dengan sensor adalah masa pakai baterai terbatas dan konektivitas tanpa gangguan harus dipertahankan.



Gambar 8.1 Arsitektur dasar jaringan sensor nirkabel seluler (MWSN)

Efisiensi energi dipertahankan dengan mengoptimalkan konsumsi daya. Selain itu, perancangan jaringan memainkan peran penting untuk memanfaatkan sumber daya secara efisien. Subjek perkolasi ada untuk mempelajari tentang masalah jaringan. Para peneliti mengeksplorasi kemungkinan konektivitas jaringan sambil mengoptimalkan konsumsi energi. Masa pakai baterai juga ditingkatkan dengan mengurangi daya pancar. Dalam MWSN, tugas utamanya adalah melanjutkan komunikasi dengan tingkat energi yang sama seperti dalam jaringan sensor nirkabel seluler di setiap waktu bahkan ketika titik kontak berubah. Jaringan sensor modern digunakan terkait dengan cakupan jaringan untuk jaringan ad-hoc. Selain itu, jaringan dibagi menjadi sel yang lebih kecil dengan hop tunggal dan ganda. Teknik penguatan digunakan untuk mengamati kondisi alami untuk mengidentifikasi transmisi dan penerimaan sinyal dalam jaringan sensor nirkabel seluler. Ini divalidasi dengan bantuan simulasi. Metode selektif untuk berharap digunakan untuk memaksimalkan masa pakai jaringan.

8.3 KONSEP DASAR TEKNOLOGI 5G

Perkembangan penting dalam gaya hidup mengarah pada perkembangan baru dalam teknik komunikasi. Era yang berkembang menunjukkan perubahan signifikan dalam volume lalu lintas komunikasi. Pengamat industri mengidentifikasi bahwa peran teknologi 5G membuat sistem komunikasi lebih maju dan cepat dibandingkan dengan jaringan telekomunikasi yang ada. Perangkat dalam jaringan 5G terhubung sedemikian rupa sehingga

diproses melalui jaringan inti 5G melalui jaringan akses 5G. 5G merupakan perluasan jaringan 4G dengan fitur radio baru. Jaringan inti 5G diimplementasikan untuk mendukung sistem IoT dengan peningkatan dalam pembagian jaringan dan layanan dibandingkan dengan jaringan 4G. Selain itu, stasiun pangkalan 3GPP (3rd Generation Partnership Project) disertakan dalam jaringan akses 5G.

Aspek penting dari sistem 4G seperti sistem daya rendah, latensi rendah, dan pengoptimalan energi dalam NB-IoT digunakan dalam sistem 5G. Pembagian jaringan memungkinkan pengguna untuk menggunakan jaringan sebagai layanan dan lalu lintas nirkabel ditingkatkan dengan menggunakan layanan ini seperti layanan virtual, augmented reality, teknik IoT, hiburan dengan resolusi tinggi, dll. Pelaksana jaringan membangun desain sedemikian rupa sehingga mencakup semua daerah terpencil serta daerah perkotaan. Sinyal menyebar ke seluruh jaringan secara seragam, di banyak negara transisi dalam jaringan seluler digunakan oleh generasi baru dibandingkan dengan teknologi sebelumnya yang digunakan. Oleh karena itu, 5G berevolusi dengan era baru dan lebih cepat daripada jaringan 4G yang ada. Dasar-dasar jaringan 5G ditetapkan di beberapa negara maju, tetapi teknologi yang digunakan sebelum 5G seperti 4G/LTE juga masih ada di sana. Realisasi 5G dengan berbagai situasi dijelaskan dalam Tabel 8.2.

Tabel 8.1 Tinjauan mengenai skema efisiensi energi yang ada dan tantangannya

| Nomor Urut | Referensi | Peneliti bekerja | Keterbatasan |
|------------|--------------------------|---|---|
| 1 | Mostafaei dkk. (2018) | Peneliti mengusulkan protokol perutean hemat energi dinamis (DEER) untuk meningkatkan masa pakai jaringan | Teknik ini dapat dikombinasikan dengan pemanenan energi untuk meningkatkan |
| 2 | Liu dkk. (2018) | Buku ini menyajikan analisis komparatif dari berbagai protokol efisiensi energi | Pemrosesan data waktu nyata, analisis keamanan, dan keandalan harus dipertimbangkan |
| 3 | Feng dkk. (2013) | Peneliti mengusulkan model SINR untuk masalah konektivitas | Penyebaran data untuk komunikasi harus diperhatikan |
| 4 | Wang dkk. (2017) | Buku ini berfokus pada peningkatan masa pakai jaringan beserta penyeimbangan beban | Mekanisme keamanan untuk melindungi dari ancaman di WSN |
| 5 | Naghbi dan Barati (2020) | Penulis menyajikan algoritme untuk penjadwalan tugas | Beberapa parameter lain juga dapat disertakan |
| 6 | Banarjee dkk. (2020) | Penulis menyajikan survei tentang protokol perutean | Beberapa aplikasi waktu nyata dapat difokuskan |
| 7 | Kakhemdki dkk. (2018) | Buku ini menyajikan survei tentang akuisisi data dan mobilitas | Parameter lain dapat dipertimbangkan sebagai kecepatan dan keamanan jaringan |

| | | | |
|----|--------------------------------|--|---|
| 9 | Sofi dan Gupta (2018) | Penulis mengusulkan arsitektur jaringan bertingkat untuk berbagi spektrum, penggunaan MIMO masif, dan solusi untuk perubahan perangkat keras | Arsitektur sistem yang diusulkan secara keseluruhan didefinisikan dengan baik untuk desain dan perencanaan |
| 10 | Buzzi dkk. (2016) | Peneliti menyajikan konsep efisiensi energi untuk teknologi 5G dalam hal pemanenan energi, penyebaran jaringan, kepadatan lalu lintas dan parameter pembongkaran, dll. | Buku ini menyajikan masalah perencanaan jaringan yang baik tetapi tidak membahas teknik virtualisasi apa pun untuk menyelesaikannya |
| 11 | Usama dan Erol-Kantarci (2019) | Penulis menyajikan survei tentang efisiensi energi pada tingkat akses radio | Masalah jaringan tepi tidak dibahas dalam buku untuk efisiensi energi |
| 12 | Liu dan Wu (2019) | Buku ini menyajikan skema penyeimbangan energi untuk mengurangi konsumsi daya | Deskripsi lebih lanjut tentang kabel saluran listrik dapat ditambahkan |
| 14 | Buzzi dan Miskin (2016) | Buku ini menunjukkan survei tentang perancangan jaringan 5G | Interferensi dan Keacakan juga dapat disertakan sebagai parameter untuk tantangan |
| 16 | Minoli dan Occhiogrosso (2019) | Buku ini mengulas aspek praktis jaringan 5G | Cakupan topik secara keseluruhan bagus |
| 17 | Shafiabadi dkk. (2021) | Para peneliti telah memberikan protokol routing baru untuk manajemen energi | Optimalisasi energi secara keseluruhan telah dilakukan tetapi kendala latensi tidak dikelola |
| 18 | Usama dan Erol-Kantarci (2019) | Buku ini menyajikan survei berbagai isu yang ada dalam jaringan 5G | Rasio SINR ditunjukkan dengan notasi 1 bit/joule |
| 19 | Wang dkk. (2019) | Fokus utama buku ini adalah untuk menunjukkan keseimbangan konektivitas jaringan dengan komunikasi | Simulasi juga dapat dilakukan |
| 20 | Kaur dan Kaur (2021) | Penulis menyajikan survei tentang masa pakai jaringan, pengoptimalan energi, dan efisiensi energi | Beberapa perbandingan dapat ditunjukkan |
| 21 | Zanaj dkk. (2021) | Survei IoT yang terkait dengan LPWANS dan LPSANS disajikan oleh para peneliti | Pemanfaatan Pemilihan Relai Optimal |
| 22 | Usama dan Erol-Kantarci (2019) | Buku ini mensurvei karya-karya terbaru tentang efisiensi energi dan jaringan nirkabel | Lebih sedikit studi tentang mekanisme pembelajaran mandiri |
| 23 | Tahiliani dan Dzalwar (2018) | Tren teknologi IoT | Jaringan IoT berbasis WSN yang praktis untuk dipelajari |

| | | | |
|----|--------------------|--|--|
| 24 | Yaohua dkk. (2019) | Buku ini berfokus pada isu-isu manajemen energi dalam 5G | Lebih banyak teknik dapat ditunjukkan untuk mengoptimalkan jaringan EE |
| 25 | Bakht dkk. (2019) | Buku ini berfokus pada transmisi daya, transfer informasi nirkabel, dan teknik routing | Pengumpulan energi dapat digunakan dengan cara yang lebih efisien |

Tabel 8.2 Realisasi teknologi 5G pada berbagai kasus

| Nomor Urut | Parameter | Jaringan yang telah selesai | Ringkasan |
|------------|------------------------------|---|---|
| 1 | Kemampuan bergerak | – | Dasar-dasar 5G dan industri 4.0 (Rao dan Prasad 2018) |
| 2 | Komputasi tepi seluler | Demonstrasi di dunia nyata | Kontrol lengan robot pada MEC (Tsokalo et al. 2019) |
| 3 | Kompatibilitas | Demonstrasi di dunia nyata | Penerapan industri 5G di dunia nyata (Voigtländer et al. 2018) |
| 4 | Pemisahan jaringan | Analisis simulasi | Simulasi dan kerangka kerja kendaraan otonom berbasis 5G (Chekired et al. 2019) |
| 5 | Keandalan | Infrastruktur jaringan | Sistem manufaktur berbasis komunikasi 5G (Karrenbauer et al. 2019) |
| 6 | Pemisahan jaringan | Arsitektur jaringan | Pengirisan jaringan untuk industri 4.0 dalam sistem 5G (Taleb et al. 2019) |
| 7 | Kompatibilitas | Pengukuran dan demonstrasi di dunia nyata | Sistem kontrol terdistribusi untuk robotika (Voigtländer et al. 2017) |
| 8 | Virtualisasi fungsi jaringan | Prototipe kerangka kerja | Demonstrasi manufaktur cerdas melalui NFV (Peuster et al. 2019) |
| 9 | Komputasi tepi seluler | Infrastruktur sistem | Manufaktur cerdas IoT dalam sistem 5G (Cheng et al. 2018) |
| 10 | – | – | IoT manajemen konstruksi (Reja dan Varghese 2019) |
| 11 | mmWave | Tidak ada | Lokalisasi menggunakan 5G (Lu et al. 2018) |
| 12 | Virtualisasi fungsi jaringan | Arsitektur jaringan | Prototipe produksi cerdas melalui NVF (Schneider et al. 2019) |
| 13 | Keandalan | Arsitektur sistem | Internet teraba untuk sistem 5G (Tsokalo et al. 2019) |

| | | | |
|----|--------------------|------------------------|---|
| 14 | Pemisahan jaringan | Infrastruktur jaringan | Deskripsi bedah jarak jauh untuk 5G (Ahmad et al. 2017) |
|----|--------------------|------------------------|---|

Evolusi 5G

Jaringan 5G merupakan pengembangan dari teknologi 4G dan memiliki akses radio baru yang juga dikenal sebagai 5G “New Radio (NR)”. Jaringan baru sistem 5G memiliki berbagai fitur seperti pengendalian panel pengguna, virtualisasi jaringan, pemotongan jaringan, latensi rendah, dan data berkecepatan tinggi. Perancangan model 5G NR dibuat sedemikian rupa sehingga kompatibel dengan sistem LTE yang ada. Konfigurasi sistem 5G NR yang baru bersifat frekuensi ganda. Inilah alasannya kompatibel dengan sistem LTE dan juga dengan IoT pita sempit. Mungkin saja elemen yang berbeda harus disisipkan dalam sistem 5G dengan akses yang berbeda, untuk melakukan ini pada dasarnya ada dua teknik yang sedang tren saat ini, yaitu *non-standalone* (NSA) dan *standalone* (SA). Teknik standalone berisi semua bagian inti dari akses radio 5G dan teknik Non-standalone menggunakan mode frekuensi ganda untuk mengakses dengan inti paket LTE yang ada. Penerapan jaringan di berbagai bagian negara mungkin memerlukan waktu yang lama, mungkin satu dekade, karena setiap area memiliki situasinya sendiri dan konfigurasi migrasi akan bervariasi sesuai dengan berbagai situasi di berbagai area. Implementasi IoT memerlukan informasi yang terkait dengan fitur 5G dan akses radio baru. Penyedia layanan melanjutkan dengan LTE dan fitur jaringan yang ada bersama dengan 5G NR untuk mengakses jaringan berbasis IoT. Jaringan 5G juga mendukung spektrum gelombang milimeter (mmWave) 28 GHz. Sistem ini juga terancam oleh berbagai jenis ancaman yang dapat merusak jaringan dengan berbagai cara. Efek ancaman dalam jaringan 5G dibahas dalam Tabel 8.3 sehubungan dengan berbagai elemen sistem

Tabel 8.3 Ancaman keamanan teknologi 5G

| Nomor Urut | Elemen jaringan | Masalah keamanan | Rincian yang terpengaruh | | |
|------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------|--------------|
| | | | Medium | Pengasingan | Analogi awan |
| 1 | Identitas klien | Serangan IMSI | Ya | Ya | Tidak |
| 2 | Lokasi klien | Serangan akses data | Ya | Ya | Tidak |
| 3 | Elemen terpusat yang dikendalikan | Serangan penolakan layanan | Tidak | Tidak | Ya |
| 4 | Pengontrol SDN | Pembajakan | Tidak | Tidak | Tidak |
| 5 | Elemen inti 5G | Pemberian sinyal | Ya | Tidak | Ya |
| 6 | Berbagai sumber daya cloud | Pencurian sumber daya | Tidak | Tidak | Ya |
| 7 | Router | Serangan pada konfigurasi | Tidak | Tidak | Tidak |
| 8 | Basis data pengguna | Perusakan identitas klien | Tidak | Ya | Ya |
| 9 | Komunikasi sakelar | Serangan TCP | Ya | Ya | Tidak |

| | | | | | |
|----|-------------------|--------------------|----|-------|-------|
| 10 | Media terdekripsi | Pengungkapan kunci | Ya | Tidak | Tidak |
|----|-------------------|--------------------|----|-------|-------|

Pita Frekuensi Sistem 5G

Spektrum 5G tersebar di beberapa pita frekuensi mulai dari sub-GHz hingga gelombang milimeter. Sub-pita tersebut dikategorikan ke dalam tiga kelompok makro, yaitu 1, 1–6, dan di atas 6 GHz. Spektrum 5G memanfaatkan gelombang milimeter dengan sangat baik untuk kecepatan data yang lebih tinggi. Generasi 5G memiliki lebih banyak lebar pita dan kecepatan frekuensi yang lebih tinggi. Sebelumnya tanpa antena MIMO yang dimodifikasi, lebar pita saluran hanya sekitar 10 bit per hertz. Kini, adaptasi teknik radio baru seperti D2D, MIMO masif, jaringan ultra-padat, dll. meningkatkan kecepatan data generasi seluler baru dan lingkungan IoT. Spektrum gelombang mm berkisar antara 30 hingga 300 GHz dan juga disebut sebagai frekuensi sangat tinggi (EHF). Jaringan 5G sebagian besar menggunakan pita frekuensi 3,5 GHz, mm yang berkisar antara 30 hingga 73 GHz, juga beberapa pita frekuensi lainnya. Untuk memenuhi kelangkaan spektrum, penyedia layanan harus menggunakan spektrum secara efektif dan pemanfaatan sel yang lebih kecil harus diperhatikan dengan saksama. Teknologi 5G akan menggunakan pelacakan berkas dan pembentukan berkas sementara antena sel difokuskan pada sinyal saat perangkat dilacak saat dalam mobilitas. Throughput dan direktivitas dioptimalkan dengan menggunakan teknik pembentukan berkas karena menggunakan sejumlah besar antena untuk mengakses sinyal.

Teknologi Inovatif 5G

- ✓ **Gelombang Milimeter:** Ini digunakan untuk jarak yang lebih pendek dan memiliki jangkauan 30 GHz hingga 300 GHz. Ini digunakan untuk sel yang lebih kecil pada jarak yang lebih pendek.
- ✓ **MIMO Masif:** Ini membuat pemanfaatan spektrum yang efisien karena sejumlah besar antena dihubungkan bersama untuk mencakup area yang luas. Ini memiliki lebih sedikit gangguan karena kemampuan pembentukan berkas yang membuatnya lebih efisien untuk digunakan.
- ✓ **Jaringan Heterogen (HetNet):** Ini menyediakan kapasitas dan jangkauan yang baik dengan berbagai teknologi.
- ✓ **Software Define Radio (SDN):** Membagi bidang sebagai data dan kontrol untuk menyediakan jaringan berkecepatan tinggi. Ia mengelola jaringan dengan lebih efisien untuk melakukan pemrosesan lebih lanjut.
- ✓ **Network Functions Virtualization (NFV):** Ia mentransfer fungsi ke jaringan virtual seperti server, switch, perangkat keras, dll., ini efisien karena memenuhi persyaratan perubahan perangkat keras juga. Ia memisahkan perangkat keras dari sistem yang meningkatkan skalabilitas jaringan.

Pemisahan jaringan 5G juga merupakan salah satu parameter penting dari sistem 5G. Ini adalah jenis konfigurasi yang memungkinkan berbagai jaringan bekerja pada platform yang sama. Jaringan dibagi menjadi beberapa irisan dan setiap irisan sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Gambar 8.2 menunjukkan contoh pembagian jaringan 5G sesuai dengan aplikasi.

8.4 LAYANAN IOT BERBASIS 5G

Pendapatan total IoT di seluruh dunia diperkirakan akan meningkat sebesar 23% pada tahun 2025. Integrasi fitur NB-IoT dan LTE-M beserta 5G meningkatkan kemampuan struktur IoT. Ada banyak penerapan jaringan IoT secara komersial di tingkat global. Akan menjadi tugas yang berat bagi operator untuk memenuhi persyaratan kecepatan data pengguna sesuai permintaan transmisi. Operator harus bekerja keras pada model layanan mereka untuk meningkatkan efisiensi jaringan. Pasar utama (sekitar 70%) jaringan IoT akan dicakup oleh platform, layanan, dan aplikasinya pada tahun 2025. Sebagian besar layanan yang disediakan secara profesional akan ditingkatkan sebesar 25% dalam waktu dekat dengan menggunakan jaringan IoT.

Gambar 8.3 menunjukkan arsitektur dasar internet of things. Gambar tersebut menunjukkan bahwa data dikirim melalui perangkat melalui gateway ke cloud. Data tersebut dapat diproses di sana dan klien dapat menggunakan data tersebut. Setiap data disimpan di cloud dan seseorang dapat memprosesnya dengan mengambilnya dari sana saja.



Gambar 8.2 Pembagian jaringan 5G

Industri IoT Didukung oleh Teknologi 5G

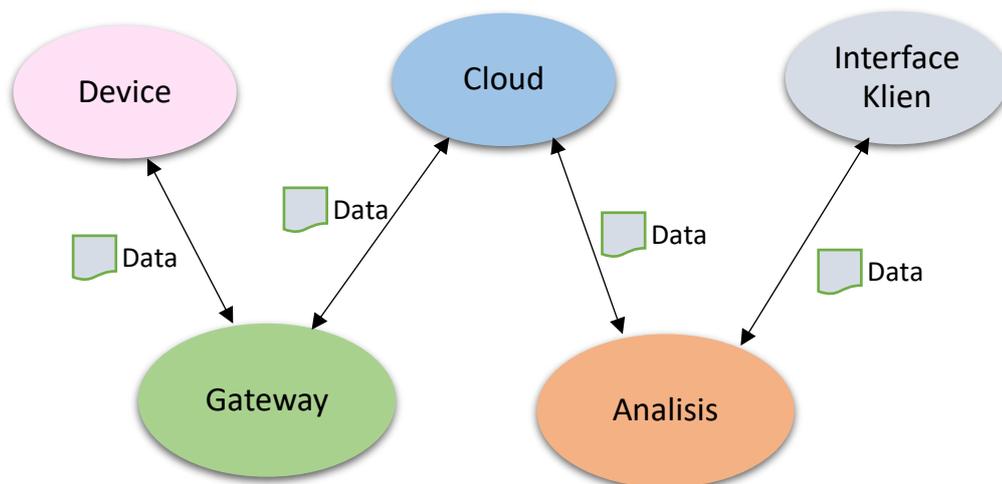
Teknik dan aplikasi IoT modern didukung oleh teknologi 5G. Di bagian ini dibahas kasus-kasus industri yang mengadopsi metodologi modern yang memiliki peran khusus 5G di dalamnya. Tabel 8.4 merangkum ketahanan berbagai teknologi nirkabel terhadap Internet of Things (IoT).

Industri 4.0

5G mendukung Industri 4.0 untuk sebagian besar aplikasi dan metodologi yang digunakan dalam industri. Dalam industri manufaktur, tren terkini adalah pertukaran informasi dan otomatisasi yang dikenal sebagai industri 4.0. Area fokus utamanya adalah sistem siber-fisik, Internet of Things, dan komputasi kognitif awan. Hal ini menciptakan pabrik pintar dengan struktur modern di mana sistem siber-fisik memproses jaringan fisik. Keterbatasan dalam 3G/4G dihilangkan dengan bantuan teknologi 5G seperti populasi perangkat yang besar, konsumsi energi yang besar, lebih banyak penundaan dan kemandirian

jaringan nirkabel, dll. Para peneliti fokus pada aplikasi industri 5G untuk berbagai fitur seperti kecepatan data tinggi, latensi rendah, kekokohan, dll. Jaringan 5G menunjukkan opsi yang lebih baik dibandingkan dengan jaringan kabel. Ia juga memiliki aplikasi industri yang baik dengan sumber daya data yang heterogen. Ia memiliki berbagai fitur yang menekankan pada efisiensi energi, mobilitas dalam jaringan, virtualisasi dan jaringan mesh, dll.

Para peneliti selanjutnya mencantumkan fitur jaringan komunikasi, pemrosesan, masalah infrastruktur, dan arsitektur referensi Industri 4.0. Kemampuan robotika terdistribusi ditunjukkan dengan bantuan teknologi 5G oleh para penulis. Robot seluler digunakan untuk mendeteksi masalah kritis dalam skenario 5G waktu nyata. Komunikasi disiapkan antara robot seluler dan server cloud untuk memproses beban kritis. Kompleksitas kinerja NB-IoT juga dihitung dengan bantuan server cloud di lingkungan yang keras, juga telah diamati bahwa LTE tidak dapat memenuhi persyaratan industri. Ada berbagai teknik yang memungkinkan sistem LTE bekerja di bawah penundaan 10 ms tetapi di sisi lain dalam teknologi 5G proses dapat dilakukan di bawah penundaan 5 ms dengan lebih dari 50% beban lalu lintas yang menunjukkan kemampuan teknologi 5G dibandingkan dengan yang sudah ada.



Gambar 8.3 Arsitektur dasar jaringan IoT

Tabel 8.4 Ketahanan teknologi nirkabel untuk IoT

| Nomor Urut | Teknologi yang digunakan | Fitur utama | Aksesibilitas di dalam ruangan | Aksesibilitas di luar ruangan |
|------------|--------------------------|--|--------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Zigbee | <ul style="list-style-type: none"> Aplikasi yang berhubungan dengan rumah dan industri Konsumsi daya yang lebih sedikit dan optimalisasi baterai yang lebih baik Kecepatan data yang rendah | Aksesibilitas (30–300 kaki) | Tidak ada Aksesibilitas |
| 2 | Wi-Fi | <ul style="list-style-type: none"> Berbagai pita frekuensi | Aksesibilitas (300 kaki) | Sampai batas tertentu |

| | | | | |
|---|-----------|--|-------------------------|---|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Penggunaan IoT dalam ruangan (paling banyak diadopsi) • Fungsionalitas yang lebih baik | | |
| 3 | Bluetooth | <ul style="list-style-type: none"> • Aplikasi di bidang industri dan medis • Penggunaan deteksi lokasi secara real-time (untuk jangkauan terbatas) • Bandwidth lebih kecil | Aksesibilitas (30 kaki) | Tidak ada aksesibilitas |
| 4 | Sigfox | <ul style="list-style-type: none"> • Pita sempit • Daya lebih kecil • Lebar pita lebih kecil | Sampai batas tertentu | Aksesibilitas (30 mil di pedesaan dan 1–6 mil di perkotaan) |
| 5 | LTE-M | <ul style="list-style-type: none"> • Modem berdaya lebih rendah • Penerapan arsitektur seluler • Digunakan untuk melacak objek bergerak • Menggunakan pita 4G-LTE di bawah 1 GHz | Aksesibilitas | Aksesibilitas (10–20 mil) |
| 6 | NB-IoT | <ul style="list-style-type: none"> • Spektrum berlisensi • Daya lebih rendah • Biaya lebih rendah • Penetrasi lebih rendah di gedung | Aksesibilitas | Aksesibilitas (20 mil) |
| 7 | 5G | <ul style="list-style-type: none"> • Berbagai pita frekuensi • Tidak digunakan secara luas • Arsitektur jaringan seluler • Hemat biaya • Spektrum berlisensi | Aksesibilitas | Aksesibilitas (10–15 mil) |

Internet yang dapat diraba

Internet yang dapat diraba melakukan semua operasi interaksi fisik sambil menimbulkan manipulasi. Konsep Internet yang dapat diraba adalah beroperasi dengan sistem perawatan kesehatan, jaringan pintar, infrastruktur, pendidikan, dll. Internet yang dapat diraba memungkinkan teknik untuk mengendalikan platform virtual dan nyata oleh manusia. Internet dapat dikendalikan oleh reaksi manusia dalam mendengarkan, memvisualisasikan, dan berinteraksi secara manual. Internet yang dapat diraba diperlukan untuk menjaga konektivitas dalam situasi kritis guna memenuhi kebutuhan pengguna. Dasar-dasar fitur dan layanan 5G diuraikan untuk menangani Internet yang dapat diraba. Arsitektur sistem 5G didasarkan pada desain berbasis perangkat lunak berdasarkan struktur cloud

terdistribusi. Tabel 8.5 menunjukkan berbagai jenis masalah dan solusinya yang disajikan dalam sistem IoT.

Tabel 8.5 Tantangan dan solusi yang didukung oleh IoT

| Nomor Urut | Tantangan perkotaan | Relevansi 5G | Keandalan/latensi | Solusi yang didukung oleh IoT |
|------------|-------------------------------|--------------|----------------------|---|
| 1 | Pengendalian badai dan banjir | Ada | Baik/ rata-rata | Sensor ditempatkan untuk mendeteksi kesalahan dini dan peringatan ditempatkan |
| 2 | Pemantauan alam | Ada | Rata-rata | Parameter lingkungan dipantau dengan menempatkan sensor suhu, sensor kelembaban, sensor tekanan, dll. |
| 3 | Pemantauan polusi | Ada | Baik/ rata-rata | Sensor ditempatkan untuk mengidentifikasi elemen beracun yang dihasilkan dari pabrik, tanaman, polusi kendaraan, dll. |
| 4 | Manajemen mobilitas | Ada | Baik/ buruk | Sensor sistem ditempatkan untuk memantau arus lalu lintas, logistik, transportasi yang baik, dll. |
| 5 | Utilitas pendukung daya | Ada | Baik/ rata-rata | Infrastruktur dengan solusi jaringan pintar |
| 6 | Keamanan jaringan | Ada | Baik/ rata-rata | Sensor dan drone ditempatkan untuk mendeteksi tembakan, bahaya biologis, pemantauan kerumunan, dan pembacaan pelat untuk lisensi |
| 7 | Manajemen real estat | Ada | Rata-rata/ buruk | Sensor dan drone ditempatkan untuk memeriksa fungsionalitas bangunan, sumber daya air, meteran listrik, parkir pintar, dll. |
| 8 | Kualitas hidup | Ada | Rata-rata/ rata-rata | Sensor digunakan untuk mendeteksi masalah kesehatan waktu nyata (kualitas udara), infrastruktur multi-moda, sistem transportasi, dll. |

8.5 KEAMANAN IOT DALAM SISTEM 5G

Menangani masalah keamanan merupakan tugas paling penting di bidang IoT. Di era saat ini, masalah keamanan merupakan aspek terpenting dalam kehidupan sehari-hari, sehingga banyak perangkat IoT ditempatkan untuk keamanan perumahan maupun industri. Penerapan perangkat IoT meluas untuk mencapai solusi atas ancaman dan masalah keamanan jaringan. Dibandingkan dengan struktur IoT jaringan konvensional, masalah keamanan berbeda-beda. Selain itu, perangkat IoT merupakan perangkat berdaya rendah dengan kapasitas penyimpanan rendah, sehingga semua jenis solusi tidak dapat digunakan untuk masalah keamanan menyeluruh. Jaringan memiliki sistem heterogen untuk ancaman

keamanan dan menghubungkannya dengan server cloud untuk memproses layanan IoT. Tabel 8.6 merangkum masalah keamanan di IoT beserta kemungkinan penanggulangannya untuk berbagai lapisan.

Tabel 8.6 Ancaman keamanan di IoT beserta kemungkinan penanggulangannya

| Nomor | Jenis-jenis ancaman | Lapisan | Pengurangan |
|-------|---|------------------|--|
| 1 | Akses informasi aplikasi saluran umum klien Akses banyak klien | Lapisan aplikasi | Verifikasi yang dapat dilacak, otentikasi Penyaringan anti-virus Desain, perencanaan, dan proses |
| 2 | Spyware Perencanaan sosial Enervasi | Lapisan data | Deteksi spyware Menyebarkan kewaspadaan terhadap ancaman Pemantauan kemacetan |
| 3 | Bug Penolakan layanan | Lapisan jaringan | Deteksi dan enkripsi Penggunaan firewall |
| 4 | Penolakan layanan | Fisik | Penggunaan teknik spread spectrum |

Kesimpulan

Bab ini menyajikan pendekatan holistik untuk menunjukkan tinjauan tentang efisiensi energi beserta tantangannya dalam jaringan sensor nirkabel seluler. Dasar-dasar jaringan 5G dianalisis dengan sangat baik dalam buku ini dalam hal evolusi, teknologi, masalah keamanan, dan pita frekuensi. Peran jaringan IoT sehubungan dengan teknologi 5G juga dibahas dan menunjukkan bahwa jaringan tersebut memiliki dampak yang sangat tinggi pada keseluruhan sistem 5G yang terkait dengan IoT dan jaringan sensor nirkabel seluler (MWSN).

BAB 9

LAYANAN KEAMANAN UNTUK SISTEM IOT NIRKABEL 5G

9.1 PENDAHULUAN

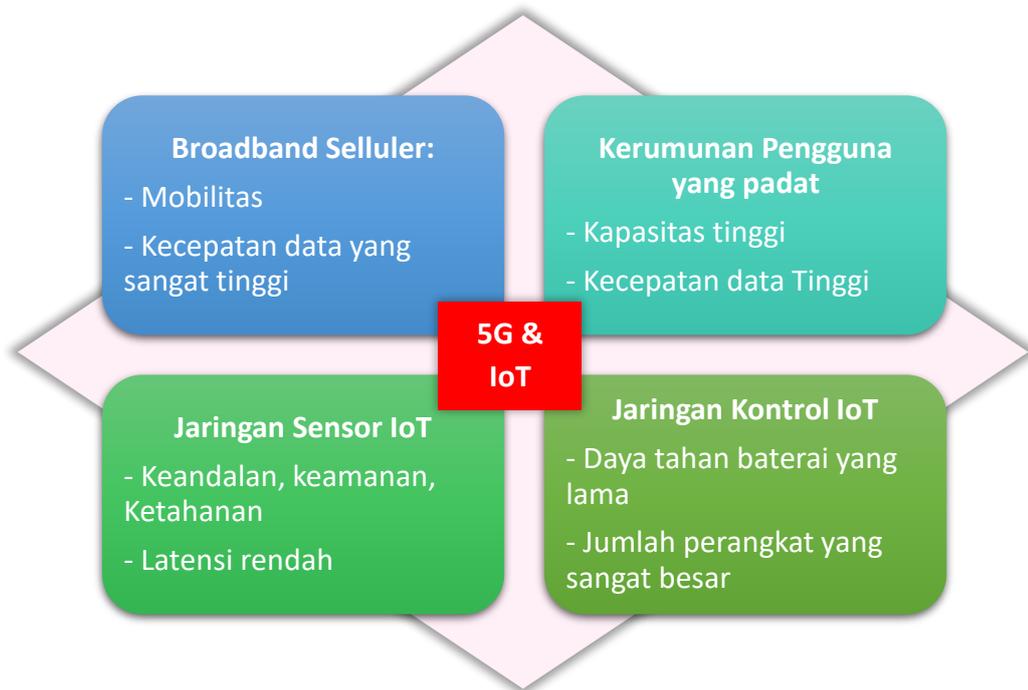
Internet of Things (IoT) adalah bidang baru yang telah berkembang dalam beberapa tahun terakhir dan cenderung memiliki pengaruh besar pada kehidupan kita di masa mendatang. Perkembangan teknik komunikasi sangat pesat dan cenderung menghasilkan banyak hasil yang inovatif. Dengan penemuan jaringan seluler Generasi ke-5, yaitu 5G, hal ini menjadi topik yang menarik dan menantang dalam bidang komunikasi nirkabel. Jaringan 5G memiliki kemampuan untuk menghubungkan jutaan atau miliaran node tanpa memengaruhi kualitas throughput dan latensi. Teknologi 5G dapat mengembangkan masyarakat digital sejati di mana setiap perangkat dapat dihubungkan melalui Internet. IoT adalah teknologi baru di mana segala sesuatu dapat dihubungkan dan dikomunikasikan melalui Internet, istilah semuanya dapat mencakup perangkat komputasi, manusia, perangkat lunak, platform, dan solusi. Perkembangan teknologi ini mengarah pada munculnya sejumlah solusi yang membantu umat manusia, misalnya, ritel cerdas, penciptaan kota cerdas, pertanian cerdas, sistem transportasi cerdas, ekosistem cerdas, dll. Meskipun IoT merupakan teknologi revolusioner dalam perkembangan Internet, IoT masih memiliki beberapa tantangan signifikan untuk implementasinya seperti memastikan keamanan, masalah kinerja, kualitas dukungan, dan penghematan energi, dll. Lebih jauh, buku ini menguraikan motivasi menggabungkan dua teknologi bernama IoT dan 5G untuk komunikasi yang lebih baik. Selain itu, buku ini menggambarkan arsitektur dasar IoT yang memungkinkan 5G dan membahas berbagai solusi untuk menyediakan komunikasi. Selain itu, buku ini juga membahas berbagai tantangan dan kesenjangan penelitian teknologi 5G-IoT.

Sejarah perkembangan sistem komunikasi seluler bertujuan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Seiring berjalannya waktu, kecepatan data komunikasi seluler telah ditingkatkan dan mencapai hasil yang luar biasa dibandingkan dengan yang sebelumnya. Generasi komunikasi seluler telah berkembang melalui lima tahap, yaitu dari Generasi ke-1 (1G) hingga Generasi ke-5 (5G) yang merupakan generasi saat ini. Generasi antara 1 hingga 3G telah berevolusi secara berurutan berdasarkan kualitas layanan dan faktor kecepatan. Pada tahap awal tahun 2000, konsep 4G ditemukan dan merupakan generasi komunikasi pertama yang sepenuhnya dibangun di atas teknik pengalihan paket IP. Seiring dengan peningkatan implementasi teknologi 4G selama bertahun-tahun, keunggulan dari masa lalu mulai berubah menjadi kelemahan. Saat ini, kecepatan jaringan 4G ternyata sangat rendah dibandingkan dengan latensi yang tinggi. Bahasa Indonesia: Saat ini, berbagai macam solusi dibutuhkan yang dapat terhubung pada kecepatan data hingga Gbps. Dalam urutan ini, penemuan jaringan generasi berikutnya, yaitu, 5G dalam durasi awal 2021-an, memengaruhi seluruh dunia digital. Khususnya, dengan munculnya konsep 5G, area penelitian baru telah dihasilkan, yang disebut sebagai Internet of Things (IoT). Teknologi IoT dapat didefinisikan sebagai solusi terintegrasi yang melibatkan teknologi inovatif, yang memungkinkan untuk menghubungkan bersama

orang, platform, perangkat lunak, layanan, perangkat, dll. melalui Internet. Menurut sebuah studi oleh Cisco, pada tahun 2035, 1000 miliar atau lebih perangkat akan dihubungkan bersama melalui Internet. Perangkat tersebut, yang membentuk jaringan IoT akan memiliki semua modul IoT canggih untuk memungkinkan dan menerapkan komunikasi *Device to Device* (D2D) satu sama lain. Aplikasi IoT dapat diimplementasikan di hampir semua dimensi kemanusiaan seperti jaringan pintar, pertanian pintar, mobil self-driven, industri perawatan kesehatan, rumah pintar, industri rantai pasokan, dan masih banyak lagi (Arsitektur 2019). Selain itu, beberapa fitur utama teknologi 5G yang didukung IoT ditunjukkan pada Gambar 9.1.

Sejarah pengembangan semua generasi jaringan menyajikan wawasan penting bahwa setiap generasi berevolusi untuk mengoreksi dan memodifikasi kekurangan generasi sebelumnya dan untuk menggabungkan beberapa konsep baru yang tidak dapat diterapkan oleh generasi sebelumnya. Pada tahap awal tahun 2020, konsep IoT telah diusulkan secara paralel dengan munculnya komunikasi 5G. Prediksi menurut sebuah studi menyatakan bahwa pada tahun 2020 hampir 40 miliar node terhubung sebagai bagian dari jaringan IoT. Tantangan kritis penerapan IoT yang efisien adalah persyaratan untuk mentransfer volume data yang besar di antara perangkat, yang memunculkan kebutuhan untuk meningkatkan infrastruktur yang sudah ada. Teknologi IoT telah mengubah komputasi yang ada di mana-mana dengan mempertimbangkan berbagai aplikasi berbasis sensor. Sejumlah besar aktivitas telah dicatat dalam produk berbasis IoT dan juga diharapkan tumbuh di tahun-tahun mendatang dengan kecepatan tinggi, yaitu, miliar perangkat dan hampir 15 perangkat rata-rata per orang pada tahun 2024. Dalam karya penelitian sebelumnya, sebagian besar masalah tingkat protokol atau tingkat perangkat telah diselesaikan dan saat ini tren terbaru melibatkan pengerjaan masalah integrasi sistem berbasis sensor dan komunikasi D2D.

IoT menjadi bagian utama dari sistem komunikasi nirkabel 5G karena IoT adalah integrasi berbagai komputasi dan non-komputasi, ia akan menjadi bagian utama dari jaringan 5G ini. IoT seperti komunikasi D2D dengan integrasi analitik data dapat mengubah kerangka kerja banyak industri secara drastis. Dengan munculnya teknologi komputasi awan termasuk komputasi awan dan generasi perangkat cerdas, ada lebih banyak peluang untuk inovasi masa depan di bidang IoT. Inovasi ini menjadi motivasi bagi para peneliti untuk mempelajari dan menganalisis penelitian terkini, mengembangkan kerangka kerja baru, dan menggabungkannya ke dalam aplikasi baru. Ada juga berbagai tantangan yang terkait dengan penerapan IoT dengan integrasi teknologi 5G.



Gambar 9.1 Fitur 5G-IoT

Komunikasi Machine to Machine (M2M) memainkan peran penting dalam paradigma IoT yang sedang berkembang. Integrasi IoT dan teknologi 5G dapat diperluas untuk merancang dan mengembangkan robot, drone, aktuator untuk koordinasi terdistribusi, dan juga tugas eksekusi latensi rendah. Meskipun studi penelitian juga menunjukkan berbagai tantangan signifikan IoT dengan jaringan 5G, misalnya, peningkatan kinerja, dukungan kualitas layanan, masalah keamanan dan privasi, dll. Berbagai solusi yang terkait dengan protokol, algoritma perutean, arsitektur, atau spektrum telah disarankan untuk memecahkan masalah yang signifikan. Selain itu, motivasi utama dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

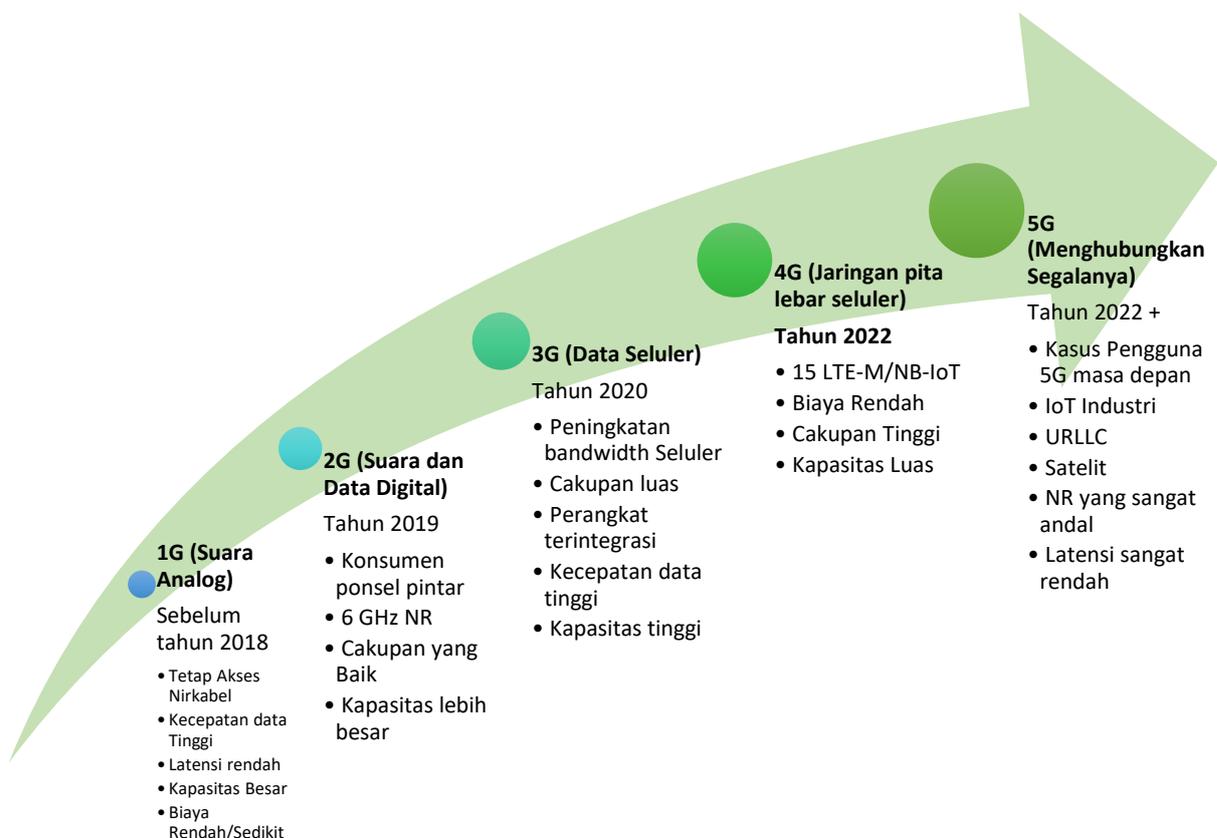
- ❖ Pekerjaan ini membiasakan diri dengan inspirasi dan ide penerapan teknologi 5G bekerja sama dengan teknologi IoT untuk menyediakan komunikasi dan koneksi yang lebih baik antara perangkat pintar dan sensor.
- ❖ Karya ini menggambarkan visi IoT dalam 5G, karya ini juga menggambarkan arsitektur dasar IoT dalam kolaborasi dengan teknologi 5G.
- ❖ Karya ini membahas survei inklusif tentang berbagai teknologi komunikasi terkini untuk IoT dalam 5G, di mana berbagai teknologi dijelaskan seperti SigFox, LoRa, dan ZigBee.
- ❖ Karya ini membahas berbagai tantangan atau masalah yang rentan serta berbagai kesenjangan penelitian dan arah penelitian masa depan untuk memungkinkan teknologi ini dalam teknologi lain untuk menyediakan komunikasi yang lebih baik.

Sisa buku ini disusun sebagai berikut. Bagian "Inspirasi dan ide untuk 5G berdasarkan IoT" menguraikan rincian dan motivasi untuk memungkinkan IoT dengan teknologi 5G untuk komunikasi dan koneksi yang lebih baik di kota-kota pintar. Selain itu, bagian "Struktur IoT dalam kerja sama dengan 5G" membahas arsitektur IoT dalam kerja sama dengan 5G, di mana

kelima lapisan dibahas secara rinci. Di sini tabel juga menjelaskan penggunaan sensor IoT di berbagai area pintar. Selain itu, bagian “Resolusi terkini untuk komunikasi IoT dalam 5G” menjelaskan resolusi terkini untuk komunikasi dan koneksi untuk teknologi 5G yang mendukung IoT, di mana BLE, SigFox, IEEE 802.15.4, LoRa, Wi-Fi, ZigBee, dan NB-IoT dijelaskan bersama dengan tabel perbedaan. Lebih jauh, bagian “Tantangan dan Kerentanan Keamanan” menyoroti beberapa tantangan dan masalah yang rentan dari teknologi IoT yang mendukung 5G. Lebih jauh lagi, bagian “Arah Penelitian Masa Depan” menguraikan berbagai kesenjangan penelitian dalam berbagai teknologi dan arah penelitian masa depan dalam 5G-IoT. Akhirnya, bagian “Kesimpulan” mengabdikan dirinya pada kesimpulan dari keseluruhan penelitian.

9.2 INSPIRASI DAN IDE UNTUK 5G BERBASIS IOT

Dengan melihat berbagai tantangan yang terkait dengan 5G yang terintegrasi dengan IoT, ada motivasi yang kuat untuk menyediakan studi menyeluruh tentang komunikasi nirkabel 5G yang memungkinkan IoT. Karena sejumlah besar peneliti dan industri komunikasi terlibat dalam penelitian bidang 5G-IoT, maka hal ini memberi kita semacam motivasi dan dorongan untuk menyediakan perspektif penelitian terbaru tentang IoT.



Gambar 9.2 Evaluasi 5G-IoT

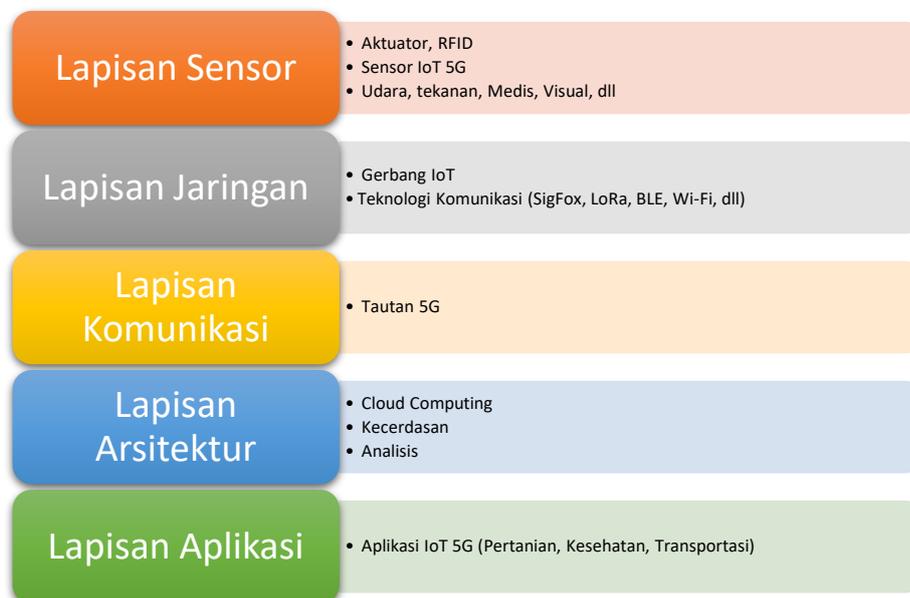
Teknologi jaringan dan komunikasi adalah dasar penyelidikan untuk menyediakan arah baru yang berwawasan tentang 5G-IoT. Saat ini, keamanan menjadi perhatian terpenting dalam IoT karena rentan terhadap kejahatan dunia maya. Dengan demikian, IoT memiliki

peluang dan kemungkinan yang besar untuk penelitian dan juga mencakup semua teknologi 5G yang relevan dengan IoT. 5G-IoT adalah arsitektur yang berisi lima lapisan. Untuk memungkinkan komunikasi yang efektif di antara perangkat dan berbagi sumber daya, kerangka kerja jaringan umum akan dikembangkan dalam 5G-IoT. Jenis jaringan umum ini mungkin dapat menurunkan biaya dan kompleksitas. Selain itu, evaluasi 5G dari 1G ditunjukkan pada Gambar 9.2 di mana IoT diaktifkan dari 4G dan seterusnya.

Di era teknologi dan kemajuan saat ini, Internet merupakan komponen vital karena komunikasi antara perangkat atau mesin apa pun hanya dapat terjalin melaluinya tanpa gangguan dari manusia. IoT 5G merupakan teknologi luar biasa yang diimplementasikan melalui komunikasi penting dan teknologi jaringan kompleks misalnya teknologi gelombang mm, Radio Baru 5G (NR), Multiple Inputs Multiple Outputs (MIMO), dll. Teknologi 5G berjalan pada kecepatan yang sangat cepat dibandingkan dengan teknologi yang ada dan juga sejumlah besar perangkat dapat dihubungkan dalam jaringan dan komunikasi yang andal dapat terjalin (3GPP 2018).

9.3 STRUKTUR IOT DALAM KERJASAMA DENGAN 5G

IoT yang terintegrasi dengan teknologi 5G terutama diimplementasikan pada arsitektur lima lapis. Arsitektur ini mencakup tugas pengumpulan data, pemrosesan data, analisis data, dan pembagian informasi di antara berbagai perangkat dan tautan komunikasi.



Gambar 9.3 Arsitektur 5G-IoT

Dalam jenis arsitektur ini, sensor pintar tetap terhubung melalui gateway ke jaringan berdaya rendah seperti Low-Power Wide Area Network (LPWAN), LoRa, NB-IoT, atau SigFox yang digunakan untuk membangun komunikasi jarak jauh. Tugas utama gateway yang efisien ini adalah mengumpulkan data dari semua perangkat yang terhubung dan mengirimkan informasi ini ke stasiun pangkalan melalui tautan komunikasi 5G. Dengan penggunaan

teknologi 5G NR dengan komunikasi gelombang MM dan pemilihan numerologi yang efektif, tautan komunikasi teknologi 5G dapat dirancang. Lebih jauh, stasiun pangkalan seluler 5G memproses sinyal IoT yang melibatkan antena MIMO dengan kapasitas tambahan multiplexing spasial dan pembuatan berkas. Teknologi komunikasi gelombang MM memungkinkan kita untuk mentransfer sinyal radio pada frekuensi yang lebih tinggi, yaitu lebih dari 6 GHz. Ada banyak aplikasi yang dapat diimplementasikan melalui teknologi 5G NR. Lebih lanjut, arsitektur dasar IoT yang bekerja sama dengan 5G ditunjukkan pada Gambar 9.3.

Lapisan Sensor

Sensor dan perangkat pengumpulan data lainnya menciptakan lapisan pertama arsitektur. Lapisan sensor ini dapat dianggap sebagai lapisan fisik yang mencakup perangkat, sensor, dan aktuator, dan terhubung ke lapisan berikutnya, yaitu lapisan jaringan. Era saat ini adalah era teknologi dan pemanfaatan teknologi ada di mana-mana. Dengan kemajuan perangkat elektronik, industri manufaktur semikonduktor, dan solusi otomasi, pemanfaatan sensor pintar semakin berkembang. Kombinasi sensor dan sumber daya komputasi terintegrasi disebut sensor pintar. Sensor pintar dapat berkomunikasi secara dua arah antara lapisan jaringan dan sensor serta menganalisis data untuk membuat keputusan yang berguna. Dalam arsitektur IoT, lapisan pertama melakukan Komunikasi Jenis Mesin (MTC) dan terhubung dengan lapisan atas, yaitu lapisan jaringan. Sensor pintar baru lebih menguntungkan daripada sensor konvensional lama seperti protokol pintar untuk membangun komunikasi antara perangkat dan sensor, mengurangi komunikasi melalui kabel, mudah diatur dan dirawat, konektivitas fleksibel, solusi berbiaya rendah dan berdaya rendah, sangat andal, dan kinerja efektif. Beberapa sensor terkenal berdasarkan 5G-IoT, yang digunakan dalam berbagai skenario IoT ditunjukkan pada Tabel 9.1.

Lapisan Jaringan

Lapisan kedua arsitektur IoT adalah lapisan jaringan yang terdiri dari LPWAN seperti Sigfox, aliansi LoRa, NB-IoT, ZigBee, dll. Dalam teknologi komunikasi 5G, tugas utama lapisan jaringan adalah memberikan konektivitas jarak jauh dan daya rendah untuk aplikasi IoT. Sejumlah koneksi dapat dibuat untuk mencapai konektivitas yang besar dan kompleks dengan memanfaatkan LPWAN. LPWAN merupakan teknologi yang paling banyak digunakan untuk aplikasi IoT karena menyediakan cakupan area yang luas, efisiensi energi yang lebih tinggi, konsumsi daya yang lebih sedikit, dan kecepatan transfer data yang lebih tinggi.

Lapisan Komunikasi

Lapisan komunikasi dapat dianggap sebagai sistem pendukung arsitektur IoT karena tugas utamanya adalah mentransfer semua informasi melalui semua lapisan. Teknologi Akses Radio (RAT) digunakan dalam lapisan komunikasi untuk aplikasi 5G-IoT. Teknologi 5G NR merupakan upaya 3GPP untuk mengembangkan standar baru bagi teknologi komunikasi nirkabel generasi berikutnya. Teknologi 5G NR distandarisasi sesuai rilis 15 dan 16 3GPP. Teknologi 5G NR merupakan bagian dari RAT yang memiliki komposisi teknologi 5G NR dan Long-Term Evolution (LTE). Ada dua kategori operasional teknologi 5G NR yang disebut rentang 6 GHz dan gelombang milimeter (mm-wave). Berbagai teknologi rumit seperti NR mendukung IoT dengan penyertaan teknologi MIMO masif, bentuk gelombang, dan struktur

rangka. Akses radio menawarkan kompleksitas dan peluang, baik dalam struktur Jaringan Akses Radio (RAN) khususnya dalam platform IoT seperti pertanian pintar, rumah pintar, layanan penting, pabrik pintar, aplikasi perawatan kesehatan, dan masih banyak lagi. Teknologi 5G NR tidak hanya memudahkan prospek pasar untuk stasiun pangkalan kecil dan sel kecil seperti picocell atau femtocell tetapi juga memfasilitasi sensor pintar untuk berbagai jenis aplikasi IoT.

Tabel 9.1 Sensor IoT yang digunakan dalam berbagai aplikasi

| Aplikasi berbasis IoT | Berbasis sensor pada 5G-IoT |
|------------------------------|--|
| E-kesehatan | X-Ray, E-wearable, Suhu, Tekanan, SpO2, Ultrasonografi, EKG, EEG, BP, Denyut nadi, dll. |
| Keamanan publik | Radar sensor lokasi, operasi kimia, pengamatan suhu, pemantauan cahaya, giroskop |
| Industri cerdas | Sensor jarak, sensor kualitas udara, sensor serat optik, sensor asap |
| Lingkungan | Kelembapan, suhu, cahaya, energi, sinar berbahaya, kimia, polusi |
| Rumah cerdas | Suhu, operator perangkat elektronik, pemantauan LPG, robotika |
| Transportasi cerdas | Sensor lalu lintas, jarak, parkir pintar, sensor posisi, sensor kecelakaan sebelumnya, sensor pengemudian otomatis |
| E-studi | Presentasi 3D, perangkat robotika, lab berbasis sensor |

Lapisan Arsitektur

Ini adalah salah satu lapisan kerangka IoT yang mencakup arsitektur seperti Big Data Analytics (BDA), teknologi komputasi awan, dll. Teknologi komputasi awan sebagian besar dipertimbangkan untuk 5G-IoT, karena merupakan salah satu teknologi IoT yang sedang tren, dan terutama terkait dengan solusi Teknologi Informasi (TI). Pemrograman sistem juga dapat disematkan di dalamnya. Arsitektur teknologi awan diterapkan dengan perangkat seperti telepon pintar, Komputer Pribadi (PC), mesin host, dan laptop. Integrasi teknologi awan dengan arsitektur IoT menyediakan layanan di mana-mana yang dapat didistribusikan ke klien dengan peningkatan efisiensi dan manajemen layanan yang lebih sedikit. Dengan demikian, IoT adalah teknologi yang diimplementasikan dengan Big Data (BD), dan manajemen data dilakukan oleh teknologi komputasi awan. Ini adalah jenis antarmuka tempat semua layanan seperti penyimpanan, server data, proses autentikasi dan otorisasi, antarmuka pengguna untuk registrasi dan login, disediakan melalui awan. Teknologi komputasi awan dikategorikan ke dalam tiga model, yaitu sebagai berikut.

- (i) **Infrastruktur sebagai Layanan (I-a-a-S)**: Layanan ini juga disebut perangkat keras sebagai layanan. Layanan semacam ini menghilangkan kebutuhan untuk memasang perangkat keras apa pun di sisi kita seperti server, penyimpanan, atau sumber daya komputasi. Layanan ini secara virtual menyediakan semua layanan yang terkait dengan infrastruktur yang biasa ada di pusat data seperti perangkat keras jaringan,

penyimpanan, pemeliharaan, privasi, layanan pencadangan dan pemulihan, layanan keamanan, dan masih banyak lagi.

- (ii) **Platform sebagai Layanan (P-a-a-S):** Layanan semacam ini secara virtual menyediakan layanan perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan untuk mengembangkan aplikasi. Layanan ini dapat melibatkan antarmuka, lingkungan pengembangan, dan basis data untuk memelihara data. Sistem tertanam yang melibatkan antarmuka pemrograman juga dapat diimplementasikan melalui layanan ini. P-a-a-s membebaskan pengembang dari tanggung jawab untuk memasang dan mengelola layanan perangkat lunak atau perangkat keras dan memungkinkan mereka untuk fokus pada pengembangan aplikasi saja. Penyedia layanan memelihara layanan dan sumber daya.
- (iii) **Software as Service (S-a-a-S):** S-a-a-S adalah jenis layanan distribusi perangkat lunak yang bekerja untuk memenuhi permintaan klien. Dalam konfigurasi ini, tidak perlu menginstal perangkat lunak apa pun secara fisik pada sistem, tetapi layanan yang terkait dengan perangkat lunak dapat diberikan kepada klien sesuai dengan kebutuhan mereka. Selain itu, pembaruan atau penambahan layanan baru dalam perangkat lunak diinstal secara otomatis tanpa campur tangan dari klien.

Application Layer

Lapisan aplikasi berfungsi sebagai antarmuka untuk mengintegrasikan perangkat jaringan dengan konfigurasi jaringan. Lapisan ini menyediakan integrasi semua perangkat dan informasi ke jaringan atau Internet. 5G MTC menawarkan berbagai layanan dan aplikasi. Di masa depan, teknologi jaringan nirkabel dan komunikasi yang canggih akan memungkinkan mesin dan perangkat untuk berkomunikasi tanpa campur tangan manusia (Frustraci et al. 2018). Saat ini, ada berbagai aplikasi yang memerlukan latensi dan kecepatan tinggi, kecepatan data tinggi, dan konektivitas beberapa perangkat.

9.4 RESOLUSI KOMUNIKASI IOT SAAT INI DALAM 5G

Dengan kemajuan industri semikonduktor, perangkat elektronik, dan solusi otomasi, ada peningkatan dalam pengembangan solusi komunikasi untuk 5G-IoT. Solusi ini lebih andal, lebih cerdas, memiliki kecepatan data tinggi, tangguh, dan hemat energi. Jadi sebagai hasilnya, berbagai teknologi komunikasi yang memiliki konfigurasi daya rendah diusulkan untuk IoT 5G, misalnya, LoRa, SigFox. Studi penelitian menyatakan bahwa teknologi berdaya rendah memiliki beberapa karakteristik unik seperti area jangkauan yang luas, konsumsi daya rendah, kecepatan data yang lebih tinggi, hemat energi, dll., yang merupakan 5G-IoT. Bagian berikut berisi diskusi tentang solusi komunikasi yang saat ini dikembangkan untuk 5G-IoT.

Bluetooth Low Energy (BLE)

Komunikasi Bluetooth umumnya diimplementasikan pada laptop, PC, mobil, keyboard, mouse nirkabel, dan earphone. Protokol khusus ini diimplementasikan pada Personal Area Network (PAN) dan mampu membangun komunikasi antara perangkat dalam jarak dekat, yaitu hampir 10 m. Di sisi lain, protokol yang dimodifikasi diperlukan untuk diintegrasikan ke dalam IoT karena ada kebutuhan untuk mengurangi konsumsi daya agar dapat dieksekusi

dengan baterai berukuran sangat pendek. Kelompok Minat Khusus (SIG) teknologi Bluetooth telah mewarisi teknologi BLE saat meluncurkan versi Bluetooth 4.0 untuk mengidentifikasi skenario pasar (Chen et al. 2018). Standar BLE dirancang dengan kemampuan untuk mentransfer paket data kecil secara berkala tidak seperti teknologi Bluetooth tradisional. Variasi utama antara teknologi Bluetooth tradisional dan teknologi BLE baru terlihat pada lapisan Fisik (PHY). Teknologi Bluetooth standar menawarkan 79 saluran yang berisi lebar pita 1 MHz sedangkan standar BLE baru menawarkan 40 saluran yang 37 di antaranya adalah saluran data dan 3 sisanya adalah saluran iklan dengan lebar pita 2 MHz. Dalam kedua standar tersebut, Frekuensi Radio (RF) diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu saluran RF data dan saluran RF iklan. Dalam kategori pertama, saluran data digunakan untuk mentransfer data di antara perangkat yang terhubung dengan Bluetooth sedangkan kategori kedua saluran digunakan untuk koneksi, streaming, dan akuisisi perangkat. Kedua jenis saluran tersebut diaktifkan pada pita frekuensi Industri, Ilmiah, dan Medis (ISM) yang tidak terdaftar sebesar 2,4 GHz. Dalam standar Bluetooth tradisional, proses peralihan bervariasi dari Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK) ke Phase Shift Keying (PSK), yaitu 4-PSK dan 8-PSK, sedangkan dalam standar BLE, pengoptimalan GFSK dilakukan. GFSK menghasilkan nilai Peak-to-Average Power Ratio (PAPR) yang lebih rendah, yang menyiratkan konsumsi daya yang lebih rendah karena penguatan daya.

SigFox

SigFox adalah teknologi baru yang diciptakan pada tahun 2010 dengan tujuan menghubungkan komponen atau perangkat berdaya rendah seperti jam tangan pintar, meteran listrik, regulator, dll., yang harus dioperasikan terus-menerus pada kecepatan data yang sangat rendah. SigFox memanfaatkan pita RF ISM. Ia beroperasi pada frekuensi 868 MHz di Eropa dan pada frekuensi 902 MHz di AS dengan lebar pita saluran 100 MHz. Sinyal SigFox dapat ditransmisikan dengan mudah melalui objek padat. Sinyal ini disebut sinyal pita sangat sempit yang menyediakan konsumsi energi rendah. Ia juga disebut teknologi LPWAN karena kebutuhan daya dan energi rendah yang diterapkan dalam topologi bintang hop tunggal. Teknologi SigFox digunakan untuk mencakup area yang luas dan menjangkau perangkat bawah tanah. Sel-sel SigFox menyediakan jangkauan cakupan sekitar 30–50 km di area yang tidak terlalu padat dan sekitar 20–40 km di area padat seperti area perkotaan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa SigFox dikembangkan untuk menyediakan Jaringan Area Luas (WAN) dengan konsumsi daya yang rendah. Saat ini, sekitar 72 negara telah tercakup oleh sistem IoT SigFox dengan populasi hampir 1,4 miliar.

Ada berbagai aplikasi seperti yang dijelaskan di bagian ini yang dibangun di atas komunikasi SigFox. Mazhar et al. (2021) telah mengembangkan simpul sensor SigFox independen yang mampu mengumpulkan data dari sensor dan meneruskan data ke platform cloud untuk mengimplementasikan aplikasi pertanian pintar. Untuk meningkatkan sistem, sensor dirancang sedemikian rupa, sehingga dapat mengonsumsi energi matahari. Analisis eksperimental menyatakan bahwa sistem memungkinkan transmisi data setiap lima menit bahkan dalam kondisi berawan. Mroue et al. (2018) bekerja pada analisis kinerja SigFox dalam berbagai skala dan situasi kepadatan sensor IoT. Melalui analisis, ditunjukkan bahwa kira-kira,

maksimal 100 sensor mampu mengirimkan data pada saat yang bersamaan. Hasilnya menunjukkan bahwa, dengan meningkatnya jumlah sensor di atas 100, kinerja jaringan dapat berkurang. Studi khusus ini juga menyajikan solusi untuk peningkatan kinerja sensor kepadatan tinggi di SigFox. Lavric dkk. (2019) mengembangkan sensor-simpul Sigfox independen yang mampu mengirimkan data sensor ke server cloud secara langsung. Sel surya digunakan untuk menyediakan daya cadangan dan mampu mentransfer data setiap 5 menit dalam cuaca berawan pada kecepatan data sekitar 5000 lx. Kecepatan transmisi data tinggi ini belum pernah direkam hingga saat ini untuk pengaturan yang sepenuhnya otonom. Untuk implementasi sebenarnya, dua sensor node ditempatkan di kebun anggur untuk mengumpulkan parameter atmosfer.

IEEE 802.15.4

Standar IEEE 802.15.4 mencakup spesifikasi untuk Medium Access Control (MAC) dan lapisan PHY. PHY beroperasi dalam berbagai kelompok ISM yang mengizinkan ke wilayah operasi. Kapasitas pita standar di seluruh dunia adalah 2,4 GHz tetapi ada pita kecepatan data lain seperti 915 MHz di Amerika Utara. Standar IEEE 802.15.4 dimaksudkan untuk dikembangkan untuk PAN. Standar ini terutama digunakan untuk aplikasi organisasi seperti ekologi, pertanian, dan teknik. Jika dibandingkan dengan standar IEEE 802.11, IEEE 802.15.4 tidak menonjol karena kecepatan data yang lebih tinggi, dan juga tidak menekankan pada penautan perangkat. Dengan demikian, standar ini menyediakan kecepatan data yang lebih rendah untuk komunikasi nirkabel untuk perangkat portabel, tetap, atau yang daya baterainya lebih sedikit. Zigbee dapat menjadi contoh yang secara efektif menggunakan standar IEEE 802.15.4. Keunggulan utama Zigbee dibandingkan dengan yang lain adalah kemampuannya dalam bekerja dengan struktur multi-hop dan juga dapat bekerja dengan baik saat terjadi kegagalan jaringan. Ada tujuh kategori mode kerja berbeda yang diusulkan dalam standar IEEE 802.15.4. Metode utama untuk konsumsi energi yang lebih rendah dari sudut pandang IoT adalah Offset Quadrature Phase Shift Keying dengan Direct Sequence Spread Spectrum (OQPSK-DSSS), Differential Quadrature Phase Shift Keying dengan Chirp Spread Spectrum (DQPSK-CSS), dan Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK) dengan distribusi non-virtual.

LoRa

LoRa adalah teknologi komunikasi LPWAN yang baru muncul dan merupakan salah satu yang terpenting. Teknologi ini memiliki kemampuan untuk menyediakan konektivitas ke perangkat dengan keterbatasan energi yang didistribusikan di area yang luas dan juga dengan biaya yang lebih rendah. Teknologi LoRa memanfaatkan proses modulasi LPWAN dan pita frekuensi tak berlisensi seperti 433 dan 868 MHz di kawasan Eropa, 915 MHz di kawasan Amerika Utara dan Australia, serta 923 MHz untuk kawasan Asia. LoRa menyediakan transmisi dalam jangkauan luas dengan konsumsi daya rendah. Teknologi LoRa dioperasikan pada PHY dan protokol seperti Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) beroperasi di atas lapisan jaringan. Kecepatan data dapat mencapai antara 0,3 dan 27 kbps (sekitar) tergantung pada faktor distribusi. Meskipun, menurut penelitian, penerapan jaringan LoRa yang fleksibel dengan fitur hemat biaya masih merupakan tantangan yang signifikan.

Ma et al. (2021) mengusulkan dan mengembangkan kerangka kerja LoRa akses terbuka untuk IoT. Proses pengembangan khusus ini melibatkan kerangka kerja desain dan implementasi perangkat keras untuk gateway LoRa yang menggunakan kode sumber terbuka LoRa yang tersedia di GitHub. Server LoRa dapat ditingkatkan dengan pemanfaatan sistem pesan untuk menciptakan interaksi di antara berbagai modul untuk peningkatan skalabilitas dan fleksibilitas. Hasil percobaan ini menunjukkan bahwa ada peningkatan yang signifikan dalam kinerja jaringan LoRa jika dibandingkan dengan LoRa tradisional. Lee et al. (2018) menganalisis jaringan mesh LoRa untuk memeriksa kemampuannya untuk diterapkan di daerah perkotaan. Untuk pekerjaan analisis ini, 19 node mesh LoRa dipasang dalam kisaran 800×600 m di area kampus sebuah universitas dan sebuah gateway juga dipasang yang melakukan pengumpulan data pada interval waktu 1 menit. Hasil percobaan menunjukkan bahwa rasio pengiriman paket rata-rata yang dicapai dari kerangka kerja LoRa mesh hampir mencapai 93,19%, sedangkan topologi bintang LoRa hanya mampu mencapai rasio pengiriman 67,9% dalam keadaan yang sama. LoRa dianggap sebagai yang paling efektif dari semua teknologi LPWAN. LoRa mampu membangun komunikasi yang kuat dalam aplikasi IoT dalam jarak yang jauh dengan konsumsi daya yang sangat rendah. Teknologi ini juga menjanjikan dari perspektif industri IoT. Meskipun kerangka kerja LoRa juga memiliki keterbatasan karena tidak menyediakan dukungan untuk aliran data secara real time. Untuk mengatasi keterbatasan ini, Senewe et al. (Senewe dan Suryanegara 2020) merancang strategi baru terkait akses media, yang disebut Real-Time LoRa (RT-LoRa), yang bertujuan untuk memberikan dukungan real-time untuk aplikasi IoT berbasis LoRa. Keluaran percobaan menyatakan bahwa RT-LoRa mampu mendukung aliran data real-time. Wi-Fi

Teknologi Wi-Fi merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang sangat diakui dan banyak digunakan berdasarkan standar IEEE 802.11. Umumnya digunakan untuk mengakses Internet dalam jarak 100 m. Pita frekuensi operasionalnya adalah 2,4–5 GHz. Karena Wi-Fi sesuai untuk komunikasi dalam jarak pendek, maka Wi-Fi merupakan solusi yang tepat untuk membangun komunikasi dalam jaringan IoT. Jiang dkk. (2021) mengusulkan solusi untuk aplikasi IoT rumah pintar berdasarkan manajemen antrean tempat titik akses dihubungkan bersama melalui Wi-Fi. Tujuan utama dari pekerjaan ini adalah untuk mengusulkan mekanisme kontrol penerimaan di titik akses Wi-Fi untuk mengurangi waktu respons. Hasil percobaan membuktikan bahwa sistem baru berbasis Wi-Fi lebih andal dan stabil daripada aplikasi IoT rumah pintar sebelumnya. Qi dkk. (2020) menemukan solusi baru berdasarkan WIOTAP untuk mengusulkan komunikasi hemat energi untuk sistem IoT berbasis Wi-Fi. Solusi ini bekerja pada titik akses Wi-Fi yang cerdas. Ia menyajikan mekanisme untuk mengurangi pertentangan akses saluran downlink dan penundaan dalam proses antrean stasiun, yang disebut mekanisme penjadwalan paket downlink. Keluaran percobaan menyatakan bahwa sistem saat ini merupakan sistem yang lebih baik dari yang lama. Dengan demikian, konsumsi energi ditingkatkan hingga 38% sedangkan penundaan ditingkatkan hingga 41%.

Tantangan IoT yang paling krusial adalah pelacakan dan penentuan lokasi dalam skenario waktu nyata. Sistem atau aplikasi yang berbasis pada Sistem Pemosisian Global (GPS) sangat dikenal untuk lingkungan luar dan tidak sesuai untuk skenario dalam ruangan. Pokhrel

dkk. (2020) memproyeksikan solusi IoT berbasis sinyal Wi-Fi baru untuk menentukan lokasi dan melacak lingkungan dalam ruangan. Pekerjaan tersebut menggunakan jenis pesan yang dibangun berdasarkan standar Wi-Fi 802.11-REVmc2. Untuk meningkatkan akurasi dan kemampuan sistem penentuan posisi, waktu perjalanan pulang pergi dan kekuatan sinyal dianalisis. Hasil pengaturan eksperimen menunjukkan bahwa sistem saat ini meningkatkan kinerja dan mencapai rata-rata akurasi posisi sebesar 1,43 m dengan waktu pembaruan 0,19 detik untuk skenario interior.

ZigBee

ZigBee adalah teknologi komunikasi nirkabel yang berbasis pada standar IEEE 802.15.4 dan beroperasi dalam pita RF ISM. Teknologi ini dirancang untuk menyediakan komunikasi nirkabel berdaya rendah dan berbiaya rendah untuk infrastruktur IoT. Teknologi ZigBee lebih unggul dibandingkan teknik komunikasi lain yang terkait dengan jaringan IoT karena biaya yang lebih rendah, penerapan yang mudah, dan fitur fleksibilitas. ZigBee mampu mengirimkan data pada jarak 100 m pada kecepatan data 250 kbps, tergantung pada atribut lingkungan dan daya. Teknologi ZigBee biasanya berlaku dalam skenario jaringan dengan kecepatan data yang lebih rendah, masa pakai baterai yang lama, dan komunikasi jarak pendek seperti rumah pintar, perangkat perawatan kesehatan, kontrol peralatan manufaktur, dll. Franco dkk. (Franco de Almeida dan Leonel Mendes 2018) mengembangkan penerima ZigBee berbasis MIMO untuk mengendalikan serangan pengacauan dalam jaringan IoT. Karya ini juga mengusulkan metode pembelajaran untuk mengurangi interferensi yang tidak dikenal. Hasil percobaan yang diusulkan mengonfirmasi bahwa sistem yang dikembangkan dapat memberikan kapasitas mitigasi gangguan sebesar 26,7 dB secara rata-rata dibandingkan dengan versi penerima ZigBee sebelumnya.

Yu dkk. (2019) mengusulkan kerangka kerja keamanan berbasis cap waktu untuk menangani serangan replay untuk ZigBee. Solusi yang diusulkan ini secara signifikan meningkatkan konsumsi energi. Selain itu, untuk peningkatan kelayakan, kerangka kerja ini memanfaatkan perangkat bertenaga untuk menyediakan energi ke perangkat yang daya terbatas bersama dengan cap waktu saat ini. Kerangka kerja ini dirancang sedemikian rupa sehingga sesuai untuk semua sistem ZigBee. Pengaturan eksperimental secara signifikan meningkatkan penanganan serangan replay di jaringan IoT berbasis ZigBee. Karie dkk. (2021) mengusulkan desain sensor pintar dengan menggabungkan dua modul komunikasi yang berbeda, yaitu LoRa dan ZigBee untuk mengukur faktor-faktor seperti kelembapan dan suhu serta kelembapan untuk aplikasi IoT. Dengan menggunakan modul transceiver LoRa atau ZigBee, data sensor ditransfer ke penerima pusat. Desain dunia nyata dan statistik eksperimental menunjukkan keunggulan kerangka kerja komunikasi jarak jauh dan daya rendah untuk aplikasi IoT.

NarrowBand IoT

NarrowBand IoT (NB-IoT) adalah teknologi radio baru berbasis LPWAN yang diciptakan oleh grup 3GPP untuk mendukung sejumlah besar koneksi, area jangkauan yang luas, biaya yang lebih rendah, dan konsumsi daya yang rendah dalam 5G IoT. Ini adalah teknik komunikasi yang baru muncul dan berkembang untuk 5G IoT. Fokus utama NB-IoT adalah cakupan area

dalam ruangan, biaya yang lebih rendah, masa pakai baterai yang lebih lama, dan koneksi yang besar. Bandwidth yang digunakan sempit, yaitu 200 kHz. Untuk komunikasi downlink, teknik modulasi OFDM digunakan dan SC-FDMA diterapkan untuk komunikasi uplink. Thanh et al. (2019) mengusulkan prototipe jaringan NB-IoT sumber terbuka untuk aplikasi 5G IoT.

Percobaan ini merupakan proses pemanfaatan modul NB-IoT komersial yang sudah ada untuk mengirimkan data sensor melalui NB-IoT sumber terbuka. Cao dkk. (2020) melakukan evaluasi kinerja dan memodifikasi protokol NB-IoT untuk perbaikan dalam 5G IoT. Motif utama dari pekerjaan ini adalah untuk mengevaluasi "metrik penundaan" dengan menggunakan jaringan stokastik dan untuk mengimprovisasi protokol NB-IoT dengan meningkatkan algoritma pengelompokan k means untuk mengkategorikan perangkat dan melakukan strategi penjadwalan yang digerakkan oleh prioritas. Hasil percobaan menunjukkan bahwa metode penjadwalan yang diusulkan untuk lalu lintas uplink telah meningkatkan kinerja melalui skema penjadwalan yang sudah ada. Goyal dkk. (2021) mengusulkan metodologi untuk merancang PHY perangkat NB-IoT. Tujuan utama dari karya ini adalah untuk menyajikan fitur, penjadwalan uplink dan downlink dari saluran fisik yang ada di stasiun pangkalan dan perangkat pengguna untuk membantu pengguna mengetahui spesifikasi 3GPP tanpa banyak membaca. Oleh karena itu, ringkasan dari solusi terkini yang dibahas di atas untuk komunikasi dalam 5G-IoT ditunjukkan pada Tabel 9.2.

9.5 TANTANGAN DAN KERENTANAN KEAMANAN

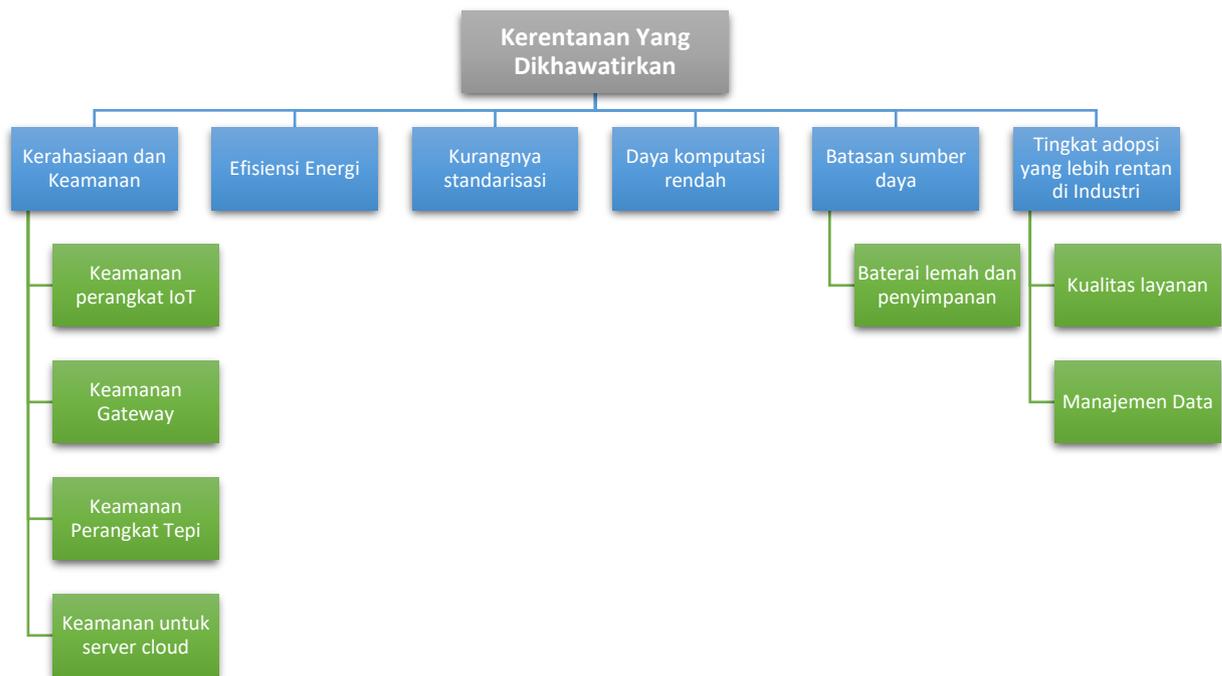
Studi khusus ini menyoroti berbagai kontribusi inovatif 5G IoT dalam berbagai bidang untuk melayani kemanusiaan. Teknologi berdaya rendah adalah sistem pendukung utama untuk mengimplementasikan aplikasi IoT secara komersial. Aplikasi ini mungkin terkait dengan berbagai domain seperti kondisi lingkungan, kota pintar, rumah, gedung, dan pertanian pintar. Teknologi komunikasi yang semakin banyak diterapkan dalam aplikasi IoT memiliki berbagai karakteristik seperti konsumsi daya rendah, cakupan area yang luas, kecepatan data yang lebih tinggi, pita frekuensi yang lebar, dll. yang membuat teknologi ini cocok untuk diterapkan dalam arsitektur IoT. Contoh teknologi ini meliputi BLE, ZigBee, IEEE 802.15.4, SigFox, LoRa, dan masih banyak lagi. Sasaran layanan komunikasi ini adalah untuk membangun konektivitas dalam aplikasi IoT 5G. Meskipun teknologi ini bermanfaat, ada berbagai tantangan terkait implementasi karena menghubungkan satu miliar perangkat IoT. Dua isu utama terkait dengan efisiensi energi dan keamanan. Selain itu, Gambar 9.4 menunjukkan berbagai masalah yang rentan dalam teknologi IoT 5G.

Tabel 9.2 Perbedaan antara solusi komunikasi saat ini dalam 5G-IoT

| | | | | | | | |
|--|------------------------|-----------------------|------------------|------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| Technology (Salimibeni et al. 2020; Ikpehai, et al. 2019; Mazhar et al. 2021; Mroue et al. 2018; Lavric et al. 2019; Musaddiq et al. 2021; Aboubakar et al. 2020; Leonardi et al. 2019; Ma et al. 2021; Lee and Ke 2018; Senewe and Suryanegara 2020; Jiang, et al. 2021; Qi et al. 2020; Pokhrel et al. 2020; Franco de Almeida and Leonel Mendes 2018; Yu et al. July 2019; Karie et al. 2021; Chen et al. 2019; Migabo et al. 2018; Loulou, et al. 2020; Ghazali et al. 2021; Thanh et al. 2019; Cao, et al. 2020; Goyal et al. 2021) | BLE | SigFox | IEEE 802.15.4 | LoRa | Wi-Fi | ZigBee | NB-IoT |
| Range | 100 m | Many Kms | 100 m | 2–5 km | Many Kms | < 1 km | 1–10 km |
| Bandwidth | 1–10 Mb/s | 250/500 kHz | 2.4 GHz, 2 MHz | 100 Hz | 20/40 MHz | 2 MHz | 200 kHz |
| Standardization | IEEE 802.15.1 alliance | Collaboration of ETSI | LR-WPAN | LoRa alliance | IEEE 802.11 alliance | ZigBee alliance | 3GPP |
| Cost | Low | Medium | Low | Medium | Low | Medium | Low |
| Frequency band | 2.4 GHz | <1 GHz | 2.4 GHz | <1 GHz | <1, 2.4, 5 GHz | 902–928 MHz, 2.4 GHz | 700, 800, 900 MHz |
| Maximum data rate | 1 Mb/s | 100 b/s | 0.252 Mb/s | 18 b/s-37.5 kb/s | 1–54 Mb/s | 250 kb/s | 200 kb/s |
| Power | Low | Low | Low | Low | Medium | Low | Low |
| Spectrum strategy | Wideband | Ultra narrow band | Wideband | Wideband | Wideband | Wideband | Wideband |
| Technology (Salimibeni et al. 2020; Ikpehai, et al. 2019; Mazhar et al. 2021; Mroue et al. 2018; Lavric et al. 2019; Musaddiq et al. 2021; Aboubakar et al. 2020; Leonardi et al. 2019; Ma et al. 2021; Lee and Ke 2018; Senewe and Suryanegara 2020; Jiang, et al. 2021; Qi et al. 2020; Pokhrel et al. 2020; Franco de Almeida and Leonel Mendes 2018; Yu et al. July 2019; Karie et al. 2021; Chen et al. 2019; Migabo et al. 2018; Loulou, et al. 2020; Ghazali et al. 2021; Thanh et al. 2019; Cao, et al. 2020; Goyal et al. 2021) | BLE | SigFox | IEEE 802.15.4 | LoRa | Wi-Fi | ZigBee | NB-IoT |
| Modulation | GFSK | DBPSK | O-QPSK, CCK/DSSS | LoRa | 256-QAM | BPSK, QPSK | QPSK |
| Sensitivity | –95 dBm | –126 dBm | –97 dBm | –149 dBm | –95 dBm | –85 dBm | –141 dBm |
| 1-Hop latency | 3 ms | 2 s | 1.5/1./20 ms | 500 ms | NA | 140 ms | 1 Mb/s |

Kerahasiaan dan Keamanan

Tujuan utama IoT adalah membangun konektivitas antara segala hal. Penemuan infrastruktur IoT telah membentuk dunia terbuka di mana segala sesuatunya terhubung melalui Internet. Namun, selalu ada kekurangan yang terkait dengan kelebihan. Karena segala sesuatunya terhubung ke Internet, node atau perangkat sangat rentan terhadap ancaman dan serangan keamanan. Dengan demikian, masalah keamanan dan privasi merupakan faktor terpenting untuk mendorong pengembangan infrastruktur IoT agar dapat diimplementasikan secara praktis. Serangan keamanan dapat disuntikkan ke dalam beberapa lapisan arsitektur IoT.



Gambar 9.4 Masalah 5G-IoT yang perlu ditangani

- **Keamanan untuk perangkat IoT:** Perangkat yang termasuk dalam infrastruktur IoT memiliki kapasitas komputasi rendah dan jumlahnya sangat banyak serta tidak sesuai untuk meringkaskan sistem yang kuat dan aman. Oleh karena itu, fokus utama penyerang adalah mengeksploitasi kelemahan perangkat IoT.
- **Keamanan untuk perangkat gateway:** Gateway adalah antarmuka komunikasi antara perangkat PHY dan lapisan yang lebih tinggi. Itulah sebabnya ia disebut sebagai bagian utama infrastruktur IoT. Serangan seperti Denial of Service (DoS) atau spoofing data umumnya menargetkan perangkat gateway IoT.
- **Keamanan untuk perangkat edge:** Teknologi edge computing merupakan bagian inti dari solusi yang baru diusulkan untuk mengurangi waktu respons layanan dalam IoT real-time. Oleh karena itu, mengamankan server edge dari serangan merupakan tantangan utama.
- **Keamanan untuk server cloud:** Teknologi cloud merupakan solusi yang memungkinkan untuk menyimpan dan menganalisis sejumlah besar data yang dihasilkan dari perangkat IoT. Dengan demikian, memastikan fitur keamanan server berbasis cloud juga merupakan tantangan utama.

Efisiensi Energi

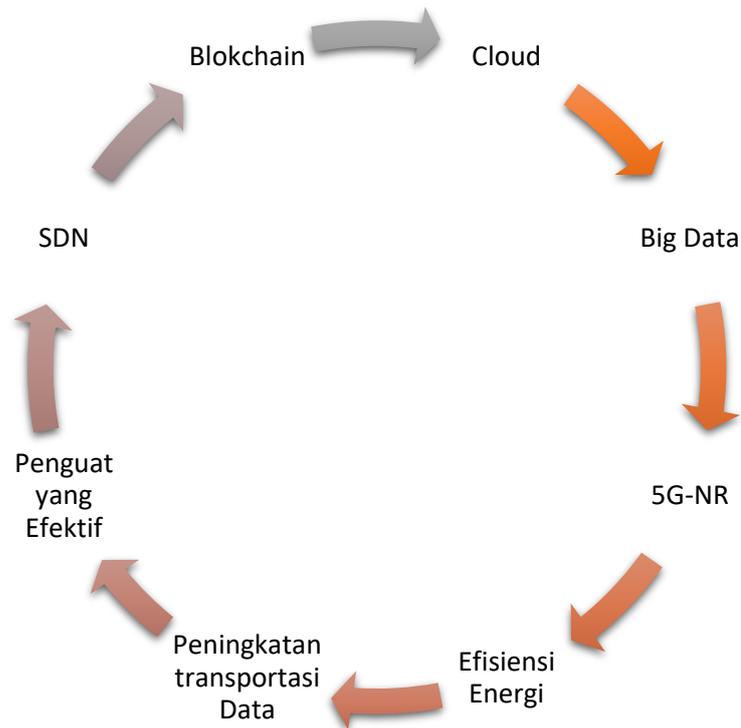
Meskipun aplikasi IoT dianggap hemat energi, konsumsi energinya sendiri sangat besar. Diasumsikan dari hasil studi bahwa seiring meluasnya aplikasi IoT 5G, miliaran perangkat yang terhubung dengan IoT akan beroperasi dan mentransmisikan data tanpa henti setiap saat. Jadi sebagai konsekuensinya, akan ada sejumlah besar konsumsi energi dan juga akan meningkat setiap saat. Oleh karena itu, menerapkan solusi yang layak dan hemat energi merupakan tantangan besar.

Arah Penelitian Masa Depan

Kebutuhan akan teknologi komunikasi 5G saat ini adalah untuk memberikan standar guna membangun komunikasi di antara sejumlah besar perangkat di area yang luas guna memenuhi persyaratan aplikasi industri maupun sosial yang terkait dengan IoT. Agar implementasi teknologi tersebut berhasil, penting untuk mengidentifikasi tantangan teknis dan praktis serta memastikan QoS (Generation Partnership Project (3GPP 2018)). Secara khusus, bagian ini mencoba untuk menggambarkan beberapa tantangan signifikan terkait IoT 5G dan beberapa ide untuk penelitian di masa mendatang, yang ditunjukkan pada Gambar 9.5.

9.6 STRUKTUR JARINGAN BERBASIS BIG DATA

Struktur jaringan komunikasi nirkabel saat ini adalah untuk memfasilitasi transmisi data dan membangun komunikasi di antara perangkat jaringan. Untuk mengakses manfaat utama BD di bidang IoT 5G, solusi dan kerangka kerja baru yang mempertimbangkan BD harus diusulkan. Kerangka kerja baru ini mampu menampung sejumlah besar data dan mengintegrasikan BD tersebut ke dalam jaringan dengan sangat efisien. Solusi baru ini berfokus pada pengabaian data yang tidak dimanfaatkan dan pemrosesan informasi yang diinginkan di lokasi yang sesuai. Fitur lain dari penelitian yang terkait dengan analitik big data adalah jaringan yang dipersonalisasi. Pendekatan baru ini mencakup Service-Function Chain (SFC) atau partisi jaringan yang mendukung berbagai layanan BD dengan mengembangkan jaringan yang terkait dengan layanan di bagian atas jaringan fisik. Kustomisasi partisi jaringan lebih lanjut dapat dilakukan sesuai dengan persyaratan layanan. Untuk memanfaatkan sumber daya jaringan secara maksimal, sebaiknya digunakan beberapa partisi atau SFC. Dalam teknologi 5G, SFC harus memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi variasi dalam status jaringan dan kebutuhan layanan.



Gambar 9.5 Kesenjangan penelitian 5G-IoT

Radio Baru 5G (NR): Pertimbangan Desain Bentuk Gelombang Baru

Pemilihan bentuk gelombang merupakan bagian terpenting dari desain teknologi 5G NR. Pilihan utama untuk merancang LTE adalah OFDM, tetapi tidak sesuai untuk bentuk gelombang 5G karena *Inter-Channel Interference* (ICI) yang lebih tinggi, *Inter Symbol Interference* (ISI) yang meningkat, dan PAPR yang lebih tinggi. Jadi, semua keterbatasan bentuk gelombang OFDM ini dapat dianggap sebagai tantangan untuk penelitian 5G di masa mendatang. Karakteristik desain utama bentuk gelombang baru harus lebih rendah latensinya (<1 ms) untuk mengaktifkan layanan baru. Fitur latensi rendah berguna untuk aplikasi IoT dan latensi yang sangat rendah digunakan untuk *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB) dan komunikasi penting seperti berkendara otomatis. Aspek lain dari perancangan gelombang baru adalah penerapan awalan siklik. Awalan ini dapat digunakan dalam kedua mode, baik normal maupun extended. Untuk merancang bentuk gelombang, pemilihan numerologi dipertimbangkan dan menggunakan nilai numerik yang berbeda. Dengan mempertimbangkan semua aspek bentuk gelombang 5G yang disebutkan, berbagai jenis bentuk gelombang seperti *Filter Bank Multi-Carrier* (FBMC) atau *Generalized Frequency Division Multiplexing* (GFDM) dapat dihasilkan.

Efisiensi Energi

Berdasarkan studi tinjauan menyeluruh, pertimbangan utama untuk merancang dan mengembangkan jaringan nirkabel 5G adalah konsumsi energi. Seiring berkembangnya teknologi 5G, satu miliar perangkat kemungkinan akan terhubung dalam satu jaringan yang memiliki berbagai stasiun pangkalan dibandingkan dengan jaringan LTE. Jadi, untuk

mengakomodasi sejumlah besar perangkat, ada kebutuhan untuk mengusulkan solusi hemat energi. Asumsi pertama untuk mengatasi masalah ini mungkin dengan menyiapkan stasiun pangkalan sel kecil. Jenis stasiun pangkalan seperti itu mampu meningkatkan kapasitas di area dengan kepadatan lebih tinggi. Ia mampu meningkatkan area jangkauan, masa pakai baterai, dan kecepatan data dengan mengurangi konsumsi daya. Efisiensi energi dapat dicapai melalui kerangka kerja sebagai berikut:

- ✓ Kompromi penyebaran dan efisiensi energi: Kompromi ini penting dalam mencapai pengurangan konsumsi energi dan biaya yang lebih rendah dalam jaringan yang diusulkan.
- ✓ Kompromi spektrum dan efisiensi energi: Kompromi ini digunakan untuk menyeimbangkan konsumsi energi.
- ✓ Kompromi bandwidth dan daya: Untuk tingkat transmisi target, kompromi ini digunakan untuk menyeimbangkan konsumsi bandwidth.
- ✓ Kompromi daya tunda: Kompromi ini digunakan untuk menyeimbangkan penundaan layanan rata-rata sehubungan dengan konsumsi daya.

Pertukaran antara Komunikasi, Pengumpulan, dan Komputasi

Komunikasi nirkabel 5G adalah jenis komunikasi yang beragam. Tugas pengumpulan data dan sumber daya komputasi harus dilakukan secara cerdas untuk mendukung BD dalam jaringan heterogen 5G-IoT. Dengan demikian, faktor penyeimbang penting untuk komunikasi, proses penangkapan, dan komputasi sumber daya. Untuk mengurangi biaya penyimpanan, hasil komputasi harus disimpan sementara. Untuk menyediakan sumber daya yang optimal, keseimbangan antara sumber daya yang heterogen sangatlah penting. Teknologi IoT 5G telah berkembang seiring dengan besarnya volume sumber daya data. Data ini dikumpulkan dari berbagai sumber daya yang menghasilkan distribusi data secara tidak seragam. Dengan demikian, untuk menyimpan, mengambil, dan menganalisis volume data yang sangat besar ini, solusi yang diusulkan adalah penangkapan tepi kooperatif. Untuk pemrosesan data, diperlukan teknologi komputasi tepi.

Desain Penguat Multi-Pita yang Tersinkronisasi dan Berdaya Tinggi yang Efektif

Pentingnya penguat daya multi-pita adalah untuk mengurangi biaya dan ukuran stasiun pangkalan dalam 5G-IoT. Penguat ini mampu mendukung sinyal frekuensi multi-pita secara bersamaan yang memungkinkan semua fungsi berjalan pada saat yang sama. Penguat yang paling mampu adalah penguat daya pita tunggal yang bersamaan dan paralel. Dalam 5G NR, MIMO dan mmwave digunakan untuk komunikasi di stasiun pangkalan. Penguatan daya RF linier penting untuk konsumsi energi di stasiun pangkalan. Penerapan penguat daya juga membantu mengurangi pembuangan panas di stasiun pangkalan. Pengurangan konsumsi energi stasiun radio juga cenderung mengurangi masukan lingkungan RAT.

Kesimpulan

Visi terpenting dari teknologi 5G-IoT adalah membangun komunikasi di antara sejumlah perangkat yang berbeda di bawah jaringan yang sama. Ada banyak aplikasi berdasarkan komunikasi nirkabel 5G seperti pertanian pintar, rumah pintar, mobil pintar, kota pintar, dan perangkat medis pintar yang menyebabkan revolusi dalam IoT. Implementasi

aplikasi semacam itu membutuhkan pembentukan konektivitas besar pada kecepatan yang lebih tinggi di bawah teknologi nirkabel 5G. Atas dasar analisis komponen penting 5G-IoT, studi tinjauan ini merupakan diskusi singkat tentang teknologi komunikasi yang dibatasi daya. IoT akan dianggap sebagai masa depan baru bagi dunia di mana semuanya akan dihubungkan bersama oleh Internet seperti perangkat, perangkat lunak, orang dan sistem, dll. Penemuan teknologi 5G-IoT telah mengembangkan berbagai aplikasi seperti pertanian cerdas, kota pintar, rumah pintar, perangkat perawatan kesehatan pintar, sistem energi hijau, dll. Studi ini telah menyajikan ikhtisar lengkap dari semua teknik komunikasi 5G-IoT yang dicirikan oleh jangkauan yang sangat besar, peningkatan efisiensi energi, dan konsumsi daya yang rendah. Dengan selesainya penelitian saat ini, aspek-aspek yang terkait dengan konsumsi dan keamanan energi akan menjadi area penelitian yang menarik di masa mendatang dan akan mendapatkan perhatian dari industri serta perspektif penelitian. Penelitian di bidang 5G-IoT dapat dibuktikan sebagai layanan sosial dalam pengembangan dunia yang lebih baik.

BAB 10

KEAMANAN JARINGAN SENSOR NIRKABEL IOT DI ERA 5G DAN SETIAPNYA

10.1 PENDAHULUAN

Kontribusi sebelumnya menggunakan prosedur k-means untuk membuat kluster. Prosedur ini diubah menjadi rute rantai saat konten ambang batas melampaui energi perangkat dalam sistem. Bahan bakar pemancar informasi mencakup daya sirkuit mesin dan besarnya komunikasi fakta dan ledakan. Kecerahan membantu dalam sirkuit komunikasi. Paket pengetahuan dikirim ke tujuan. Arsitekturnya memiliki dua tahap. Kelompok terbentuk selama tahap pengelompokan. Metode CBR Optimal menggunakan prosedur k-means untuk membangun kelompok. Metode ini memilih kepala kluster berdasarkan panjang Euclidean dan bahan bakar perangkat. Ambang yang diposting oleh kepala kelompok ke masing-masing asosiasi set adalah bobot karakteristik di atas mana mesin mengirimkan data ke kepala. Saat dua pertiga perangkat mati, instrumen menggunakan prosedur greedy untuk membangun metodologi multi-hop seperti rantai untuk mencapai stasiun pangkalan. Transmisi suar dikirim oleh stasiun pangkalan ke perangkat aktif dalam tahap rantai (ketika energi simpul lebih rendah). Stasiun pangkalan membuat jalur menggunakan perutean rantai multi-hop dan teknik greedy. Perangkat mengirim pemberitahuan ke stasiun pangkalan menggunakan jalur rantai. Pekerjaan yang diusulkan meningkatkan keamanan sebesar 9,67% saat mentransmisikan data dan sebesar 11,38% (perangkat disusupi).

Sensor adalah perangkat kecil yang digunakan untuk mengumpulkan informasi dari objek yang diinginkan. Jumlah hub sensor dalam organisasi detektor lebih tinggi daripada jumlah perangkat dalam organisasi dadakan. Hub elemen penginderaan cenderung mengecewakan. Geografi jaringan sensor sering berubah. Hub sensor pada dasarnya memanfaatkan pandangan dunia korespondensi transmisi, sementara sebagian besar organisasi dadakan bergantung pada pertukaran uang-ke-titik. Hub sensor dibatasi dalam daya, batasan komputasi, dan memori. Hub detektor mungkin tidak memiliki bukti yang dapat dikenali di seluruh dunia (ID) mengingat ukuran perangkat kecil yang terus bertambah dan tak terhitung jumlahnya.

Sensor pintar dengan aktuator membuat Internet of Things Ide Internet adalah untuk mengasosiasikan gadget PC yang berubah menjadi sekelompok rekan. Ini mencakup hal-hal dari ruang tempat tinggal manusia, seperti peralatan rumah, mesin, transportasi, kapasitas bisnis, produk, dll. Kuantitas di ruang hidup lebih banyak daripada kuantitas total populasi. Penelitian terus membuat hal-hal ini berbicara satu sama lain menggunakan Internet. Korespondensi di antara hal-hal ini mengacu pada Internet of Things.

Rekomendasi menggunakan algoritma k-means. Ia mengonversi ke rute rantai ketika konten ambang melampaui energi perangkat dalam sistem. Bahan bakar pemancar informasi mencakup daya sirkuit mesin dan besarnya komunikasi fakta dan ledakan. Kecerahan

membantu dalam sirkuit komunikasi. Paket pengetahuan dikirim ke tujuan. Arsitektur memiliki dua tahap. Kelompok terbentuk selama tahap pengelompokan. Metode CBR Optimal menggunakan prosedur k-means untuk membangun kelompok. Ia memilih kepala kluster berdasarkan panjang Euclidean dan bahan bakar perangkat. Ambang yang diposting oleh kepala grup ke rekan set individu adalah bobot karakteristik di atas mana mesin mengirimkan data ke kepala. Ketika dua pertiga perangkat tidak bernyawa, instrumen menggunakan prosedur serakah untuk membangun metodologi multi-hop seperti rantai untuk mencapai stasiun pangkalan. Transmisi suar dikirim oleh stasiun pangkalan ke perangkat aktif dalam tahap rantai (ketika energi node lebih rendah). Stasiun pangkalan membuat jalur menggunakan perutean rantai multi-hop dan teknik greedy. Perangkat mengirim pemberitahuan ke stasiun pangkalan menggunakan jalur rantai.

Saran tersebut menggunakan metodologi hashing. Stasiun pangkalan menyiarkan ke publik untuk setiap sesi. Perangkat menghasilkan kode hash untuk data yang dideteksi dan membuat hasilnya menggunakan kunci publik. Metodologi ini mengamankan perangkat dan data selama transmisi.

Kontribusi pekerjaan:

- Perangkat mengirim pemberitahuan ke stasiun pangkalan menggunakan jalur rantai. Saran tersebut menggunakan metodologi hashing.
- Stasiun pangkalan menyiarkan ke publik untuk setiap sesi.
- Perangkat mengembangkan kode hash untuk informasi yang dideteksi dan menghasilkan hasilnya menggunakan kunci publik.
- Pekerjaan yang diusulkan meningkatkan keamanan sebesar 9,67% saat mentransmisikan data dan 11,38% detail saat perangkat disusupi.

Pekerjaan dibagi menjadi beberapa bagian. Survei literatur dirangkum dalam segmen 2. Jaringan nirkabel berbasis IoT dirinci dalam divisi 3. Berbagai jenis serangan di IoT dijelaskan dalam bagian “Berbagai Jenis Serangan”. Pentingnya 5G dijelaskan dalam segmen 5. Latar belakang dibahas dalam bagian “Latar Belakang”. Pekerjaan yang diusulkan dirinci dalam divisi 7. Analisis pekerjaan dirinci dalam bagian “Analisis proposal”. Pekerjaan diakhiri dalam bagian “Kesimpulan”.

Survei Literatur

Algoritma ini diubah menjadi rute rantai saat konten ambang batas melampaui energi perangkat dalam sistem. Bahan bakar pemancar informasi mencakup daya sirkuit mesin dan besarnya komunikasi fakta dan ledakan. Keaktifan membantu dalam sirkuit komunikasi. Paket pengetahuan dikirim ke tujuan. Arsitekturnya memiliki dua tahap. Kelompok terbentuk selama tahap pengelompokan. Metode CBR Optimal menggunakan prosedur k-means untuk membangun kelompok. Metode ini memilih kepala kluster berdasarkan panjang Euclidean dan bahan bakar perangkat. Batas yang diposting oleh kepala grup ke asosiasi set individu adalah bobot karakteristik di atas mana mesin mengirimkan data ke kepala. Instrumen menggunakan prosedur greedy untuk membangun metodologi multi-hop seperti rantai untuk mencapai stasiun pangkalan saat dua pertiga perangkat tidak bernyawa. Transmisi suar

dikirim oleh stasiun pangkalan ke perangkat aktif dalam tahap rantai (ketika energi node lebih rendah). Stasiun pangkalan membuat jalur menggunakan perutean rantai multi-hop dan teknik greedy. Perangkat mengirim pemberitahuan ke stasiun pangkalan menggunakan jalur rantai.

Ini adalah mode lalu lintas M2M. Ini selanjutnya mengembangkan strategi penyesuaian lalu lintas. Model ini masuk akal dalam berbicara dengan massa gadget yang menjanjikan saat ini. 3GPP telah membuat rekor 3GPP TR 37.868, yang memberikan cara untuk menangani demonstrasi lalu lintas M2M dalam organisasi LTE. Model lalu lintas yang ada menggambarkan proses arbitrer yang tetap. Ini memiliki rentang waktu yang terbatas. Gadget M2M menghasilkan lalu lintas. Pendekatan ini menawarkan dua model lalu lintas dan interval persilangan ganda. Model pertama menggambarkan kondisi organisasi yang biasa, di mana setiap gadget M2M selama 60 detik mengomunikasikan satu pesan. Model berikutnya menunjukkan kondisi beban jaringan yang diperluas. Tumpukan ini mendorong penerapan massal gadget M2M.

WSN dapat bekerja pada 900 MHz/2,4 GHz untuk membantu grup frekuensi 5 GHz. Konsentrator berisi WSN asosiasi yang menunjuk ke dunia pertukaran seluler 5G. Metodologi mengembangkan eksekusi kerangka kerja. Metodologi ini menggunakan UAV sebagai stasiun transfer. SINK UAV BS menyempurnakan model kerangka kerja. Konsentrator mengomunikasikan sinyal ke BS dengan satu UAV sebagai hand-off. Model kerangka kerja ini dapat lebih mudah mengungkap hubungan antara lokasi hand-off berbasis UAV dan konsumsi energi kerangka kerja. Jarak transmisi terbatas antara stasiun pangkalan dan konsentrator dapat membatasi gaya pengiriman konsentrator. Jalur penerbangan ideal tidak ditentukan oleh AI.

Organisasi berisi berbagai rumah yang dilengkapi dengan IoT. Ia menangani administrasi seperti pencahayaan, pemanas, keamanan, dan pengaturan teater bagi penggunanya. Gadget IoT ini saling terhubung dengan organisasi rumah, yang berasosiasi dengan layanan cloud web. Jaringan tersebut saling menghubungkan rumah-rumah pintar dan antarmuka menggunakan administrasi cloud yang mengonsumsi informasi besar yang dihasilkan oleh IoT rumah. Gadget IoT menghasilkan sejumlah besar data yang akan ditangani oleh administrasi CoT kota. Ia berisi berbagai macam kelompok hub sensor terkait di mana setiap kelompok berakhir di gadget ujung sensor. Gadget ujung ini berkomunikasi dengan hub switching yang dengan demikian mengarahkan komunikasi melalui jaringan.

Situasi kemacetan adalah pemeriksaan dua mode komunikasi D2D. Pekerjaan tersebut membedakan hub dengan tanggung jawab yang lebih rendah dari informasi sebelumnya yang disimpan di unit kontrol stasiun pangkalan. Unit kontrol memiliki setiap kehalusan komitmen dalam gadget tertentu. Sangat mudah untuk membedakan hub mana yang memiliki beban lebih rendah. Ini menyimpulkan bahwa catatan tersebut bergerak mendekati data nol. Hub dengan beban rendah dapat bekerja pada level daya komunikasi yang lebih rendah sekaligus dan juga bekerja pada SINR karena impedansi yang berkurang secara keseluruhan dalam rangka dan selanjutnya meningkatkan durasi baterai hub portabel. Hub yang mengelilingi

memiliki beban yang lebih rendah pada waktu tertentu. Akan ada komunikasi yang efisien sambil mengurangi impedansi.

Karya adalah pemilihan spektrum dan akses spektrum terintegrasi menggunakan kerangka kerja berbasis greedy dan AI untuk memungkinkan tuntutan yang akan datang dan selanjutnya pada 5G dan seterusnya untuk disajikan. Strategi berbasis Knapsack Greedy fraksional diperkenalkan, dan pendekatan berbasis Lagrange Hyperplane digunakan untuk mewujudkan strategi berbasis AI untuk pemilihan spektrum dan alokasi spektrum untuk jaringan sensor yang mendukung IoT. Kerangka kerja ini disebut *Fractional Knapsack dan Lagrange Hyperplane Spectrum Access* (FK-LHSA). Model pemilihan *spektrum multi-band Fractional Knapsack* (FKMSS) pertama dirancang bersama dengan model konsumsi energi untuk mengoptimalkan throughput saluran atau spektrum. Model akses spektrum Lagrange Hyperplane (LH) meminimalkan keterlambatan akses spektrum dan meningkatkan akurasi akses. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model FKM dan LH yang diusulkan dapat secara efektif mengurangi keterlambatan akses spektrum (bersama dengan peningkatan throughput dan akurasi akses spektrum). Proposal mengatasi kelemahan keamanan berdasarkan rekayasa kerangka kerja di WSN untuk IoT yang terkoordinasi dengan 5G. Usulan tersebut membagi menjadi lima tahap.

Tahap pengaturan kerangka kerja menggabungkan pernyataan batas kerangka kerja dan pendaftaran hub sensor dan pintu masuk sebelum mengirim. Tahap pendaftaran klien dimulai saat klien mengirim pesan permintaan pendaftaran ke server konfirmasi melalui saluran aman. Pengguna perlu mengakses WSN yang bertanggung jawab atas pintu masuk, langkah-langkah berikut dilakukan dengan klien, server verifikasi, dan akses melalui saluran publik. Dengan bantuan server verifikasi, klien dan akses umumnya saling memvalidasi dan menyusun kunci pertemuan umum untuk komunikasi di masa mendatang. Klien dapat memperoleh informasi konkret secara bertahap dari WSN yang sesuai dengan nilai akses. Tahap pembaruan kunci dan biometrik memungkinkan klien untuk memperbarui kata sandi dan biometrik tanpa koneksi ke server validasi. Pesan berkomunikasi melalui saluran dalam tahap pembaruan nilai akses. Ini adalah model baterai Markovian pemanenan energi dari 100 status, yang membahas bahan bakar klien opsional, dan menyimpulkan throughput sambil mempertimbangkan mendeteksi panen kesalahan daya CRWSN.

Klien tambahan pemanenan energi dapat mengirim bundel pada saluran kapan pun jalur pipa pasif. Klien tambahan lalai mengomunikasikan informasi saat saluran tidak aktif karena deteksi yang salah mendorong korupsi throughput. Throughput meningkatkan batas transmisi yang bermanfaat. Kondisi tersebut membahas batas baterai yang dibatasi. Ini adalah model M/M/1 yang tidak lengkap dari model CR-WSN pengumpul energi karena nilai status primer yang tidak konsisten. Kemajuan status bergantung pada kemungkinan masuk. Ia melihat bahwa ada informasi umum pada klien opsional untuk dikirim. Status rentang berubah berdasarkan lalu lintas klien penting. Status rentang tetap tidak berubah dengan melibatkan klien dengan probabilitas atau melakukan perjalanan untuk duduk dengan kemungkinan di pembukaan jadwal sebelumnya.

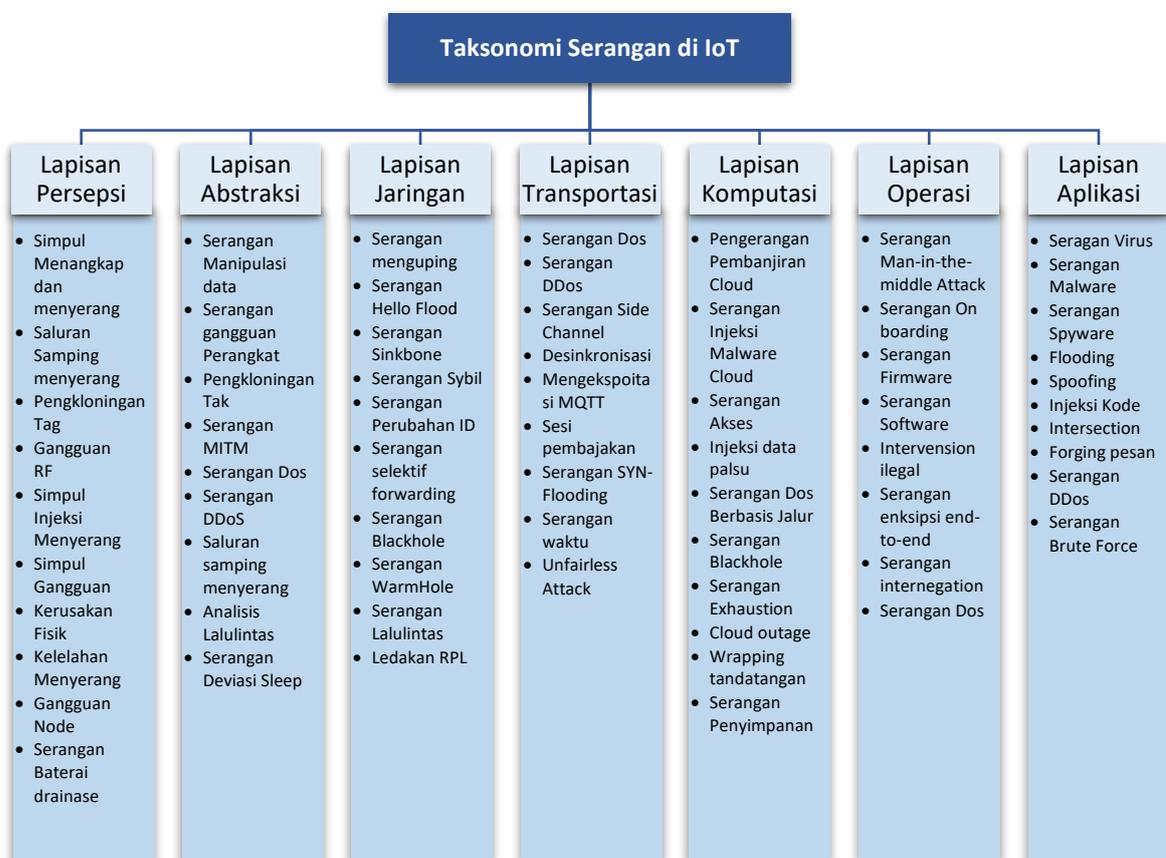
10.2 JARINGAN NIRKABEL BERBASIS IOT

IoT adalah rekonsiliasi dan korespondensi antara perangkat pintar. Keunikan IoT berkontribusi pada kemajuan dan aplikasi baru. Detektor dan aktuator tersebut berkolaborasi dengan berbagai handset, gadget mikrokontroler, dan konvensi untuk korespondensi informasi kontrol dan sensor. Modul konstan tersebut mengomunikasikan informasi yang terdeteksi ke gudang terpadu. Berbeda dengan kerangka kerja administrasi sistem kabel atau jarak jauh tradisional, sorotan IoT yang menggunakan kemajuan jarak jauh bersifat unik karena jumlah gadget khusus sangat tinggi. Gambar 10.2 adalah representasi yang sama.

Berbagai Jenis Serangan

Berikut ini adalah berbagai masalah keamanan:

(Gambar 10.1).

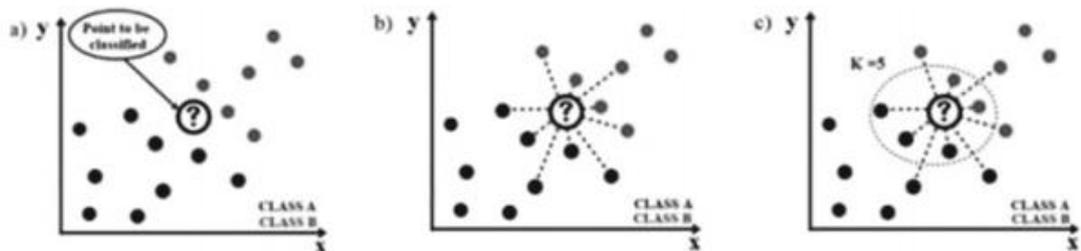


Gambar 10.1 Taksonomi ancaman dalam IoT (Krishna et al. 2021)

Lapisan Persepsi

- Penyardapan — Penyerang dapat mengendus lalu lintas yang dihasilkan oleh aliran informasi IoT untuk mengumpulkan data klien dengan menyiapkan gadget IoT yang sebanding.
- Penyuntikan Data Berbahaya — Penyusupan informasi sensor palsu adalah jenis serangan di mana informasi sensor yang digunakan dalam aplikasi IoT diproduksi atau diubah untuk tujuan jahat.
- Serangan Sybil—Hub berbahaya dalam hal ini dapat memiliki banyak kepribadian hub yang sebenarnya dengan menirunya atau dengan karakter palsu melalui duplikasi.

- Pengungkapan Informasi Penting—Sensor yang digunakan dalam perangkat IoT dapat mengungkapkan data sensitif, misalnya, kata sandi, kunci rahasia, sertifikasi kartu kredit, dll. Kehalusan ini mengabaikan keamanan klien atau membuat basis data untuk serangan di masa mendatang.
- Serangan Saluran Samping—Penyerang mengumpulkan data dan memainkan siklus penentuan untuk mengumpulkan akreditasi enkripsi dari gadget IoT saat interaksi enkripsi sedang berlangsung. Data ini tidak dikumpulkan dari teks biasa atau teks sandi selama siklus enkripsi. Saluran samping mengejar penggunaan informasi untuk mendapatkan kunci yang digunakan gadget.
- Penyuntikan Data Berbahaya—Penyerang mengeksploitasi cacat dalam konvensi korespondensi untuk menanamkan informasi ke dalam organisasi. Gateway akan mengacaukan data yang diharapkan untuk mengendalikan gadget jika terjadi sesuatu. Serangan penyuntikan dapat menyebabkan eksekusi kode atau kontrol kerangka kerja dari tempat yang jauh.
- Kloning node—Untuk tujuan yang tidak disetujui, gadget dapat secara efektif dibuat dan dibuat ulang. Ini disebut kloning hub.
- Serangan penipisan—Penipisan adalah serangan tempat. Ini terkait dengan serangan menonaktifkan. Ini mengurangi ukuran organisasi dan menghilangkan hub untuk selamanya dari organisasi.



Gambar 10.2 Algoritma K-Nearest Neighbor

Lapisan Abstraksi

1. **Akses ilegal:** Akses ilegal dan perbedaan informasi yang bersifat dendam mungkin muncul saat menangani informasi sensitif.
2. **Man-in-the-Middle:** Sebuah kerangka kerja bekerja pada kemacetan lalu lintas antara perangkat pintar dan pintu masuk. Semua lalu lintas diarahkan menggunakan PC penyerang menggunakan prosedur perusakan ARP
3. **Spoofing:** Untuk memulai serangan karikatur, penyerang dapat meniru sebuah node. Sebuah transmisi dapat merekam menggunakan per pengguna yang nyaman.
4. **Ancaman terhadap protokol komunikasi:** Rekeyasa konvensi berlapis OSI dan enkripsi lapisan aktual tidak didukung. Hal ini memerlukan teknik keamanan tambahan di lapisan atas.
5. **Kloning:** Serangan dapat meniru.

6. **Denial-of-Service (DoS):** Ini adalah jenis serangan di mana gadget atau aplikasi secara jahat ditolak aktivitas normalnya.
7. **DDoS:** Gadget IoT, organisasi, atau sistem pemrograman apa pun dapat ditutup di suatu tempat di sekitar serangan penolakan layanan (DoS) yang disebarluaskan, yang membuat layanan tersebut tidak dapat diakses oleh pelanggannya.
8. **Analisis lalu lintas:** Penyerang mengidentifikasi stasiun pangkalan, hub terdekat, atau kepala grup untuk mendukung penolakan layanan atau mendengarkan grup.
9. **Sleep deprivation:** Penolakan terhadap serangan tidur pada gadget bertenaga baterai akan mengakibatkan konsumsi daya.

Lapisan Jaringan

- **Hello flood:** Pusat-pusat dalam organisasi menguraikan pesan selamat datang yang datang dari dalam dan mencetaknya sebagai jalur komunikasi.
- **Sinkhole:** Dengan menggunakan metodologi ini, penyerang membahayakan pusat fokus organisasi dan menggantikannya untuk membuatnya tidak dapat diakses.
- **Blackhole:** Dengan asumsi bahwa pusat berbahaya menghadapi serangan Blackhole, ia akan membuang semua paket yang dialami.
- **Analisis Lalu Lintas:** Penyerang menyelidiki lalu lintas dan menyimpan duplikat untuk digunakan nanti dalam serangan ini.
- **Wormhole:** Serangan organisasi ini akan menangkap lalu lintas di satu area dan mengalihkannya ke area lain.
- **Penerusan selektif:** Seorang penyerang melancarkan serangan dengan memasuki suatu organisasi dan menjatuhkan paket.
- **Eksplorasi RPL:** Hub yang marah dapat mencoba mengalihkan rute saat informasi dipindahkan.

Lapisan Transport

- **Desinkronisasi:** Desinkronisasi transmisi antara dua hub memungkinkan penyerang untuk memutus koneksi nyata di antara keduanya
- **Pembajakan sesi:** Penyerang mengambil ID rapat dan mengaku sebagai klien asli untuk mengambil kendali atas rapat berbasis Internet klien

Lapisan Komputasi

- **Serangan Jahat:** Saat pekerja di organisasi mengunduh program perangkat lunak jahat dari Internet, ada peluang bagus bagi mesin untuk diretas. Malware akan menyebar ke seluruh organisasi, sehingga seluruh organisasi akan terkena dampaknya.
- **Injeksi SQL:** Infus SQL adalah cacat keamanan web yang memungkinkan penyerang mengganggu permintaan data aplikasi web. Hal ini memungkinkan penyerang untuk mengakses data yang biasanya tidak dapat mereka pulihkan.
- **Akses Ilegal:** Jika perangkat IoT tidak memiliki desain yang diharapkan, seluruh organisasi akan dirugikan. Organisasi yang menggunakan pendaftaran berbasis cloud memerlukan otoritas tak terbatas atas organisasi mereka, yang memerlukan perancangan dan pengamanan pengaturan cloud mereka pada kontrol keamanan yang diberikan oleh koperasi spesialis cloud mereka.

- **Serangan Penyimpanan:** Para programmer akan mengurangi pergerakan gadget saat mereka menggunakan aset penyimpanan terdistribusi.
- **Serangan Akses:** Orang atau musuh yang tidak berwenang mengakses jaringan IoT di sini untuk diserang.
- **Modifikasi perangkat lunak:** Sebuah gadget IoT dapat dirusak dengan mengubah produk atau firmware-nya dengan memanfaatkan akses fisik atau jarak jauh untuk melakukan tindakan yang tidak disetujui.

Lapisan Operasi

- **Intervensi Ilegal—**Meskipun koperasi spesialis cloud terlibat dalam pengembangan API dan titik interaksi secara pasti, ledakan ini telah memperluas bahaya keamanan yang terkait dengannya.
- **Akses Tidak Sah—**Setiap kali klien yang bervariasi dapat menyesuaikan rencana berbagai bagian sistem IoT, eksekusi perubahan pengaturan yang sinkron dan penyesuaian catatan proses yang sinkron memicu status sistem yang tidak dapat diprediksi.

Lapisan Aplikasi

- **Kode berbahaya:** Kode berbahaya atau malware yang ditargetkan dapat dengan mudah memanfaatkan kelemahan widget IoT melalui Internet, yang memungkinkan programmer untuk berpikir dua kali tentang gadget.
- **Modifikasi Perangkat Lunak:** Penyerang akan ingin menciptakan kembali gadget IoT dari jarak jauh. Tindakan ini dapat mengakibatkan jaringan IoT diretas.
- **Perusakan data** (Huang et al. 2021): Selama serangan semacam ini, data pada gadget akhir didistorsi oleh penyerang.
- **Skrip lintas situs:** Ini adalah prosedur yang digunakan penyerang untuk menanamkan kode jahat ke situs tepercaya.
- **Pencurian Identitas:** Kerangka kerja IoT mengelola banyak data pribadi dan sensitif. Informasi ini dapat diambil.
- **Serangan virus:** Target serangan ini adalah untuk merusak klasifikasi kerangka kerja. Risiko serangan ini pada dasarnya lebih tinggi untuk ponsel, wastafel, atau pintu masuk dalam organisasi IoT.
- **Serangan spyware:** Diperkenalkan pada gadget IoT tanpa persetujuan, spyware adalah program mapan yang mengumpulkan data.
- **Penyuntikan Kode:** Penyerang biasanya menggunakan metode paling mudah untuk membobol perangkat atau organisasi. Dengan asumsi gadget tersebut terancam oleh konten yang mengganggu dan kebingungan, itu adalah target utama bagi penyerang.
- **Intersection:** Setiap kali kredibilitas suatu kerangka kerja dikompromikan, terdapat risiko tinggi terhadap bahaya kesehatan dan keamanan.
- **Brute force attack:** Serangan kekuatan melibatkan percobaan dan spekulasi yang disengaja terhadap setiap frasa sandi atau campuran kunci rahasia yang memungkinkan untuk mendekati kerangka kerja tersebut.

10.3 PENTINGNYA 5G

Internet of Things adalah paradigma unik yang memberi pengguna akses ke jaringan komunikasi nirkabel dan teknologi kecerdasan buatan dan dianggap relevan dengan berbagai disiplin ilmu dan aplikasi. Pengembangan teknologi jaringan seluler generasi kelima membuka kemungkinan penerapan sensor yang luas di IoT dan pemrosesan data besar-besaran, pengujian komunikasi, dan kemampuan penambangan data.

Pertemuan Internet, kecerdasan, dan objek adalah paradigma 5G IIoT. IoT tradisional adalah paradigma yang mengintegrasikan entitas koneksi jaringan besar dan mencakup Internet dan berbagai hal. Individu yang cerdas menggabungkan kecerdasan dan objek. Ia menciptakan agen atau gawai yang berfungsi tinggi untuk memenuhi aplikasi kompleks seperti identifikasi objek.

Kemajuan jaringan generasi kelima (5G) lebih cepat tersedia sebagai pendorong penting pengembangan aplikasi IoT. Aplikasi baru dan rencana tindakan selanjutnya pada IoT memerlukan standar eksekusi baru seperti ketersediaan yang sangat besar, keamanan, keandalan, penyertaan korespondensi jarak jauh, kemalasan yang sangat rendah, throughput, sangat solid, dkk. untuk sejumlah besar gadget IoT. Inovasi Long-Term Evolution (LTE) dan 5G yang sedang berkembang diharapkan dapat memberikan titik koneksi ketersediaan baru untuk aplikasi IoT masa depan (Untuk memenuhi prasyarat ini).

Latar Belakang

K-Nearest Neighbor adalah salah satu kalkulasi Machine Learning yang kompleks dari prosedur Supervised Learning. Ia menerima kesamaan antara kasus/informasi baru dan kasus yang dapat diakses ke dalam klasifikasi. Ia menyimpan setiap informasi yang dapat diakses dan memesan titik informasi lain berdasarkan perbandingan. Ia cenderung mengelompokkan ke dalam kelas suite yang baik dengan memanfaatkan algoritma KNN. Ia dapat digunakan untuk Regresi juga mengenai Klasifikasi. Ia adalah kalkulasi non-parametrik dan menyiratkan bahwa ia tidak membuat asumsi pada informasi. Ia menyimpan kumpulan data dan memainkan suatu aktivitas pada kumpulan data tersebut. Kalkulasi KNN pada tahap persiapan menyimpan kumpulan data tersebut. Ia mengurutkan informasi tersebut ke dalam klasifikasi setelah mendapatkan informasi baru. Gambar 10.2 menggambarkan hal yang sama. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- ✓ Langkah-1: Pilih jumlah K tetangga.
- ✓ Langkah-2: Hitung jarak Euclidean dari K jumlah tetangga.
- ✓ Langkah-3: Ambil K tetangga terdekat menurut jarak Euclidean yang ditentukan.
- ✓ Langkah-4: Di antara k tetangga ini, hitung jumlah elemen dalam setiap klasifikasi.
- ✓ Langkah-5: Tetapkan informasi baru dengan fokus pada klasifikasi yang jumlah tetangganya paling ekstrem.
- ✓ Langkah-6: Model kita sudah disiapkan.

Penjelasan Matematis untuk Jarak Euclidean

Jarak antara dua titik harus dikurangi dimensi setiap koordinat satu sama lain, jumlahkan semuanya, gunakan pangkat dua lalu akar kuadratkan. Misalkan titik-titik tersebut adalah A dan B. Misalkan koordinat A adalah (a_1, a_2) dan B adalah (b_1, b_2)

$$d(A, B) = \sqrt{(b_2 - a_2)^2 + (b_1 - a_1)^2} \quad (10.1)$$

Usulan Pekerjaan

Kontribusi sebelumnya menggunakan prosedur k-means untuk membuat kluster. Prosedur ini diubah menjadi jalur rantai saat konten ambang batas melampaui energi perangkat dalam sistem. Bahan bakar pemancar informasi mencakup daya sirkuit mesin dan besarnya komunikasi fakta dan ledakan. Kecerahan membantu dalam sirkuit komunikasi. Paket pengetahuan dikirim ke tujuan. Arsitekturnya memiliki dua tahap. Kelompok terbentuk selama tahap pengelompokan. Metode CBR Optimal menggunakan prosedur k-means untuk membangun kelompok. Metode ini memilih kepala kluster berdasarkan panjang Euclidean dan bahan bakar perangkat. Ambang yang dipasang oleh kepala grup ke masing-masing asosiasi set adalah bobot karakteristik di atas mana mesin mengirimkan data ke kepala. Saat dua pertiga perangkat mati, instrumen menggunakan prosedur greedy untuk membangun metodologi multi-hop seperti rantai untuk mencapai stasiun pangkalan. Transmisi suar dikirim oleh stasiun pangkalan ke perangkat aktif dalam tahap rantai (ketika energi node lebih rendah). Stasiun pangkalan membuat jalur menggunakan perutean rantai multi-hop dan teknik greedy. Perangkat mengirim pemberitahuan ke stasiun pangkalan menggunakan jalur rantai.

Kontribusi tersebut merupakan peningkatan dari saran sebelumnya. Kumpulan data dibuat dalam status uji coba. Node sink membuat kunci publik dan mengirimkannya ke perangkat lain dalam jaringan. Perangkat membuat kode hash menggunakan data yang dideteksi. Kode tersebut digunakan dengan kunci publik untuk menghasilkan hasil akhir. Metodologi tersebut mengamankan data dari peretas. Stasiun pangkalan menggunakan algoritma KNN untuk memisahkan data ke dalam kelompok. Metode tersebut mendeteksi pelanggaran keamanan pada tahap awal.

Asumsi

- ✓ Node diasumsikan statis secara alami. Node tersebut digunakan untuk melacak objek yang diinginkan. Hal yang sama dikomunikasikan ke perangkat sebelum digunakan.
- ✓ Perangkat IoT ditetapkan sebagai stasiun pangkalan.
- ✓ Node-node tersebut disematkan dengan serangkaian algoritme dan kredensial sebelum penerapan.
- ✓ Node-node tersebut menggunakan metodologi multi-hop untuk mengirimkan pesan ke stasiun pangkalan (perangkat IoT) atau lokasi yang telah ditentukan sebelumnya.
- ✓ Kepala kluster berkomunikasi dengan node penyimpanan setelah mengautentikasi diri mereka sendiri.
- ✓ Stasiun pangkalan menyiarkan kunci publik ke jaringannya.

Tabel 10.1 Pembuatan kode hash

| |
|---|
| Langkah 1—Masukkan data yang dideteksi (16 bit) |
| Langkah 2—Masukkan bit '0' pada posisi genap (32 bit) |
| Langkah 3—Terapkan pergeseran melingkar ke kanan |

Langkah 4—Bagi bit menjadi dua bagian

Langkah 5—Masukkan bit posisi ganjil pada bagian kedua ke posisi genap pada bagian pertama

Langkah 6—Terapkan pergeseran melingkar ke kiri

Langkah 7—Terapkan nilai simbol acak pada kode hash (hanya stasiun pangkalan yang memiliki hak untuk membuat simbol)

Membuat Set Data Uji Coba

- Node-node setelah penerapan berada dalam status uji coba, di mana pembacaan uji coba dikumpulkan dari node-node tersebut. Ini menciptakan set data uji coba. Set data ini disimpan di stasiun pangkalan sebagai referensi.
- Ini menghasilkan kode hash dan yang sama digunakan bersama dengan kunci publik untuk menghasilkan hasil akhir.
- Ini menggunakan algoritme KNN untuk mengklasifikasikan set data menjadi beberapa subset (Tabel 10.1).

Mengirimkan Pesan

- Node-node merasakan lingkungan dan menghasilkan kode hash. Kunci publik digunakan untuk menghasilkan hasil akhir.
- Setiap nilai baru dikenali pada tahap awal.

Analisis Proposal

Arsitektur sebelumnya memiliki dua tahap. Kelompok terbentuk selama tahap pengelompokan. Metode CBR Optimal menggunakan prosedur k-means untuk membangun kelompok. Metode ini memilih kepala klaster berdasarkan panjang Euclidean dan bahan bakar perangkat. Batas yang dipasang oleh kepala grup ke masing-masing himpunan asosiasi adalah bobot karakteristik di atas mana mesin mengirimkan data ke kepala. Ketika dua pertiga perangkat tidak bernyawa, instrumen menggunakan prosedur greedy untuk membangun metodologi multi-hop seperti rantai untuk mencapai stasiun pangkalan. Transmisi suar dikirim oleh stasiun pangkalan ke perangkat aktif dalam tahap rantai (ketika energi node lebih rendah). Stasiun pangkalan membuat jalur menggunakan perutean rantai multi-hop dan teknik greedy. Perangkat mengirim pemberitahuan ke stasiun pangkalan menggunakan jalur rantai.

Komputasi hashing adalah pekerjaan hash kriptografi. Perhitungan numerik memetakan informasi (dengan ukuran yang tidak menentu) ke hash dengan ukuran yang tepat. Perhitungan kerja hash dimaksudkan sebagai pekerjaan satu arah, tidak dapat dimodifikasi. Meskipun demikian, akhir-akhir ini, beberapa perhitungan hashing telah dikompromikan.

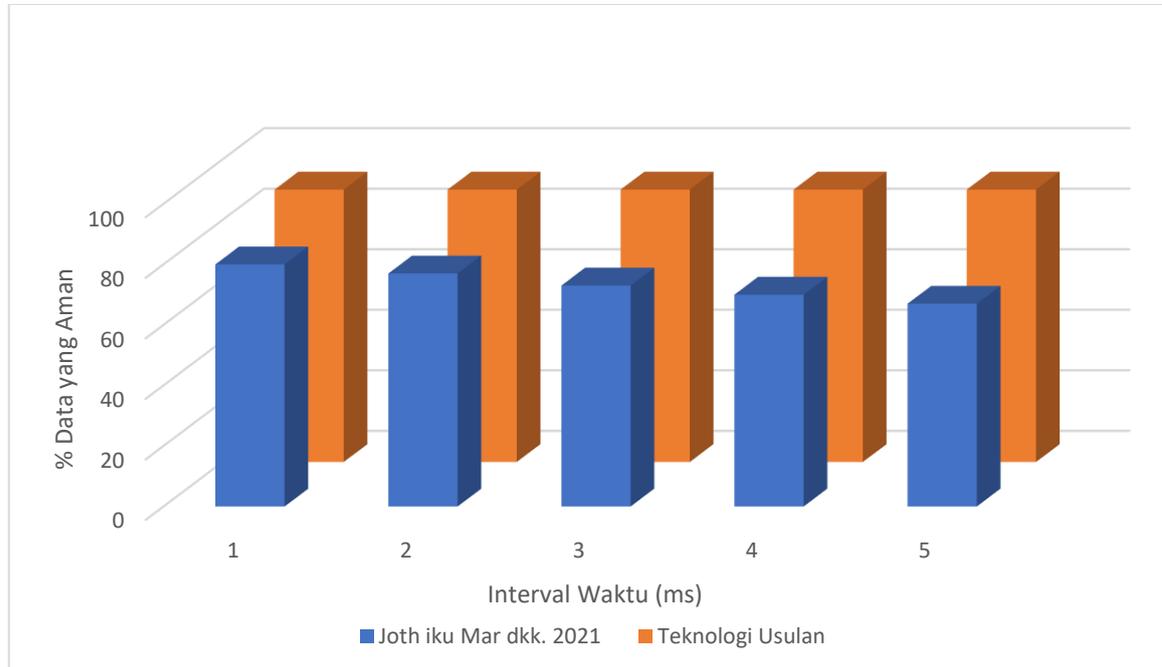
Kunci publik mengkodekan pesan dengan keaslian tanda tangan terkomputerisasi. Ia bergabung dengan kunci privat yang terkait. Ia diketahui secara eksklusif oleh pemiliknya. Kunci publik dapat diakses dari otoritas deklarasi, yang menerbitkan perjanjian lanjutan yang menunjukkan karakter pemilik dan berisi kunci publik pemilik. Kunci publik menggunakan perhitungan yang tidak teratur. Ia mencocokkan kunci bersama dengan kunci privat terkait. Kunci publik diberikan kepada setiap individu yang kepadanya kebutuhan tunggal untuk

menyampaikan, melalui kunci privat milik orang tunggal yang dibuatnya dan tidak dibagikan. Kunci publik biasanya disimpan di server basis kunci publik dan mengacak informasi dengan aman sebelum dikirim di web.

Saran tersebut menggunakan metodologi hashing. Stasiun pangkalan menyiarkan publik untuk setiap sesi. Perangkat menghasilkan kode hash untuk data yang dideteksi dan menghasilkan hasilnya menggunakan kunci publik. Metodologi ini mengamankan data dalam perangkat dan data selama transmisi. Pekerjaan disimulasikan menggunakan Python. Tabel 10.2 menggambarkan parameter simulasi yang digunakan dalam proposal. Dalam simulasi, kami telah mempertimbangkan suhu sebagai parameter.

Tabel 10.2 Parameter simulasi

| <i>Parameter yang digunakan</i> | <i>Deskripsi</i> |
|--|---------------------|
| <i>Jumlah varian suhu yang digunakan</i> | 15 * 10 grup dibuat |
| <i>Jumlah kelompok yang terbentuk</i> | 15 grup |
| <i>Panjang kode hash</i> | 32 bit |
| <i>Panjang input (data yang dideteksi)</i> | 16 bit |
| <i>Panjang kunci publik</i> | 16 bit |
| <i>Total panjang output</i> | 256 bit |
| <i>Waktu simulasi</i> | 60 ms |



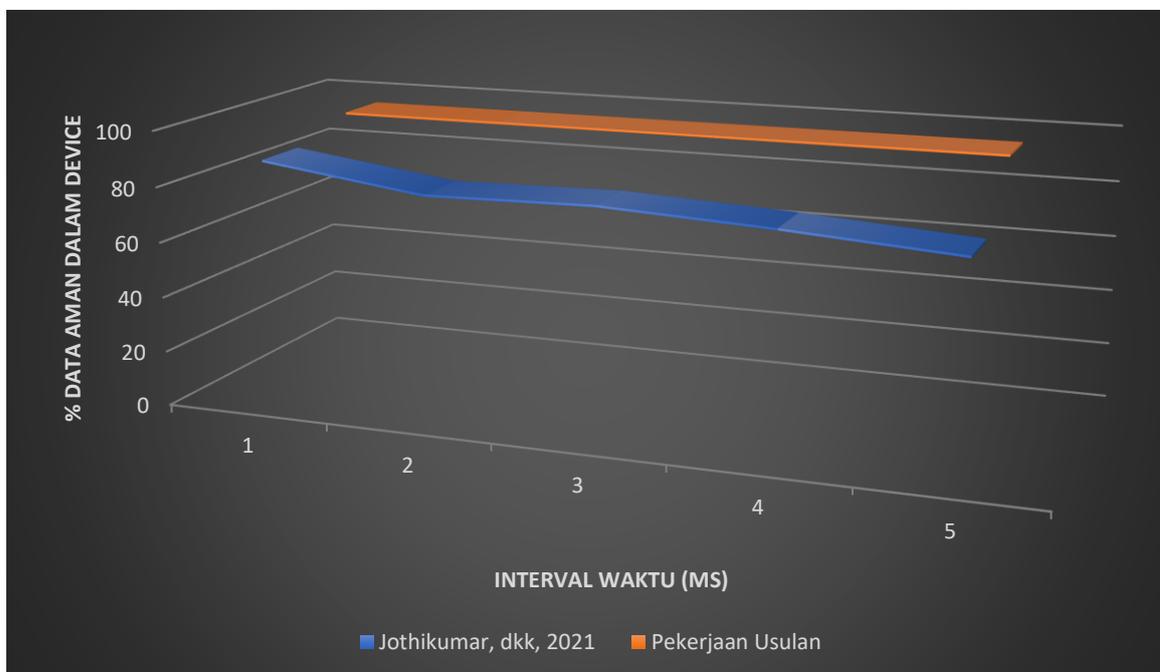
Gambar 10.3 Keamanan data

Keamanan

IoT adalah tempat Internet bertemu dengan dunia nyata. Aspek perlindungan yang baru harus dieksplorasi karena bahaya yang dikejar berubah dari mengendalikan data menjadi mengendalikan hasutan. Pandangan dunia menimbulkan banyak kekhawatiran atas

pengamanan informasi, manfaat, dan, yang mengejutkan, seluruh kerangka IoT. Atribut seperti kerahasiaan, kejujuran, verifikasi, persetujuan, aksesibilitas, dan perlindungan harus dijamin untuk kerangka IoT guna memastikan keamanan di IoT. Data rahasia perlu diamankan. Oleh karena itu, berbagai jenis tindakan keamanan harus diadopsi. Pekerjaan yang diusulkan meningkatkan keamanan sebesar 9,67% dibandingkan dengan pekerjaan sebelumnya. Hal yang sama terwakili dalam Gambar 10.3.

Node akan terganggu, jika perangkat tidak dapat mempertahankan diri. Sensor adalah perangkat yang murah. Oleh karena itu, perlindungan adalah suatu keharusan. Proposal tersebut menghasilkan kode hash, diikuti dengan pembuatan hasil berdasarkan kunci publik. Jika penyerang berhasil menangkap node tersebut, penyerang tidak akan dapat mengetahui apa pun darinya. Data dalam perangkat tersebut 11,38% aman dibandingkan dengan Jothikumar et al. (2021). Gambar 10.4 menunjukkan hal yang sama.



Gambar 10.4 Data aman dalam node

Kesimpulan

Sensor dan aktuator pintar bekerja sama dan mengirim data ke perangkat IoT. Perangkat ini berkomunikasi melalui platform umum. Instrumen menggunakan fasilitas Internet 5G untuk berkomunikasi dengan perangkat lain atau kaliber yang sama/berbeda. Rekomendasi menggunakan algoritma k-means. Ia mengonversi ke rute rantai ketika konten ambang batas melampaui energi perangkat dalam sistem. Bahan bakar pemancar informasi mencakup daya sirkuit mesin dan besarnya komunikasi fakta dan ledakan. Kecerdasan membantu dalam sirkuit komunikasi. Paket pengetahuan dikirim ke tujuan. Arsitektur memiliki dua tahap. Kelompok terbentuk selama tahap pengelompokan. Metode CBR Optimal menggunakan prosedur k-means untuk membangun kelompok. Ia memilih kepala kluster berdasarkan panjang Euclidean dan bahan bakar perangkat. Ambang yang diposting oleh

kepala kelompok ke asosiasi set individu adalah bobot karakteristik di atas yang mana mesin mengirimkan data ke kepala. Ketika dua pertiga perangkat tidak bernyawa, instrumen menggunakan prosedur greedy untuk membangun metodologi multiple-hop seperti rantai untuk mencapai stasiun pangkalan. Transmisi suar dikirim oleh stasiun pangkalan ke perangkat aktif dalam tahap chaining (ketika energi node lebih rendah). Stasiun pangkalan membuat jalur menggunakan perutean rantai multiple-hop dan teknik greedy. Perangkat mengirim pemberitahuan ke stasiun pangkalan menggunakan jalur rantai. Saran tersebut menggunakan metodologi hashing. Stasiun pangkalan menyiarkan publik untuk setiap sesi. Perangkat menghasilkan kode hash untuk data yang diindera dan menghasilkan hasilnya menggunakan kunci publik. Metodologi ini mengamankan data dalam perangkat dan data selama transmisi. Pekerjaan yang diusulkan meningkatkan keamanan sebesar 9,67% saat mentransmisikan data dan 11,38% data saat perangkat dikompromikan.

BAB 11

INTEGRASI 5G DAN IOT

TREN, PELUANG, DAN RISET MASA DEPAN

11.1 PENDAHULUAN

Sistem Komunikasi Generasi Kelima (5G) telah merevolusi transmisi dan komunikasi data (suara, teks, dan hibrida). Protokol komunikasi tingkat lanjut dan teknologi canggih membuka peluang untuk mengintegrasikan 5G dengan teknologi canggih lainnya. Demikian pula, Internet of Things menggabungkan sensor, aktuator, dan perangkat lain yang terhubung dalam jaringan untuk mengumpulkan data kontekstual dan lingkungan untuk tujuan khusus aplikasi. Saat ini, aplikasi IoT memerlukan transfer data yang cepat untuk memastikan layanan yang lancar. 5G berpotensi untuk mencapai fungsi ini untuk IoT. Namun, arsitektur hemat energi dan IoT yang mendukung 5G yang mudah dikelola masih dalam tahap pengembangan. Oleh karena itu, masalah kerentanan potensial dari arsitektur IoT yang mendukung 5G perlu dipelajari. Dalam buku ini, pertama-tama, kami telah membahas secara komprehensif arsitektur fundamental dan karakteristik ekosistem 5G. Kemudian, buku ini secara komprehensif menguraikan karakteristik dan arsitektur berlapis internet of things. Kemudian, bab ini juga membahas persyaratan IoT berkemampuan 5G, IoT 5G berbasis Blockchain, dan 5G dengan kecerdasan buatan. Dilanjutkan dengan pembahasan ini, bab ini menyelidiki peluang IoT 5G di berbagai domain. Terakhir, buku ini menyelidiki dan menganalisis kesenjangan penelitian, tantangan, dan solusi yang mungkin secara komprehensif dalam format tabel.

Teknologi baru, seperti Big data, Blockchain, sistem komunikasi, Internet of Things, Virtual Reality, dll., telah merevolusi dunia. Internet of Things (IoT) memfasilitasi pengumpulan informasi menggunakan berbagai perangkat, bertukar data dengan bantuan protokol komunikasi, dan mengirimkan data dari situasi kehidupan nyata untuk berbagai aplikasi IoT. Pada tahun 2030, modul IoT akan menghubungkan lebih dari 80 miliar orang. Ini menciptakan volume data yang sangat besar yang dihasilkan dari berbagai simpul sistem. Jaringan 5G memungkinkan IoT untuk mentransfer data ini dengan kecepatan dan kualitas data yang lebih tinggi terlepas dari perbedaan struktur data.

Sistem IoT untuk aplikasi masa depan akan membutuhkan kemampuan yang sangat besar terkait mekanisme penerimaan dan pemrosesan data. 5G dapat menyediakan platform untuk mencapai kemampuan ini. Menerapkan jaringan 5G dalam infrastruktur IoT akan menimbulkan tantangan baru dan membuka banyak jendela penelitian. Pada saat yang sama, ini akan memberikan potensi yang tak tertandingi di zaman modern. Jaringan 5G bertujuan untuk memperbaiki kekurangan jaringan komunikasi sebelumnya termasuk 2G/3G/4G. Ini juga akan menambah kemampuan baru ke sistem jaringan yang disebutkan yang membentuk arsitektur untuk penggunaan heterogen. Aplikasi IoT 5G mendukung berbagai kriteria QoS, spektrum koneksi nirkabel yang luas, dan lalu lintas data dalam jumlah besar. Ada berbagai

manfaat dan kekurangan karena kesenjangan dalam teknologi konvergen. Nilai pemasangan serta pertumbuhan pencapaian untuk kekurangan ini menahan kemajuan ini. 5G dikonfigurasi untuk meningkatkan kecepatan dan keamanan koneksi kita. Jadi, 5G akan memungkinkan perusahaan dan aplikasi modern karena keamanan, kecepatan tinggi, adaptasi teknologi dan aplikasi baru dengan penyebaran berbiaya rendah.

5G dibayangkan sebagai teknologi jaringan seluler masa depan dengan keandalan 99,99999 persen dan kecepatan transfer data 100Mbps. Ini dapat memastikan pengalaman kecepatan tinggi yang konsisten bagi pengguna yang memproyeksikan perkiraan penundaan pulang pergi satu milidetik. Tiga jenis aplikasi utama yang membentuk 5G adalah Komunikasi Latensi Rendah yang Sangat Andal (URLLC), Komunikasi Jenis Mesin Masif (mMTC), dan Pita Lebar Seluler yang Disempurnakan (eMBB). Komunikasi haptik dan integrasi otomatisasi dimungkinkan dengan menggunakan pita akses tetap mm-Wave sub-GHz yang tertanam dengan Stasiun Pangkalan (BTS) kecil dan node lokal mm-Wave. Lebih jauh lagi, jaringan seluler 5G dapat berinteraksi dengan UAV dengan berbagai cara. Teknologi blockchain, menurut penelitian terkini, meningkatkan spektrum keamanan, privasi, dan transparansi 5G. Sesuai dengan blockchain dan AI, 5G dapat mengubah dunia komunikasi (Haque dan Rahman 2020).

Internet of Things (IoT) didasarkan pada konsep interkomunikasi di antara berbagai hal heterogen yang menggunakan berbagai standar komunikasi, stasiun, sensor, node, pusat data, dan perangkat yang mendukung kecerdasan buatan (AI). Hasilnya, jaringan 5G generasi berikutnya akan terhubung ke miliaran perangkat, menghasilkan infrastruktur IoT super.

IoT terintegrasi 5G merupakan ide untuk mengembangkan proses komunikasi dan transmisi data di lingkungan IoT. Penerapan 5G dalam arsitektur IoT akan mengubah gaya hidup kita dengan menghadirkan sejumlah besar perangkat IoT di satu tempat dalam hitungan detik. Penerapan ini akan menyediakan aplikasi yang kami yakini ketinggalan zaman karena waktu responsnya yang tercepat. Sistem nirkabel generasi ke-5 merupakan penggerak aplikasi IoT masa kini. Dalam waktu dekat, 5G akan menjadi hal yang tak terelakkan bagi perangkat canggih yang digunakan dalam sistem IoT. Bahkan ada kemungkinan diperlukan 5G tingkat lanjut untuk aplikasi IoT yang lebih canggih seperti penelitian satelit atau transmisi data nirkabel di seluruh dunia. Namun demikian, seiring dengan hal tersebut, muncul beberapa masalah terkait arsitektur. Arsitektur ini masih merupakan konsep baru dan terus berkembang. Mendapatkan latensi rendah dalam jangkauan yang luas bukanlah tugas yang mudah. 5G sendiri sedang berkembang dan belum diterapkan di seluruh dunia. Oleh karena itu, masih terdapat banyak tantangan keamanan dan struktural.

Bab ini menjelaskan peluang dan tantangan ekosistem IoT terintegrasi 5G. Domain ini dapat diperluas ke perspektif blockchain dan kecerdasan buatan. Garis besar kontribusi karya ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Konsep dasar, arsitektur, dan karakteristik ekosistem 5G dan evolusinya dibahas secara komprehensif.
- Membahas tinjauan umum IoT, beserta karakteristiknya.
- Arsitektur tiga lapis untuk sistem IoT telah dispekulasikan.

- Persyaratan untuk membangun ekosistem IoT terintegrasi 5G diuraikan.
- Menyajikan deskripsi holistik cakupan aplikasi IoT yang mendukung 5G di berbagai domain.
- Terakhir, membahas secara mendalam analisis kesenjangan penelitian, tantangan, dan solusi sementara IoT 5G.

Sisa buku ini disusun sebagai berikut: bagian "Tinjauan Umum 5G" memberikan tinjauan umum 5G dan evolusinya serta persyaratan arsitektur umum. Bagian "Wawasan tentang IoT" merinci karakteristik IoT dan arsitektur berlapis. Bagian "Persyaratan untuk Arsitektur IoT Terintegrasi 5G" mengilustrasikan dasar-dasar ekosistem IoT terintegrasi 5G di berbagai domain. Bagian "Peluang IoT Terintegrasi 5G" mengilustrasikan peluang IoT 5G di berbagai domain. Terakhir, bagian "Tantangan IoT Terintegrasi 5G" berspekulasi tentang tantangan ekosistem IoT 5G untuk penelitian mendatang, diikuti dengan kesimpulan di bagian "Kesimpulan".

11.2 IKHTISAR 5G

5G memungkinkan jaringan seluler generasi berikutnya untuk membuat lompatan kuantum ke depan dalam komunikasi nirkabel. Hari demi hari, tuntutan banyak aplikasi meningkat. Teknologi nirkabel yang berubah dengan cepat terus berusaha mengikuti evolusi ini. Aplikasi yang bergantung pada data besar dan jaringan lain dari berbagai hal seperti transfer uang cepat, mendeteksi penyakit kritis, manajemen inventaris, dll. menggunakan karakteristik 5G untuk meningkatkan sistem yang meningkatkan efisiensi. 4G dan generasi sebelumnya tidak dapat mendukung aplikasi terbaru yang memerlukan kemampuan pemrosesan data tinggi dengan kualitas layanan (QoS) dan kualitas pengalaman (QoE) yang tinggi. Kecepatan transmisi juga dalam satuan Gbps, dan kecepatan transmisi tipikal adalah 100+ (Mbps). Pengujian menunjukkan bahwa 5G dapat memberikan kecepatan transmisi hingga 20 Gbps, yang 100 kali lebih cepat daripada 4G. Jadi, memperkenalkan 5G dalam sistem jaringan dapat mengubah proses komunikasi secara keseluruhan.

Evolusi 5G

Pada tahun 1950-an, komunikasi portabel pertama yang belum sempurna diperkenalkan di Amerika Serikat. Komunikasi portabel pertama (1G) diperkenalkan setelah tiga dekade. Generasi kedua komunikasi radio (2G) didorong oleh teknologi digital yang menggunakan efisiensi SMS seseorang dengan penemuan mikroprosesor. Setelah beberapa tahun, GPRS yang dikombinasikan dengan jaringan 2G memberikan manfaat berbagi panggilan suara, MMS, gambar, dll. dengan lebih lancar. Untuk sistem yang lebih baik, era ketiga (3G) diadopsi dalam peralatan suara dan pemberitahuan seperti TV langsung dan internet cepat di abad ke-21. Generasi Keempat (4G) dikembangkan sebagai respons terhadap momentum koneksi daring yang sangat tinggi pada gawai berkemampuan 4G. Komunikasi masa kini melampaui batasan telepon seluler termasuk lemari es, komputer, mobil, dan gawai modern lainnya pada arsitekturnya. Fitur situs dan transfer data yang cepat diperlukan untuk memahami keterlibatan perangkat yang sedang berlangsung dan mengakses perangkat tambahan. Fakta ini juga menginspirasi inovasi komunikasi era kelima (5G). Secara sederhana,

5G adalah jaringan seluler generasi ke-5. Di sini, kita akan membahas tiga jenis 5G secara umum.

Low Band 5G

Low-band 5G menggunakan frekuensi kurang dari 2 GHz. Ini adalah frekuensi radio dan televisi yang sudah ada sejak lama. Frekuensi ini dapat mencakup jarak yang sangat jauh, tetapi tidak ada saluran yang sangat besar. Low Band 5G menunjukkan kecepatan data serendah mungkin. Akibatnya, 5G dengan lebar pita terbatas menjadi lambat. Saluran ini bervariasi dari 5 hingga 15 MHz untuk berbagai jaringan seluler seperti AT&T, T-Mobile, dan Verizon. Ini dianggap sebagai kasus terburuk 5G, yang agak lebih cepat daripada 4G.

Medium Band 5G

Mid-band 5G menggunakan frekuensi 2,5 GHz dan 3,5–3,7 GHz di sebagian besar negara. Ini lebih cepat daripada Low-band 5G yang menggunakan frekuensi kurang dari 6 GHz. Jaringan ini dapat mencakup sebagian besar frekuensi yang digunakan oleh jaringan seluler dan jaringan yang terhubung ke Wi-Fi, serta beberapa frekuensi yang sedikit di atasnya. Karena jaringan ini dapat mencakup radius beberapa mil dari menara yang dibangun dengan lebar tidak lebih dari setengah mil, jaringan ini merupakan jaringan yang berfungsi dengan lalu lintas 5G tertinggi di sebagian besar negara.

Pita Tinggi 5G

Dibandingkan dengan 5G yang disebutkan di atas, spektrum gelombang milimeter yang didukung menara jarak pendek menghadirkan 5G pita tinggi. Gelombang udara sebagian besar berada di pita 20–100 GHz hingga saat ini. Frekuensi ini belum pernah digunakan untuk keperluan konsumen sebelumnya. Frekuensi ini hanya digunakan dalam jarak pendek. Oleh karena itu, menjalankan pengujian pada beberapa platform menunjukkan jarak sekitar 800 kaki di lingkungan perkotaan yang padat dari menara. Namun, ada banyak sinyal yang tidak terisi, yang memungkinkan kecepatan yang sangat tinggi, yang diharapkan mencapai 800 MHz pada satu waktu.

11.3 KARAKTERISTIK DAN PERSYARATAN EKOSISTEM 5G

5G dapat meningkatkan kecepatannya hingga 20 kali lipat dari 4G. Diharapkan dapat menawarkan kecepatan 20 GB per detik sedangkan 4G hanya dijanjikan 1 GB per detik. Kecepatan dapat bervariasi tergantung pada infrastruktur jaringan dan operator layanan. Menurut Qualcomm, 5G telah menunjukkan kecepatan 4,5 GB per detik dalam pengujiannya dan rata-rata 1,4 GB per detik (Qualcomm 2020). Ini setidaknya 20 kali lebih cepat daripada jaringan 4G tercepat. Mengaktifkan 5G untuk mencapai kecepatan itu akan mengubah bentuk streaming HD, menjadikan tombol 'unduh' menjadi tombol 'putar'. Untuk latensi tinggi, waktu tunda akan berkurang secara signifikan dan penelusuran akan lebih cepat dari sebelumnya. Beberapa karakteristik penting dari jaringan 5G adalah:

- Latensi sangat rendah (sekitar 1 ms).
- Kecepatan hingga 100 Gbps (10–100× dari 4G dan 4.5G).
- Ketersediaan 99,99% di seluruh dunia.
- Mencakup 100% tempat.

- Pengurangan energi hingga 90%.
- Meningkatkan masa pakai baterai untuk perangkat IoT berdaya rendah hingga 10 tahun.

Untuk memiliki jaringan 5G dengan karakteristik ini yang terkait dengan IoT, harus ada beberapa kapabilitas khusus yang disediakan untuk arsitektur tersebut. Seperti:

1. Manajemen sumber daya yang efisien untuk IoT dan operasi massal.
2. Prioritaskan kualitas layanan dan kontrol standar.
3. Pembagian dan paparan jaringan.
4. Efisiensi energi.
5. Aplikasi dalam domain siber-fisik.
6. Ketersediaan posisi.

Keandalan yang tinggi merupakan pembeda mendasar dibandingkan dengan desain spektrum radio tanpa lisensi atau jaringan heterogen tradisional yang direkayasa secara evolusioner. Jadi, hal ini sangat penting untuk 5G.

Arsitektur 5G

Lapisan jaringan, lapisan pengontrol, manajemen, dan lapisan layanan merupakan empat tingkatan paradigma arsitektur 5G. Tumpukan protokol 5G memiliki dua sublapisan: Radio Link Control (RLC) dan Pocket Data Convergence Protocol (PDCP). Alih-alih stasiun pangkalan (BS), arsitektur jaringan 5G menggunakan titik jaringan akses radio (RAN) yang adaptif, virtual, dan fleksibel serta desain terpecah yang canggih. Untuk membangun berbagai titik akses data, RAN virtual ini menggabungkan antarmuka, komponen, dan komposisi tambahan. Arsitektur generik untuk ekosistem 5G harus memiliki fungsi berikut:

1. **Radio Access Network (RAN):** 5G menggunakan RAN untuk menghubungkan banyak teknologi yang menyediakan frekuensi FDD.
2. **Jaringan Data:** Menyediakan layanan operator dan layanan pihak ketiga untuk akses internet.
3. **Manajemen Akses dan Mobilitas:** Fungsi ini memastikan perlindungan integritas, mengotorisasi akses, mengelola mobilitas, tautan antar perangkat, kemampuan koneksi, dll.
4. **Pemilihan Potongan Jaringan:** Fungsi ini memutuskan instans untuk peralatan pengguna dan informasi untuk fungsi bantuan.
5. **Fungsi Autentikasi Server:** Melakukan pekerjaan autentikasi untuk akses 3GPP terpercaya dan tidak terpercaya.
6. **Kebijakan Kontrol:** Fungsi ini memulai kerangka kebijakan untuk mengontrol perilaku jaringan.
7. **Paparan Jaringan:** Memaparkan aplikasi jaringan dan mengelola komunikasi eksternal dan internal yang mengamankan informasi.

Ada banyak lagi fungsi arsitektur 5G yang bervariasi dari satu aplikasi ke aplikasi lainnya. Namun, skenario dasar setiap fungsi cenderung mencapai kecepatan yang lebih tinggi, latensi rendah, manajemen yang tepat, dan keamanan.

11.4 WAWASAN TENTANG IOT

IoT atau Internet of Things adalah sistem digital berjejaring dari berbagai perangkat elektronik seperti sensor, aktivator, penerima, node yang menghitung data, dll. Dengan menghilangkan keterlibatan manusia, perangkat IoT telah mengubah sistem pengumpulan dan pemrosesan data. Dari atas ke bawah, perangkat IoT meningkatkan pengembangan konsep seperti rumah pintar, kendaraan pintar, pertanian pintar, perawatan kesehatan pintar, komunikasi, keamanan siber, dan banyak sistem lainnya. Perangkat tersebut telah digunakan untuk melakukan, memantau, dan menghasilkan reaksi berdasarkan informasi yang dikumpulkan. Orang-orang telah lama berpikir untuk menghubungkan perangkat ke Internet. Internet of Things, di sisi lain, meningkatkan dan memperluas teknologi jaringan berdasarkan teknologi internet yang ada, yang memungkinkan komputasi dan objek pintar untuk terhubung dan berkomunikasi satu sama lain. IoT dapat didefinisikan secara luas sebagai objek apa pun yang berkomunikasi, menghasilkan, dan bertukar data dengan objek lain melalui Internet untuk melakukan penelusuran orientasi, pelacakan, pengenalan cerdas, dan manajemen. Proses ini dilakukan oleh berbagai sensor atau periferal seperti GPS, sensor termal, RFID, dll.

Karakteristik IoT

Ada banyak kebutuhan IoT fungsional dan non-fungsional untuk menciptakan infrastruktur. Kami akan membahas beberapa karakteristik IoT yang paling berharga di sini.

Ketersediaan

Untuk menyediakan fasilitas bagi pelanggan di mana pun dan kapan pun mereka membutuhkannya, ketersediaan IoT harus diimplementasikan pada tingkat perangkat keras dan perangkat lunak. Kapasitas sistem IoT untuk memberikan fungsionalitas kepada siapa pun di lokasi mana pun disebut sebagai ketersediaan perangkat lunak. Sifat komputer yang selalu kompatibel dengan fitur dan protokol IoT disebut sebagai ketersediaan perangkat keras. Untuk memungkinkan kapabilitas IoT, protokol seperti IPv6, 6LoWPAN, RPL, CoAP, dan lainnya perlu diimplementasikan di dalam perangkat terbatas dari sumber daya papan tunggal. Salah satu teknik untuk mencapai ketersediaan layanan IoT yang tinggi adalah dengan memastikan ketersediaan perangkat keras dan fasilitas penting.

Mobilitas

Meskipun sebagian besar utilitas dirancang untuk dikirimkan melalui perangkat Ponsel Pintar, implementasi IoT terhambat oleh aksesibilitas. Premis utama IoT adalah menjaga pelanggan tetap terhubung dengan sumber daya pilihan mereka saat berpindah. Ketika perangkat seluler dipindahkan dari satu gateway ke gateway lain, gangguan layanan dapat terjadi. Caching dan tunneling untuk keberlangsungan layanan memungkinkan aplikasi mengakses data IoT bahkan jika internet mati untuk waktu yang singkat. Sejumlah besar

perangkat pintar yang tersedia dalam sistem IoT biasanya disertakan dalam kerangka kerja yang solid untuk kontrol mobilitas.

Skalabilitas

Skalabilitas dalam Internet of Things mengacu pada kemampuan untuk menerima peralatan klien, perangkat lunak, dan kapabilitas baru tanpa mengorbankan efisiensi sistem yang ada. Tidak mudah untuk menambahkan proses baru dan mengelola perangkat tambahan, terutama ketika ada beberapa platform perangkat keras dan protokol komunikasi yang harus dihadapi. Aplikasi IoT harus dibangun dari awal untuk memungkinkan layanan dan operasi yang dapat diperluas.

Keamanan dan Privasi

Pada berbagai jaringan, seperti Internet of Things, memastikan keamanan dan privasi pengguna sangatlah penting. Fungsi dasar Internet of Things dibangun di atas transmisi data antara miliaran, bahkan triliunan, perangkat yang terhubung ke Internet. Salah satu masalah besar dalam keamanan IoT yang tidak termasuk dalam standar adalah distribusi kunci antar perangkat. Semakin banyaknya objek cerdas di sekitar kita dengan data sensitif memerlukan manajemen kontrol akses yang transparan dan sederhana, seperti memungkinkan satu vendor untuk melihat data. Sebaliknya, vendor lain mengendalikan perangkat.

Kinerja

Kinerja layanan IoT sulit dievaluasi karena didasarkan pada kinerja banyak komponen dan teknologi yang mendasarinya. Internet of Things, seperti program lainnya, harus terus mengembangkan dan memperluas penawarannya untuk memenuhi harapan pengguna. Untuk memberikan nilai terbaik dengan biaya terendah bagi pelanggan, solusi IoT harus dipantau dan divalidasi. Kinerja IoT dapat diukur menggunakan berbagai kriteria, termasuk kecepatan pemrosesan, kecepatan koneksi, faktor bentuk sistem, dan biaya. IoT juga perlu mengelola sejumlah besar informasi atau data yang dibuat dalam ekosistem, memastikan interoperabilitas dan kualitas layanan.

Arsitektur Berlapis IoT

Berbagai desain telah disarankan untuk dunia IoT. Secara umum, struktur tersebut dibagi menjadi tiga kategori. Ada tiga jenis arsitektur: arsitektur tiga lapis, arsitektur empat lapis, dan arsitektur lima lapis. Dalam bab ini, kita akan melihat arsitektur tiga lapis. Arsitektur ini diatur dengan mempertimbangkan beberapa tugas khusus yang harus diselesaikan oleh sistem seperti menjalankan fungsi layanan, mengirimkan data, dan koneksi di antara perangkat layanan. Arsitektur ini menghasilkan tiga lapisan, lapisan Aplikasi, lapisan Jaringan/Transmisi, dan lapisan Persepsi/Tepi.

Lapisan Aplikasi

Dalam implementasi yang berbeda, lapisan ini dapat mencakup berbagai layanan. Jaringan pintar, layanan kesehatan, dan mobil otonom adalah contoh penerapan IoT di kota dan rumah pintar. Karena lapisan aplikasi dapat berfungsi sebagai middleware pendukung layanan, standar jaringan, atau platform komputasi awan, pertimbangan keamanan bervariasi tergantung pada lingkungan dan industri aplikasi. Lapisan aplikasi menyediakan layanan yang dibutuhkan pelanggan. Misalnya, lapisan aplikasi harus memberikan nilai suhu dan

kelembapan relatif kepada klien yang meminta informasi tersebut. Lapisan ini sangat penting bagi IoT karena memungkinkan terciptanya layanan cerdas berkualitas tinggi yang memenuhi permintaan pengguna.

Lapisan Jaringan

Bertindak sebagai jembatan, lapisan jaringan mengendalikan transfer data ke lapisan berikutnya. Lapisan ini terhubung ke lapisan visual. Berbagai perangkat pintar terhubung ke lapisan jaringan mengikuti protokol fungsi kontrol (IEEE 802.x) dan standar autentikasi (GPS, dan *Near-Field Connectivity* (NFC)). Arsitektur backend server, perangkat pintar, dan protokol Internet berkontribusi pada lapisan ini. Selain itu, lapisan jaringan dapat ditangani sesuai dengan kekhasan lingkungan yang digunakan. Transmisi data sangat rentan terhadap serangan siber. Enkripsi kunci deteksi intrusi cerdas dengan kerangka kerja keamanan IoT berbasis manajemen yang aman adalah yang paling populer bersama dengan adopsi teknologi blockchain terbaru.

Lapisan Tepi

Lapisan tepi mengelola perangkat IoT atau sensor seperti RFID, berbagai aktuator, kamera, detektor intensitas, sensor kelembapan dan tekanan, dll., menggunakan gateway dalam fungsi koordinasi untuk terhubung dengan klien atau domain kerjanya. Tugas utamanya adalah mengumpulkan data dari lingkungan dan mentransfernya ke depan untuk diproses lebih lanjut. IP seperti IPv6 atau gateway dapat mengirimkannya untuk mengikuti penerjemahan protokol dan manajemen lalu lintas. Sensor dan aktuator melarang mekanisme keamanan umum dan standar untuk melindungi perangkat ini. Oleh karena itu, interoperabilitas di antara perangkat dan aksesibilitas fisik mengungkap sejumlah ancaman keamanan. Para peneliti telah mengusulkan solusi keamanan untuk lapisan ini berdasarkan pembelajaran mesin, otorisasi multi-langkah, penyaluran aman melalui anti-malware, dll.

11.5 PERSYARATAN UNTUK ARSITEKTUR IOT TERINTEGRASI 5G

IoT yang mendukung 5G memerlukan perhatian khusus karena heterogenitas, kemajuan, dan aplikasinya. Namun, ada beberapa persyaratan yang harus diikuti oleh semua arsitektur:

- (i) IoT 5G harus memastikan latensi rendah sebesar 1 ms dengan mempertimbangkan sistem internet yang sensitif dan perspektif medis.
- (ii) Arsitektur harus memastikan konsumsi energi yang rendah untuk perangkat IoT dengan daya baterai rendah tetapi cukup untuk 5G dalam mentransfer data.
- (iii) Aplikasi canggih seperti Virtual Reality atau Augmented Reality membutuhkan kecepatan tinggi 25 Mbps, sehingga arsitekturnya harus mengikuti kebutuhan di masa mendatang.
- (iv) Keamanan harus sangat baik, mengingat transmisi data besar-besaran dengan kecepatan yang sangat tinggi.
- (v) Perangkat dengan faktor mobilitas akan mendapatkan prioritas untuk infrastruktur IoT 5G.

Arsitektur IoT 5G yang mendasar terdiri dari lima langkah secara umum: sensor, IoT Gateway, stasiun berbasis 5G, penyimpanan cloud, dan aplikasi. Langkah-langkah ini dapat dirangkum dalam lapisan IoT untuk menghadirkan arsitektur IoT 5G secara umum.

Lapisan Tepi IoT 5G

Sensor dan gerbang IoT dapat terdiri dari 5G di lapisan ini. Misalnya, sensor untuk EKG yang dapat dikenakan, suhu, manufaktur pintar, dll. akan menggunakan lapisan ini untuk mengirimkan dan memproses informasi menggunakan teknologi 5G.

Lapisan Jaringan IoT 5G

Lapisan jaringan akan menampung stasiun pangkalan 5G dan penyimpanan awan untuk memproses data menggunakan perangkat IoT.

Lapisan Aplikasi IoT 5G

Lapisan aplikasi akan menyediakan semua dukungan untuk sistem akhir seperti rumah pintar, rantai pasokan pintar, dll. Mengikuti arsitektur umum yang disebutkan di atas, IoT 5G dapat mendukung gelombang milimeter, komunikasi D2D, nano-chip, perangkat lunak nirkabel, komputasi tepi seluler, komputasi awan analitik data, dan banyak lagi teknologi dan aplikasi. Pada Gambar 11.1, kami telah menunjukkan arsitektur umum untuk ekosistem IoT terintegrasi 5G.

IoT 5G Berbasis Blockchain

Blockchain dapat menghadirkan kepercayaan dan keamanan yang lebih baik pada IoT 5G. Blockchain dapat mempercepat pertukaran data dengan biaya yang lebih rendah dengan menerapkan sistem enkripsi kriptografi pada arsitekturnya. Kekekalan dan akuntabilitas yang dapat dipastikan blockchain untuk sistem tersebut sangat luar biasa. IoT 5G terintegrasi blockchain dapat menghadirkan revolusi pada IoT industri, Kendaraan Otonom Tak Berawak (UAV), dan sebagainya. Blockchain dan IoT 5G juga dapat diintegrasikan dengan pembelajaran mendalam. Arsitekturnya terdiri dari lapisan perangkat, jaringan blockchain, jaringan seluler 5G, dan jaringan cloud. Blockchain menyediakan transmisi data menggunakan kontrak pintar dengan kecepatan 5G. Sekali lagi, IoT 5G dapat ditanamkan dengan teknologi gelombang mm 5G untuk membangun pusat pemrosesan, prosesor objek, wilayah penginderaan, dan lapisan aplikasi. Lapisan-lapisan ini bekerja sama menggunakan penyimpanan awan dan jaringan 5G untuk menyediakan layanan seperti pendidikan, stasiun pemadam kebakaran, transportasi, pabrik, dll.

IoT 5G dengan Kecerdasan Buatan

Kecerdasan buatan yang bersifat adversarial dapat memberikan dukungan keamanan yang hebat terhadap IoT 5G. Kecerdasan buatan ini dapat mengaktifkan teknologi seperti MIMO masif, cloud RAN, multi-RAT untuk mencegah ancaman keamanan seperti metode tanda gradien cepat, serangan satu piksel, DeepFool, dll. Arsitekturnya menerima metodologi pembelajaran mesin seperti regresi logistik, Bayes naif, pembelajaran Q, K-means, model keputusan Markov, dll.

11.6 PELUANG IOT TERINTEGRASI 5G

5G merupakan teknologi yang sedang berkembang pesat dan telah membuka banyak peluang. Kemampuan berkecepatan tinggi dan bandwidth besar akan mendukung lebih dari 60.000 koneksi. Lebih jauh lagi, 5G menyatukan semua jaringan dalam satu platform. Teknologi ini juga memberi pelanggan kemampuan untuk memantau akun mereka dan mengambil tindakan cepat. 5G kompatibel dengan jaringan generasi sebelumnya. Lebih jauh lagi, 5G dirancang untuk menghadirkan koneksi global yang tidak terputus dan konstan. Mengaktifkan 5G dengan IoT akan mempercepat pengembangan di banyak sektor lain termasuk teknologi, bisnis, industri, dll.

Kemajuan Teknologi

IoT mencakup banyak aspek teknologi yang dapat dimanfaatkan sebaik-baiknya oleh 5G. 5G dapat membuat teknologi ini mengatasi kekurangannya sehingga menghasilkan pencapaian yang luar biasa. Di sini, kita akan membahas beberapa teknologi yang akan mengubah 5G selamanya.

Virtualisasi Fungsi Jaringan (NFV)

NFV digunakan untuk mengembangkan ketahanan layanan jaringan dan mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk mengadopsi sistem dan teknologi baru. Ini memisahkan persyaratan perangkat keras dan perangkat lunak untuk operasi yang rumit. NFV menjalankan peran sebagai enabler virtualisasi dan memfasilitasi penyebaran 5G-IoT. Load balancer tervirtualisasi, sistem deteksi intrusi, dan firewall adalah contoh NFV. Mengintegrasikan 5G dengan IoT akan memungkinkan NFV mendeteksi ancaman secara lebih akurat dan menyediakan layanan jaringan dengan fleksibilitas dan skalabilitas yang dikembangkan.

Mobile Cloud Computing (MCC)

Cloud computing adalah layanan yang memungkinkan seseorang untuk mengalihdayakan sumber daya pemrosesannya. Pengguna akhir dapat memperoleh akses resmi ke basis data, kumpulan data, dan informasi melalui Internet, termasuk kemampuan untuk menganalisis dan mentransfer dengan kekuatan jaringan 5G. Cloud computing adalah teknologi fundamental baru dalam arsitektur TI yang memungkinkan pengguna untuk menghitung atau menyimpan data tanpa membangun infrastruktur yang luas. MCC menggabungkan cloud computing dengan mobile computing untuk memberikan elastisitas dan layanan sesuai permintaan kepada konsumen. Kini, banyak layanan yang memungkinkan pengguna menghubungkan perangkat seluler mereka ke cloud. Transmisi data menggunakan edge computing dengan 5G mengurangi waktu transfer. Selain itu, penyertaan teknologi ini menjamin bahwa informasi kontekstual memiliki latensi yang lebih rendah dan lebih mudah diakses.

Komunikasi Perangkat-ke-Perangkat (D2D)

Jaringan 5G memungkinkan komunikasi D2D yang lancar dengan menerapkan komunikasi langsung tanpa perantara apa pun. Ada empat jenis komunikasi D2D ini, termasuk transmisi antarperangkat menggunakan tautan yang dikendalikan operator, transmisi antarperangkat dengan tautan yang dikendalikan perangkat, komunikasi D2D langsung

dengan tautan yang dikendalikan operator, dan komunikasi D2D langsung dengan tautan yang dikendalikan perangkat.

Software-Defined Network (SDN)

SDN membuka administrasi dan desain jaringan baru. SDN muncul sebagai jawaban yang paling menjanjikan untuk masa depan Internet. SDN memiliki dua fitur pembeda: pemisahan bidang data dan pemrograman pengembangan aplikasi tingkat lanjut. Hal ini memungkinkan konfigurasi, efisiensi, dan fleksibilitas yang lebih efektif saat membuat arsitektur jaringan. Prototipe SDN digunakan untuk membuat jaringan 5G guna mempertahankan topologi 5G-IoT yang fleksibel dan lebih cepat.

Komunikasi Gelombang Milimeter

Jaringan seluler terus-menerus membutuhkan peningkatan retensi untuk meningkatkan frekuensi. Gelombang milimeter 5G dapat membuka jalan bagi frekuensi gelombang radio yang baru dikembangkan. Ini akan memungkinkan IoT bekerja lebih efisien dengan menyediakan kecepatan tinggi (hingga 20Gbps) dan ketersediaan tinggi disertai dengan jaringan seluler daripada jaringan 4G. Selain itu, peningkatan pita lebar dalam jaringan seluler karena evolusi 5G ini akan memulai aplikasi seperti VR dan video augmented, streaming langsung, video UHD, dll.

Mobile Edge Computing (MEC)

Sebagian besar layanan cloud telah dimungkinkan karena pengembangan beberapa aplikasi komputer canggih seperti kecerdasan buatan dan lingkungan cerdas. Cloud computing memiliki berbagai kebutuhan, termasuk latensi rendah, kesadaran lokasi, dan dukungan mobilitas. MEC dapat membawa operasi dan sumber daya yang disebutkan lebih dekat ke tepi jaringan. Berkat MEC dalam IoT 5G, aplikasi seperti VR dan AR akan terus berkembang.

Selain teknologi-teknologi ini, masih banyak lagi teknologi lain yang terus ditambahkan ke dalam kehidupan sehari-hari kita di seluruh dunia. Kemampuan dan jangkauan jaringan harus dikembangkan untuk mengurangi lalu lintas global ini. 5G memiliki kemampuan untuk berkembang dengan inovasi-inovasi baru ini serta meningkatkan kemampuannya.

Kota Cerdas

Dari manajemen rantai pasokan semua barang dan kebutuhan penting dalam kehidupan sehari-hari hingga sistem otomatisasi rumah hingga komunikasi yang lebih baik, 5G akan memiliki penggunaan yang lebih luas dalam program kota cerdas. Kota Cerdas akan mendapatkan manfaat dari jaringan 5G dengan sensor yang dikembangkan untuk memajukan infrastruktur perkotaan. 5G akan mampu mengelola sejumlah besar data dan menggabungkan berbagai teknologi cerdas yang terus terhubung satu sama lain untuk membawa kota yang benar-benar terhubung lebih dekat.

Layanan Kesehatan Cerdas

Karena 5G akan berdampak pada IoT, maka 5G juga akan berdampak pada area yang tersentuh IoT. Internet of Medical Things, atau IoMT, adalah yang terpenting di antaranya. Daerah pedesaan dan daerah terpencil lain yang sebanding yang tidak memiliki layanan kesehatan yang memadai dapat memperoleh manfaat luar biasa dari konektivitas Internet of

Things. Setelah lama mendambakan layanan kesehatan kelas dunia yang dapat dicapai dari jarak jauh seperti operasi jarak jauh kini menjadi suatu kemungkinan (Ahad et al. 2020).

Kendaraan Cerdas

Mobil otomatis mengumpulkan berbagai data tentang suhu, cuaca, lalu lintas, posisi GPS, dan faktor lainnya menggunakan sensor modern, yang menghasilkan volume data yang signifikan. Banyak energi yang dikeluarkan dalam pembuatan dan pemrosesan data sebanyak itu. Untuk memberikan layanan terbaik, kendaraan ini sangat bergantung pada transmisi data waktu nyata. Sistem yang terpasang pada kendaraan ini dapat dimulai untuk mengumpulkan setiap jenis data yang diperlukan termasuk yang penting dengan konektivitas kecepatan tinggi dan latensi minimal. Akhirnya, sistem ini akan memungkinkan kendaraan untuk memantau operasinya secara otonom dan meningkatkan model masa depan termasuk algoritma sistem.

Logistik Cerdas

Perangkat pelacakan IoT canggih yang dapat menjalankan aktivitas logistik akan dapat menggunakan konektivitas 5G. Transmisi data waktu nyata akan lebih cepat dari sebelumnya dengan kemandirian kecepatan tinggi dan latensi rendah 5G. Selain itu, sistem ini akan hemat energi jika rantai pasokan panjang yang membutuhkan waktu. Misalnya, konsumen dapat mengetahui di mana buah ditanam, pada suhu berapa buah disimpan selama perjalanan, dan kapan buah dikirim ke pengecer.

Jaringan Cerdas

Dalam operasi sehari-hari, kebutuhan akan daya tumbuh pesat. Manajemen permintaan dapat dibantu oleh jaringan cerdas dan pembangkit listrik virtual. Teknologi 5G sesuai untuk manajemen waktu nyata dalam industri energi dan utilitas yang menyediakan solusi yang akan memastikan operasi dan pemeliharaan optimal dengan mengenali dan menanggapi gangguan jaringan dengan cepat. 5G dapat merenovasi jaringan cerdas yang menggantikan teknologi kabel dengan menciptakan fleksibilitas penerapan yang lebih baik dan pengeluaran yang lebih murah.

Bisnis

IoT yang mendukung 5G diprediksi akan memberikan lebih dari sekadar kemajuan teknis; diperkirakan juga akan mendukung 22 juta lapangan kerja di seluruh dunia. Modernisasi transportasi, industri, pertanian, dan industri fisik lainnya kemungkinan akan mendorong peningkatan ini. Bidang-bidang seperti konstruksi tambang minyak, armada angkutan barang, dan rel kereta api yang membutuhkan transmisi lebih cepat karena sifat produk akan terpengaruh secara positif. 5G memiliki kemampuan untuk memajukan manufaktur cerdas dan peralatan cerdas. Dalam waktu dekat, 5G akan memungkinkan IoT untuk melakukan manajemen lalu lintas jaringan yang hampir instan, resolusi, meningkatkan keamanan dan keselamatan publik, dan beroperasi dari jarak jauh.

Penelitian Udara dan Satelit

Kemajuan jaringan 5G juga membuka jendela komunikasi dan penelitian udara dan satelit yang luas. Sistem Kinerja Ketinggian Tinggi (HAP) sedang diselidiki bersama dengan satelit. Memodifikasi jaringan 5G dengan Narrowband-IoT (NB-IoT) menjadikannya integrasi yang mulus (Gineste et al. 2017). Ini dapat memungkinkan satelit yang cukup terstruktur untuk

berkomunikasi pada bitrate rendah. Dimungkinkan juga untuk meningkatkan jaringan seluler 5G dengan jaringan satelit-terrestrial gabungan.

Mitigasi Situasi Pandemi

5G dapat merenovasi teknologi untuk mengurangi masalah dalam situasi pandemi. Integrasi 5G dan IoT meningkatkan layanan telehealth untuk memeriksa pasien dari jarak jauh melalui Komunikasi Jenis Mesin Masif (mMTC). Selain itu, perangkat IoT berbasis Bluetooth Low Energy (BLE) yang didukung 5G dapat mengelola deteksi dan pemantauan pasien COVID-19. Konektivitas data yang masif tidak memerlukan gateway apa pun dan menyediakan dukungan baterai jangka panjang untuk perangkat IoT berdaya rendah.

Jaringan Cerdas

Dalam operasi sehari-hari, kebutuhan akan tumbuh pesat. Permintaan manajemen dapat dibantu oleh jaringan cerdas dan pembangkit listrik virtual. Teknologi 5G sesuai untuk manajemen waktu nyata dalam industri energi dan utilitas yang menyediakan solusi yang akan memastikan operasi dan pemeliharaan optimal dengan mengenali dan menanggapi gangguan jaringan dengan cepat. 5G dapat merenovasi jaringan cerdas yang menggantikan teknologi kabel dengan menciptakan penegakan penerapan yang lebih baik dan pengeluaran yang lebih murah.

Bisnis

IoT yang mendukung 5G diprediksi akan memberikan lebih dari sekadar kemajuan teknis; diperkirakan juga akan mendukung 22 juta lapangan kerja di seluruh dunia. Modernisasi transportasi, industri, pertanian, dan industri fisik lainnya kemungkinan akan mendorong peningkatan ini. Bidang-bidang seperti konstruksi tambang minyak, armada angkutan barang, dan rel kereta api yang membutuhkan transmisi lebih cepat karena sifat produk akan berpengaruh secara positif (Rong et al. 2020). 5G memiliki kemampuan untuk memajukan manufaktur cerdas dan peralatan cerdas. Dalam waktu dekat, 5G akan memungkinkan IoT untuk melakukan manajemen lalu lintas jaringan yang hampir instan, menyelesaikan, meningkatkan keamanan dan keselamatan masyarakat, dan beroperasi dari jarak jauh.

Penelitian Udara dan Satelit Kemajuan jaringan 5G juga membuka jendela komunikasi dan penelitian udara dan satelit yang luas. Sistem Kinerja Ketinggian Tinggi (HAP) sedang berburu bersama dengan satelit. Memodifikasi jaringan 5G dengan Narrowband-IoT (NB-IoT) menjadikan integrasi yang mulus. Ini dapat memungkinkan satelit yang cukup nyaman untuk berkomunikasi pada bitrate rendah. memberikan juga untuk meningkatkan jaringan seluler 5G dengan jaringan satelit-terrestrial gabungan.

Mitigasi Situasi Pandemi

5G dapat merenovasi teknologi untuk mengurangi masalah dalam situasi pandemi. Integrasi 5G dan IoT meningkatkan layanan telehealth untuk memeriksa pasien dari jarak jauh melalui Komunikasi Jenis Mesin Masif (mMTC). Selain itu, perangkat IoT berbasis Bluetooth Low Energy (BLE) yang didukung 5G dapat mengelola deteksi dan pemantauan pasien COVID-19 (Haque et al. 2021e). Konektivitas data yang masif tidak memerlukan gateway apa pun dan menyediakan dukungan baterai jangka panjang untuk perangkat IoT berdaya rendah.

Sistem Optimasi

IoT yang mendukung 5G mengatasi masalah terkait jaringan di IoT menggunakan banyak prosedur optimasi. Prosedur optimasi ini mencakup pendekatan stokastik, heuristik, dan komputasional beserta algoritma genetik dan evolusi, dll. Ini membantu dalam pemantauan dan minimalisasi lalu lintas jaringan yang dihasilkan perangkat IoT secara efektif.

Pengawasan Video

Pengawasan video adalah aplikasi lain yang diproyeksikan beroperasi dengan baik dalam ekosistem 5G. Banyak industri serta sektor swasta di seluruh dunia menggunakan sistem pengawasan. Koneksi kabel masih digunakan oleh banyak sistem pengawasan video saat ini. Komunikasi nirkabel seperti Wi-Fi dan seluler semakin populer karena kemudahan, kecepatan, dan biaya implementasinya yang rendah. Dalam waktu dekat, diharapkan akan meningkat pada tingkat yang lebih tinggi untuk memastikan keamanan yang lebih baik. Pemanfaatan 5G akan mendukung peningkatan kecepatan yang diperlukan untuk analisis data video waktu nyata dan penyebaran sejumlah besar pengawasan.

Tantangan IoT Terintegrasi 5G

5G yang terintegrasi dengan IoT telah memberi kita fitur-fitur luar biasa yang ada di mana-mana. Riset mutakhir telah menunjukkan bahwa lebih banyak aplikasi dan kemajuan dapat dicapai melalui konektivitas yang luas yang memastikan Kualitas Layanan (QoS) yang andal. Dengan kemajuan ini, muncul lebih banyak tantangan yang perlu diatasi. Di sini, kita akan membahas beberapa tantangan penting IoT terintegrasi 5G.

Tantangan Umum

IoT 5G dapat dibentuk dengan teknologi lain tetapi menimbulkan jenis tantangan yang sama terlepas dari aplikasinya.

Kontrol Rendah pada Penggunaan dan Penyimpanan Data

Sejumlah besar data dibuat dalam jaringan IoT 5G. Data tersebut dibuat melalui perangkat yang unik untuk banyak bisnis. Akibatnya, data ini sering kali berada di luar kendali semua pemangku kepentingan atau pengguna yang terkait. Data dapat menjadi milik semua pemasok yang peralatannya menciptakan simpul jaringan, semua penyedia layanan yang menggunakan arsitektur jaringan 5G umum, atau semua pengguna yang berbagi satu platform cloud saat digunakan oleh semua pihak. Akibatnya, merupakan tugas yang rumit untuk melacak data mana yang berasal dari siapa, siapa pembuatnya, dan sistem pemrosesannya.

Skalabilitas

Arsitektur berbasis cloud memungkinkan IoT 5G untuk mengontrol dan mengelola keseluruhan jaringan. Dengan kata lain, simpul dalam jaringan menciptakan data untuk diproses ke cloud umum. Kemudian, simpul jaringan mengirimkan kembali sinyal kontrol untuk menjalankan tugas-tugas seperti realokasi penyimpanan, manajemen lalu lintas, manajemen kesalahan, perutean, dan sebagainya. Namun, seiring bertambahnya jumlah perangkat yang terhubung, demikian pula volume data yang dihasilkannya, sehingga peningkatan kapasitas dan daya komputasi server cloud terpusat menjadi masalah yang semakin dekat. Lebih jauh lagi, perangkat terhubung ke simpul cloud melalui gateway atau simpul tepi dalam ekosistem 5G dan IoT. Karena banyaknya perangkat yang mencoba

terhubung ke cloud, jaringan fronthaul, midhaul, dan backhaul yang dekat dengan node gateway sering kali menyempit sehingga mengurangi skalabilitas jaringan secara keseluruhan.

Interaksi Rumit Antar Perangkat

Standar teknologi yang tertanam dalam perangkat yang digunakan dalam ekosistem IoT 5G memiliki gelombang sinyal yang bervariasi, bit data yang berbeda, protokol PHY dan MAC yang berbeda, struktur pengkodean, antarmuka pengguna, dll. Pengoperasian perangkat ini juga didukung oleh sistem operasi yang berbeda. Jadi, merupakan tugas yang sangat rumit untuk memulai standar komunikasi bersama yang akan diikuti di seluruh infrastruktur IoT 5G. Sekali lagi, program atau sistem operasi umum yang dapat mengikuti protokol komunikasi yang berbeda untuk beberapa perangkat juga sangat sulit untuk diperkenalkan. Oleh karena itu, hal itu dapat melarang perluasan aplikasi tertentu dan bahkan membatasi beberapa perangkat untuk digunakan dalam lingkungan IoT 5G.

Auditabilitas Data

Data yang dibuat dalam jaringan IoT 5G memiliki beberapa pemilik dan sangat tidak patuh, sehingga sulit dilacak dan diaudit. Ada juga situasi ketika tidak ada standar atau protokol umum yang berlaku untuk data seperti yang dibahas sebelumnya untuk dibagikan di seluruh perangkat yang dimiliki oleh berbagai bisnis. Lebih jauh lagi, data mungkin tidak dapat diproses atau tidak dapat ditransmisikan di berbagai divisi organisasi karena protokol komunikasi yang berbeda dan juga karena kesulitan kepercayaan. Jenis data yang serupa seperti data meteorologi dan lingkungan terkadang tidak dibagikan atau dioperasikan oleh banyak entitas untuk mencapai penalaran yang disepakati.

Heterogenitas Data 5G dan IoT

Baik ekosistem 5G maupun IoT memiliki sifat yang bervariasi yang menyebabkan beberapa masalah kompatibilitas saat mengimplementasikan aplikasi yang berbeda. Karena data yang dibuat dalam jaringan IoT dan jaringan seluler 5G beragam dan multidimensi, hampir tidak mungkin untuk memperkirakan karakteristik dan hasil yang tepat. Akibatnya, operasi awal seperti pembersihan, pemesanan, dan praproses diperlukan untuk melatih jenis data ini karena integrasi kumpulan data yang beragam tersebut menyebabkan perhitungan yang salah. Oleh karena itu, pengujian kumpulan data dalam situasi yang beragam perlu lebih memperhatikan aspek ini untuk pelatihan kumpulan data dan pemilihan fitur. Sensor dan manusia, misalnya, membuat data untuk jaringan IoT di rumah pintar. Namun, server umum atau pusat harus berisi semua data yang digunakan dalam aplikasi ini. Server ini akan bertanggung jawab untuk mengumpulkan dan melatih data dari banyak sumber sehingga dapat mengatasi berbagai data dan mencapai akurasi prediksi yang lebih tinggi.

11.7 MASALAH INTEGRASI BLOCKCHAIN DENGAN IOT 5G

Blockchain, yang terintegrasi dengan IoT 5G, membuka peluang untuk banyak aplikasi. Namun, banyak di antaranya juga memiliki tantangan yang berbeda. Beberapa tantangan besar bagi ekosistem IoT 5G yang terintegrasi dengan blockchain dibahas di sini.

Waktu Pemrosesan

Beberapa tugas yang dapat dijalankan sendiri seperti verifikasi transaksi dan blok diperlukan untuk membangun rantai dalam ekosistem blockchain. Perhitungan ini mengikuti beberapa prosedur kriptografi khusus untuk menjaga keaslian blok dalam blockchain yang membutuhkan banyak waktu. Ini dapat menjadi solusi untuk mengurangi jumlah data pelatihan, tetapi ada batasan komputasi khusus dalam konteks IoT yang dapat menyebabkan masalah keamanan. Akibatnya, perhatian besar untuk implementasi blockchain dalam konteks IoT adalah dibutuhkan lebih sedikit penggantian yang membutuhkan banyak sumber daya untuk mengurangi waktu pemrosesan.

Privasi dan Keamanan

IoT sendiri membawa banyak masalah privasi ke jaringan 5G terintegrasi blockchain karena sejumlah besar perangkatnya menggunakan banyak sensor yang terhubung di seluruh dunia. Selain itu, blockchain lebih memilih verifikasi transaksi secara publik. Menjaga prosedur enkripsi blockchain bersama dengan perlindungan data 5G membawa tantangan yang signifikan. Ada beberapa penelitian untuk mengatasi masalah ini dengan mengusulkan komputasi homomorfik untuk menutupi data pada saat akses oleh pengguna mana pun. Namun, mengendalikan lebih dari 51% data dari ekosistem IoT 5G dapat menyebabkan transaksi terbalik atau masalah pengeluaran ganda. Jadi, solusi gabungan masih menjadi tantangan besar.

Skalabilitas Penyimpanan

Kebutuhan utama teknologi blockchain adalah penyimpanan transaksi dan blok secara konstan. Secara teori, setiap node harus memiliki salinan buku besar yang tumbuh seiring dengan transaksi. Dari sudut pandang skalabilitas, efek penyimpanan ekosistem IoT akan memengaruhi operasi sistem secara keseluruhan. Transaksi yang berubah seiring dengan peningkatan skala sistem, khususnya, membutuhkan banyak penyimpanan.

Biaya

Blockchain memiliki masalah skalabilitasnya sendiri, tetapi di sisi lain, throughput atau biaya merupakan kesulitan besar lainnya dengan teknologi ini. Untuk IoT, sulit untuk mengimbangi jumlah transaksi dan ukurannya yang terus bertambah. Dua masalah lain yang sering muncul adalah latensi dan throughput transaksi. Karena lebih sedikit data yang dihasilkan blockchain privat daripada blockchain publik, blockchain privat lebih disukai daripada lingkungan IoT. Namun, IoT 5G menghasilkan data besar dan analisis throughput yang sangat besar ini oleh blockchain meningkatkan biaya komputasi.

Masalah 5G mm-Wave

Aplikasi 5G mm-wave memiliki signifikansi yang menjanjikan dalam meningkatkan ketahanan ekosistem IoT, latensi rendah, dan alokasi kapasitas yang lebih tinggi untuk teknologi Multiple Input Multiple Output (MIMO). Namun, aplikasi ini memiliki keterbatasan jangkauan dalam komunikasi. Selain itu, inti 5G mm-wave dikombinasikan dengan perangkat yang memiliki karakteristik berbeda seperti pita LTE dan mm-wave. Sekali lagi, aplikasi ini rentan terhadap penyumbatan yang membatasi mobilitasnya karena lingkungan penyebarannya yang kaya. Aplikasi ini juga menghabiskan banyak daya karena penggunaan

perangkat keras yang ekstensif. Oleh karena itu, gangguan koneksi karena kondisi cuaca membuatnya sulit digunakan dengan infrastruktur IoT.

Perlindungan Ancaman IoT 5G

Bahkan setelah mengurangi masalah 5G dan IoT secara khusus, ancaman keamanan akan muncul lagi dalam infrastruktur IoT terintegrasi 5G. Ada banyak ancaman keamanan seperti serangan DoS, badai sinyal, pencurian slice, serangan penetrasi, serangan Man-in-the-middle (MITM), serangan level TCP, pengaturan ulang paparan kunci keamanan, dan serangan spoofing IP, dll. yang ditujukan pada teknologi seperti SDN, NFV, server Cloud, dll. Serangan ini tidak hanya dapat mengekspos keseluruhan aplikasi IoT 5G tetapi juga berdampak besar pada privasi data. Ada beberapa solusi untuk serangan ini seperti penggunaan node dan sensor berdaya rendah, keamanan cloud dan aplikasi untuk SDN dan NFV, dll. Namun, hal ini masih menjadi perhatian untuk prospek IoT 5G di masa mendatang ("Dukungan 5G untuk Aplikasi IoT Industri 2020"). Tabel 11.1 merangkum dan memberikan gambaran singkat tentang tantangan utama dan kemungkinan solusinya untuk sistem IoT terintegrasi 5G.

Tabel 11.1 Ringkasan tantangan dan solusi terkini IoT 5G

| Domain | Tantangan | Deskripsi | Solusi |
|----------------|---|---|--|
| Tantangan umum | Kontrol rendah terhadap penggunaan dan penyimpanan data | Berbagai jenis data digunakan oleh berbagai entitas Sulit melacak sumber data berbahaya | Sistem memori flash NAND berbasis BICM-ID yang dioptimalkan dengan algoritma EPEXIT untuk mengelola penyimpanan data |
| | Skalabilitas | Kemampuan dan daya komputasi untuk meningkatkan node data menurun seiring pertumbuhan rute data Upaya sejumlah besar data untuk mengakses cloud mengakibatkan gateway menyempit | SDN hemat biaya dengan pengoptimalan data di beberapa sektor IoT industri dan 5G |
| | Interaksi rumit antar perangkat | Kurangnya sistem operasi umum di antara perangkat yang berinteraksi | Protokol bernama oneM2M menggunakan ontologi |
| | Auditabilitas data | Kurangnya kompatibilitas di antara entitas untuk memproses, mentransfer, dan berbagi data | Pengelompokan kernel menggunakan RDMA dan DPDK |
| Heterogenitas | Ketimpangan data | Variasi dalam teknologi 5G dan IoT menimbulkan perhatian ekstra pada | Solusi yang diusulkan untuk manajemen mobilitas 5G HetNet berdasarkan |

| | | | |
|--------------------------------|--------------------------|--|---|
| | | data praproses Pengujian kumpulan data dan pemilihan fitur terganggu | prosedur paging, registrasi, dan akses |
| Sistem AI terintegrasi | Permintaan bandwidth | Memerlukan bandwidth tinggi untuk mengelola algoritme yang kompleks | Menyarankan kerangka kerja B5G yang mampu menjalankan fungsi bandwidth tinggi |
| | Biaya | Biaya pengoptimalan cenderung lebih tinggi karena penggunaan sejumlah besar data untuk pelatihan dan pengujian | Adaptasi berbiaya rendah yang dioptimalkan VNF untuk operasi AI diusulkan |
| Sistem terintegrasi Blockchain | Waktu pemrosesan | Memerlukan lebih sedikit struktur IoT 5G yang membutuhkan lebih sedikit sumber daya untuk mengurangi waktu pemrosesan keseluruhan | Integrasi blockchain berbasis kontrak pintar |
| | Privasi dan keamanan | Proses enkripsi untuk data 5G sulit dilakukan | Dikombinasikan dengan pembelajaran mendalam, kerangka kerja empat lapis berbasis blockchain diusulkan |
| | Skalabilitas penyimpanan | Rantai blok yang besar mengurangi skalabilitas penyimpanan | Memanfaatkan komputasi kabut dan peralatan manufaktur awan, kerangka kerja Hyperledger Fabric diperkenalkan |
| | Throughput | Lebih baik menggunakan blockchain pribadi dengan jumlah data yang lebih sedikit, tetapi IoT 5G memerlukan data besar yang meningkatkan biaya komputasi | Blockchain dengan VNF mengikuti algoritma konsensus baru |
| Spektrum | Masalah 5G mm-Wave | Kurangnya konsistensi antara perangkat yang mendukung LTE dan 5G. Dipengaruhi oleh kondisi cuaca | Desain antena diusulkan menggunakan pembentukan sinar hibrida untuk transmisi seluler |
| Standar perangkat | Protokol umum | Kurangnya protokol dan standar umum terlepas dari perangkat dan aplikasi | Sistem IoT berbasis ZigBee diusulkan untuk platform operasi multiperangkat |

| | | | |
|------------------|--|--|---|
| Ancaman keamanan | Serangan siber seperti serangan tingkat TCP, spoofing IP, dll. | Mengancam privasi data dan mengekspos sistem secara keseluruhan | Sistem deteksi malware berbasis jaringan saraf konvolusional diperkenalkan |
| Infrastruktur | Skalabilitas dan interoperabilitas jaringan | Keterbatasan perangkat keras dan teknologi canggih untuk menggabungkan 5G dengan IoT | Antena frekuensi ganda dengan daya frekuensi radio front-end, diplexer, dan triplexer dirancang |

Terlepas dari masalah yang disebutkan, akan ada lebih banyak kekurangan dan tantangan dalam sistem dan aplikasi IoT 5G. Oleh karena itu, hal ini akan memberikan arahan masa depan untuk sejumlah besar domain penelitian dan pengembangan.

Kesimpulan

Buku ini difokuskan pada peluang dan tantangan integrasi IoT 5G di beberapa domain aplikasi beserta kemungkinan solusinya. Jaringan 5G memiliki kemampuan untuk menghubungkan lebih dari 100 miliar perangkat dan bertukar data setidaknya 10 kali lebih cepat daripada LTE sehingga menghasilkan pengubah permainan dalam lingkungan IoT. Tujuannya adalah pengenalan arsitektur jaringan yang dapat diskalakan, terjangkau, dan efisien untuk IoT 5G yang menghubungkan sejumlah besar perangkat. Aplikasi IoT 5G di beberapa domain untuk meningkatkan efisiensi dapat menghadirkan banyak peluang sekaligus tantangan. Aspek arsitektur dan keamanan sangat perlu diperhatikan. Lebih jauh, produsen harus melakukan pengujian kualitas dan pemeliharaan untuk menjamin adopsi perangkat lunak dan perangkat keras masa depan guna menjalankan fungsinya dalam berbagai skenario. IoT 5G dapat memberikan manfaat ekonomi yang besar bagi perusahaan yang ingin merangkul dunia baru ini jika dipadukan dengan teknologi penting seperti keamanan cloud, kecerdasan buatan, dan komputasi jarak jauh. Dalam bab ini, kami mencoba menganalisis peluang ekosistem IoT terintegrasi 5G untuk memberantas kekurangan IoT dengan menjelaskan fitur-fitur 5G. Arsitektur IoT 5G juga menunjukkan bahwa ada banyak tantangan dan arah penelitian yang akan datang. Kami berharap ilustrasi ini akan memberikan wawasan menyeluruh dan menginspirasi pengembangan aplikasi IoT 5G.

BAB 12

KRIPTOGRAFI KEAMANAN DALAM JARINGAN SELULER 5G DAN B5G

5G adalah generasi kelima jaringan seluler pita lebar dan setelah 5G dapat muncul 6G, yang akan menjadi generasi keenam jaringan seluler pita lebar. Meskipun studi tentang 5G masih berkembang, 6G telah menjadi topik hangat bagi para peneliti seluler akhir-akhir ini. Perluasan di bidang 5G dan 6G masih dalam tahap awal karena masih banyak masalah yang perlu dipecahkan. Dari semua itu, keamanan transmisi data menjadi perhatian utama. Oleh karena itu, keamanan siber menjadi semakin penting bagi jaringan seluler ini. Buku ini difokuskan untuk memberikan gambaran umum yang mendalam tentang jaringan 5G dan B5G. Buku ini bertujuan untuk mengevaluasi wawasan layanan keamanan jaringan 6G dan menguraikan berbagai teknik keamanan data yang digunakan oleh jaringan 5G. Buku ini juga memberikan pengantar komputasi kuantum untuk kriptografi dan mengevaluasi berbagai teknik kriptografi pasca-kuantum. Terakhir, beberapa tren dan arah penelitian baru dalam korelasi keamanan jaringan 5G dan jaringan di luar 5G dicantumkan untuk memandu penelitian lebih lanjut di bidang tersebut.

12.1 PENDAHULUAN

Jaringan seluler yang juga dikenal sebagai jaringan seluler adalah jenis jaringan komunikasi yang menghubungkan node-node dari dan ke yang lain secara nirkabel. Jaringan seluler telah memainkan peran yang sangat penting dalam perkembangan umat manusia dan evolusi teknologi yang digunakan saat ini. Selain itu, jaringan seluler memainkan peran yang sangat signifikan dalam kehidupan sehari-hari individu saat ini, mulai dari panggilan telepon sehari-hari hingga penggunaan media sosial di jaringan seluler, jaringan seluler memainkan peran yang sangat penting. Seiring berjalannya waktu, jaringan seluler telah berevolusi dan masih terus berevolusi, dari 1G hingga 4G LTE saat ini, kemajuan menuju peluncuran komersial 5G dan kemudian melampaui 5G. Setiap penerus generasi jaringan seluler berevolusi sedemikian rupa sehingga memberi kita lebih banyak hal yang tidak dapat ditawarkan oleh pendahulunya. Dari 4 hingga 5G, ada perubahan besar, dari kecepatan transfer data yang tinggi hingga keamanan tingkat tinggi hingga konektivitas antara objek dan mesin. Komunikasi 5G telah diluncurkan secara resmi pada bulan Juli 2020, dan industri 5G yang terhubung diandalkan untuk mendorong kemajuan pesat komponen terkait komunikasi di dalam dan luar negeri. Saat ini, komunikasi 5G yang sedang beroperasi termasuk dalam pita frekuensi FR1, yang juga merupakan pita frekuensi sub-6 GHz. Pita frekuensi komunikasi tersebut sekitar 1 GHz lebih besar dari komunikasi 4G LTE. Namun, kemajuan desain komunikasi yang terhubung telah menyebabkan perbedaan yang luar biasa dalam perangkat keras komunikasi. Karena 5G masih belum keluar secara komersial, penelitian dan studi tentang di luar 5G yaitu 6G telah dimulai. Banyak negara telah bertujuan untuk meluncurkan teknologi 6G secara komersial pada tahun 2030. Seperti yang diharapkan, jaringan 6G akan mengoordinasikan komunikasi udara, air, dan terestrial menjadi jaringan yang kuat. Jaringan ini akan lebih cepat, solid, dan

dapat mendukung sejumlah besar gadget dengan prasyarat latensi super rendah. Di seluruh dunia, para peneliti mengusulkan kemajuan mutakhir sebagai teknologi utama dalam pengakuan komunikasi di luar 5G dan 6G. Beberapa teknologi ini adalah internet taktil, komunikasi seluler mal, kecerdasan buatan (AI) dan pembelajaran mesin (ML), komputasi tepi, komunikasi kuantum, dll.

Selain semua fitur dan manfaat ini, jaringan seluler rentan terhadap penyerang yang menyebabkan masalah keamanan dalam komunikasi. Dengan perubahan generasi jaringan seluler, fitur keamanannya juga berubah. Seiring berkembangnya jaringan seluler, mereka bekerja pada teknologi baru dan teknologi baru ini memerlukan fitur keamanan baru. Dengan kemajuan generasi, keamanan juga meningkat. Kriptografi, juga disebut sebagai fondasi sistem keamanan modern, banyak digunakan untuk keamanan sistem 5G dan di luar 5G. Banyak algoritma kriptografi yang berbeda digunakan untuk menyediakan kerahasiaan, autentikasi, dan integritas untuk jaringan nirkabel.

Sejauh ini, hanya penggunaan komputasi kuantum yang terbatas yang sedang dipelajari untuk jaringan 5G dan karena diharapkan bahwa 6G akan bekerja pada komputer kuantum yang menyediakan komunikasi kuantum bagi kita, penting untuk memperhatikan teknologi kuantum karena diharapkan akan menjadi masa depan komputasi. Komputer kuantum, yang disebut oleh banyak peneliti sebagai komputer yang tidak dapat diretas, telah terbukti menjadi pengganti terbaik untuk komputer klasik karena fitur keamanannya yang tinggi. Algoritma kriptografi pasca-kuantum akan digunakan untuk menjaga keamanan dalam perangkat, komunikasi, dan teknologi lainnya di masa mendatang.

Tujuan utama dari buku ini adalah untuk menyajikan konsepsi terbaru dari skenario terkini tentang fitur keamanan dan tinjauan jaringan 5G dan B5G. Kontribusi dari bab ini adalah sebagai berikut:

- Bab ini memberikan gambaran mendalam serta kemajuan terkini dalam jaringan 5G dan 6G.
Bab ini memberikan studi perbandingan tentang metodologi dan layanan keamanan yang terkait dengan jaringan B5G/6G.
- Bab ini menganalisis berbagai teknik keamanan data yang digunakan oleh jaringan seluler 5G.
- Bab ini menyoroti peran komputasi kuantum dalam mengamankan sistem seluler 5G dan B5G.
- Terakhir, bab ini mengevaluasi berbagai teknik kriptografi pascakuantum yang sesuai untuk jaringan 5G dan 6G.

Sisa bab ini disusun sebagai berikut. Bagian 12.2 memberikan gambaran mendalam tentang jaringan 5G dan 6G yang menyoroti fitur keamanan yang diharapkan akan disediakan. Bagian 12.3 membahas teknik keamanan data yang digunakan oleh jaringan 5G saat ini. Bagian ini menyoroti berbagai algoritma kriptografi dan teknik manajemen kunci yang digunakan oleh jaringan 5G. Bagian 12.4 didedikasikan untuk pengenalan komputasi kuantum dalam kriptografi untuk jaringan 5G dan B5G. Bagian ini memberikan gambaran umum tentang komputasi kuantum dan membahas berbagai atribut terkait. Lebih lanjut, Bagian. 12.5

menjelaskan berbagai skema kriptografi pascakuantum yang menyoroti latar belakang matematikanya. Akhirnya, kesimpulannya disajikan di Bab 12.6.

12.2 JARINGAN SELULER YANG MUNCUL

Telekomunikasi dan jaringan adalah beberapa teknologi utama yang bertanggung jawab atas evolusi umat manusia dan teknologi. Komunikasi nirkabel dan komunikasi seluler telah memainkan peran besar dalam kehidupan sehari-hari manusia. Dalam beberapa dekade terakhir, jaringan seluler nirkabel telah berevolusi dalam berbagai bentuk dari 1G hingga 4G LTE saat ini dan 5G di masa mendatang. Saat kita maju menuju peluncuran komersial 5G di seluruh dunia, kita akan diperkenalkan dengan kecepatan data tinggi hingga latensi rendah, bahkan kecepatan tinggi dan latensi rendah ini akan kalah jauh di depan kecepatan data super tinggi dan latensi sangat rendah di luar 5G (B5G)/6G.

Tinjauan Umum 5G

Dunia telah mengamati perkembangan pesat teknologi komunikasi seluler dalam beberapa tahun terakhir. Dari 2 ke 3G hingga 4G, teknologi komunikasi seluler telah maju dengan pesat. Standar teknologi seluler generasi kelima dikenal sebagai 5G. Ini adalah jaringan 4G berikutnya, yang menawarkan konektivitas di sebagian besar ponsel saat ini. Dibandingkan dengan pendahulunya, koneksi 5G memiliki bandwidth yang lebih luas yang pada akhirnya memberi kita kecepatan unduh yang luar biasa hingga 10–20 Gg/s, karena jaringan 5G berkecepatan tinggi ini akan memberikan persaingan yang sangat besar bagi penyedia layanan internet (ISP) laptop dan desktop seperti penyedia internet kabel. Mirip dengan pendahulunya, 5G juga bekerja pada sel yang berbeda. Sel hanyalah area geografis yang lebih kecil yang terbagi dari area layanan. Melalui antena lokal, perangkat 5G ini terhubung ke jaringan telepon dan internet. Menurut International Telecommunications Union Radio-communication Sector (ITU-R), 5G memiliki tiga aplikasi utama: Massive Machine Type Communications (mMTC), Enhanced Mobile Broadband (eMBB) dan Ultra Reliable Low Latency (URLLC). Sampai saat ini, hanya eMBB yang digunakan di dunia nyata. Ini memberikan kecepatan unduh yang lebih cepat karena menggunakan 5G sebagai pengembangan komunikasi 4G LTE yang memiliki kapasitas yang jauh lebih tinggi, koneksi yang lebih cepat, dan throughput yang lebih tinggi. URLLC akan digunakan untuk aplikasi atau perangkat yang sensitif terhadap latensi seperti operasi jarak jauh dan mengemudi otomatis, karena aplikasi ini memerlukan latensi yang sangat rendah dengan kesalahan yang lebih rendah dari satu paket. Sedangkan untuk mMTC, ini dapat mendukung massa koneksi yang tinggi dari perangkat daring.

Gambaran Umum Evolusi 6G/B5G

B5G (Beyond 5G) atau 6G akan menjadi generasi keenam dari standar teknologi seluler dan mungkin akan bekerja pada 6 GHz. 6G/B5G saat ini sedang dalam pengembangan dan sebagai penerus 5G, ia akan jauh lebih cepat daripada semua pendahulunya. Mirip dengan pendahulunya, ia akan menjadi jaringan pita lebar yang bekerja di bawah sel. Dibandingkan dengan kecepatan unduh 5G sebesar 10–20 Gb/s, 6G seharusnya memiliki kecepatan unduh sekitar 1 Tb/s. Latensi terendah yang dapat diperoleh jaringan 5G adalah dalam level milidetik

(ms) dibandingkan dengan pendahulunya, yang seharusnya memiliki latensi di bawah 1 ms. Kepadatan lalu lintas 10 Tb/s/km² dari 5G akan berkurang dibandingkan dengan kepadatan 1000 Tb/s/km² dari 6G. Efisiensi energi 6G akan menjadi 10 kali lipat dibandingkan dengan 5G. Dalam hampir setiap aspek, 6G akan lebih baik daripada jaringan 5G, baik itu efisiensi spektrum, persyaratan keandalan ujung ke ujung, penundaan pemrosesan, mobilitas, atau persyaratan penundaan radio saja. Seperti yang diharapkan, jaringan 6G kemungkinan akan mampu mendukung aplikasi atau perangkat di luar situasi saat ini bahkan di luar batasan 5G. Sistem jaringan 5G akan membuka gerbang kita lebih jauh lagi ke 4G dengan Augmented Reality (AR)/Virtual Reality (VR) dan kota pintar, tetapi dengan 6G kita akan diperkenalkan ke Internet of Everything (IoE), yang melampaui IoT, Edge AI, kota pintar yang mendukung AI, dan sebagainya.

12.3 TAKSONOMI SISTEM NIRKABEL 6G/B5G

Taksonomi untuk jaringan 6G mencakup pendorong utama, kasus penggunaan, skema ML yang muncul, teknologi komunikasi, teknologi jaringan, dan teknologi komputasi.

Pendorong Utama

6G menggunakan berbagai jenis teknologi untuk mengoperasikan dan menawarkan aplikasi yang berbeda. Penggerak utama 6G adalah Enkripsi Homomorfik, Blockchain, Radio Kognitif berbasis AI dan Fotonik, kecerdasan Edge, Network Slicing, Ubiquitous Sensing, dan Jaringan Terpadu Antariksa-Udara-Tanah (SAGIN). Dari semua Blockchain tersebut, Network Slicing, SAGIN, dan Ubiquitous Sensing dianggap sebagai penggerak utama (Khan et al. 2020). Blockchain hanyalah semacam basis data, yang membuatnya sulit atau bahkan tidak mungkin untuk mengubah, mengubah, atau meretas data. Pada dasarnya, blockchain akan memungkinkan jaringan 6G untuk bertukar sejumlah besar data dengan aman.

Dengan blockchain sebagai salah satu penggerak utama 6G, blockchain akan menghadapi beberapa kesulitan seperti konsumsi energi tinggi dan latensi tinggi. Network Slicing adalah proses pembuatan jaringan logis dan virtual pada infrastruktur fisik umum. Karena pembagian jaringan sudah diusulkan melalui teknologi 5G, cara kerja atau realisasinya yang sebenarnya akan ditunjukkan dalam 6G. SAGIN sebagaimana namanya terdiri dari jaringan komunikasi satelit, jaringan udara, dan jaringan darat. Beberapa keuntungan SAGIN adalah throughput yang tinggi, ketahanan yang jauh lebih baik daripada yang lain, dan area cakupan yang luas. Terakhir, penginderaan di mana-mana menggunakan informasi yang direkam melalui video untuk memungkinkan pengambilan keputusan yang cerdas dan penginderaan otomatis.

Kasus Penggunaan

Jaringan 5G menyediakan banyak aplikasi dari AR/VR hingga kota pintar. Secara umum, kasus penggunaan 5G dibagi menjadi tiga kelas utama: eMBB, mMTC, dan URLLC. Beberapa teknologi baru memerlukan lebih dari ini sehingga kasus penggunaan baru ditetapkan untuk koneksi 6G. Kasus penggunaan 6G selain 5G adalah: Layanan yang berpusat pada manusia, layanan berbasis komunikasi Holografik, Nano-Internet of things (N-IoT), Bio-Internet of things (B-IoT), Massive URLLC (mURLLC), komunikasi Haptics dan mobilitas tak berawak. Ada

kebutuhan untuk mengimplementasikan lebih banyak layanan yang berpusat pada manusia daripada 5G seperti antarmuka otak-komputer, yang menggunakan fisiologi manusia untuk mengukur kinerjanya. Layanan berbasis komunikasi holografik sepenuhnya didasarkan pada koneksi jarak jauh dengan akurasi super tinggi. Ini tidak dapat diperoleh dari jaringan 5G karena memerlukan kecepatan data yang lebih tinggi daripada yang dapat ditawarkan 5G. N-IoT dan B-IoT seperti namanya didasarkan pada komunikasi nanodevices dan biodevices melalui jaringan. Sama seperti 5G, jaringan 6G juga akan menggunakan URLLC tetapi dalam skala besar sehingga memiliki mURLLC. Berdasarkan URLLC, mURLLC menunjukkan aplikasi IoE. Pada dasarnya, URLLC 5G akan digabungkan dengan komunikasi tipe mesin masif. Terakhir, komunikasi Haptics adalah jenis komunikasi non-verbal yang bekerja dari tempat yang jauh dengan sentuhan yang memungkinkan.

Skema Pembelajaran Mesin yang Muncul

Pembelajaran Mesin (ML) dianggap memainkan peran penting dalam pengembangan dan pengoperasian jaringan 6G. Baru-baru ini, dalam beberapa tahun terakhir, ML telah menarik perhatian besar dalam berbagai aplikasi pintar mulai dari mobil self-driving hingga asisten suara. Mengenai 6G, ML tidak hanya diharapkan menyediakan aplikasi pintar tetapi juga transceiver pintar dan teknik serta skema kontrol akses pintar. Hal ini menjadikan ML sebagai pilar mendasar jaringan 6G. Untuk tujuan 6G, ML pada dasarnya dibagi menjadi tiga kategori: Pembelajaran terfederasi, Meta-pembelajaran dan Pembelajaran Mesin Kuantum. Untuk mengatasi tantangan proses ML asli, pembelajaran terfederasi baru-baru ini diadopsi. Pembelajaran terfederasi menerapkan ML melalui sarana terdistribusi dengan memungkinkan ML pada perangkat tanpa memindahkan data melalui perangkat akhir ke cloud. Meta-learning membantu model untuk belajar dengan desain yang kompleks. Quantum ML adalah kombinasi dari ML dan fisika kuantum, yang pada akhirnya menghasilkan kecepatan model yang cepat.

Teknologi Komunikasi

Komunikasi 6G akan menggunakan banyak teknologi komunikasi yang berbeda untuk menyediakan berbagai macam aplikasi pintar. Teknologi komunikasi yang akan digunakan jaringan 6G adalah komunikasi kuantum, komunikasi cahaya tampak, komunikasi terahertz, komunikasi nirkabel 3D, komunikasi holografik, dan komunikasi skala nano. Komunikasi kuantum adalah bidang komunikasi yang menggunakan dasar-dasar fisika kuantum dan komputasi kuantum untuk memberikan perlindungan pada data. Pada dasarnya, foton cahaya digunakan untuk transmisi data melalui kabel optik. Fitur keamanan komunikasi kuantum ini membuatnya cocok untuk jaringan 6G. Komunikasi cahaya tampak lengkap untuk VLC adalah jenis metode transmisi data, yang menggunakan cahaya tampak untuk transmisi data. Ia menggunakan spektrum cahaya tampak dari 430 hingga 790 THz. Transmisi data melalui sumber cahaya merupakan keunggulan utama VLC. Dengan penambahan pita mmWave seperti yang digunakan dalam jaringan 5G, 6G juga akan menggunakan komunikasi Terahertz. Komunikasi Terahertz juga merupakan jenis teknologi transmisi data nirkabel yang berbeda yang menyediakan ekstensi nirkabel berkecepatan sangat tinggi dari serat optik untuk jaringan 6G. Teknologi lain yang akan digunakan 6G adalah komunikasi skala nano, seperti namanya,

teknologi ini digunakan untuk komunikasi pada jarak level nano 1 m atau cm. Ia menggunakan panjang gelombang yang sangat pendek untuk transmisi data.

Teknologi Jaringan

Teknologi jaringan yang akan digunakan dalam jaringan 6G adalah bio-jaringan, jaringan 3D, jaringan nano, dan jaringan optik. N-IoT bergantung pada komunikasi molekuler agar berfungsi. Perangkat skala nanometer dapat dibuat dengan berbagai material, seperti grafena dan metamaterial. B-IoT adalah jenis teknologi IoT yang memanfaatkan sel biologis. B-IoT dan N-IoT tampaknya menjadi komponen penting dari layanan pintar 6G di masa mendatang, tetapi keduanya menghadapi sejumlah kendala implementasi. Desain teknologi lapisan fisik untuk komunikasi molekuler merupakan tugas yang sulit. Karena B-IoT dan N-IoT pada dasarnya berbeda dari IoT tradisional, algoritme perutean yang unik harus direncanakan selain teknik lapisan fisik. Demikian pula, model komunikasi 3D baru harus dikembangkan karena sifatnya berbeda dari jaringan komunikasi 2D.

Teknologi Komputasi

Karena sistem 6G akan mencakup berbagai macam aplikasi dan perangkat pintar yang berbeda, maka diperlukan juga berbagai jenis teknologi komputasi untuk menghasilkan data dalam jumlah yang sangat besar. Komputasi kuantum, komputasi performa tinggi, dan komputasi edge cerdas akan digunakan untuk analisis data tersebut. Komputasi kuantum dikatakan akan mengubah seluruh bidang komputasi dengan menyediakan kecepatan yang jauh lebih tinggi yang belum pernah kita alami sebelumnya. Faktor utama komputasi kuantum adalah keamanan yang disediakan. Untuk analisis dan komputasi dalam jumlah besar dari data yang sangat banyak, diperlukan komputasi performa tinggi. Selain itu, komputasi edge cerdas diperlukan untuk menyediakan kemampuan komputasi dan penyimpanan sesuai permintaan yang cerdas.

Tabel 12.1 Taksonomi Jenis B5G/6G

| Pendorong Utama | Kasus Penggunaan | Skema ML | Teknologi Komunikasi | Teknologi Jaringan | Teknologi Komputasi |
|--|---|---|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Enkripsi homomorfik • Rantai blok • Radio kognitif berbasis AI dan fotonik • Kecerdasan tepi • Pengirisan jaringan • Penginderaan di mana-mana • SAGIN | <ul style="list-style-type: none"> • eMBB • mMTC • URLLC | <ul style="list-style-type: none"> • Pembelajaran terfederasi • Meta-pembelajaran • Pembelajaran Mesin Kuantum | <ul style="list-style-type: none"> • Komunikasi kuantum • Komunikasi cahaya tampak • Komunikasi terahertz • Komunikasi nirkabel 3D • Komunikasi holografik • Komunikasi skala nano | <ul style="list-style-type: none"> • Jaringan biologis • Jaringan 3D • Jaringan nano • Jaringan optik | <ul style="list-style-type: none"> • Komputasi kuantum • Komputasi berperforma tinggi • Komputasi edge cerdas |

12.4 LAYANAN KEAMANAN DALAM JARINGAN NIRKABEL 6G/B5G

6G/B5G adalah teknologi baru dengan kasus penggunaan, fitur, dan arsitektur baru, yang juga menghadirkan kebutuhan untuk layanan keamanan baru. Pada dasarnya, ada empat layanan keamanan yang dibutuhkan untuk jaringan 6G, yaitu: Kerahasiaan, Ketersediaan, Autentikasi, dan Integritas.

Kerahasiaan

Kerahasiaan terdiri dari dua hal: privasi dan kerahasiaan data. Privasi membantu melindungi arus lalu lintas dari penyerang karena penyerang dapat mempelajari arus lalu lintas dan dapat mengidentifikasi informasi sensitif. Seperti 5G dan B5G, keduanya akan digunakan di berbagai aplikasi, banyak data pengguna akan dikaitkan dengan privasi mereka. Kerahasiaan data di sisi lain membatasi akses data hanya kepada pengguna yang berwenang dan mencegah kebocoran atau pengungkapan data kepada pengguna yang tidak berwenang. Enkripsi data digunakan secara luas untuk mengamankan kerahasiaan data dengan menghentikan pengguna yang tidak berlisensi mendapatkan informasi sensitif.

Ketersediaan

Ketersediaan seperti namanya mendefinisikan, sejauh mana beberapa data atau layanan tersedia atau dapat diakses. Pada dasarnya, ini memperkirakan kekuatan sistem atau jaringan. Serangan ketersediaan merupakan jenis serangan yang paling umum terjadi pada sistem atau jaringan. Denial of Service (DoS) merupakan jenis serangan ketersediaan yang paling umum. Dalam hal ini, layanan atau rangkaian layanan tertentu dibuat tidak dapat diakses oleh pengguna dengan membanjiri jaringan yang mengakibatkan layanan tersebut mogok. Karena sejumlah besar perangkat IoT dan IoE akan terhubung ke jaringan 6G, akan menjadi tantangan bagi jaringan untuk mencegah serangan ketersediaan seperti DoS dan Distributed Denial of Service (DDoS).

Autentikasi

Autentikasi terdiri dari dua jenis: Autentikasi pesan dan Autentikasi entitas. Autentikasi pesan memastikan bahwa pesan tersebut tidak diubah atau dimodifikasi, saat antara pengiriman dan penerima menerima pesan yang sama dengan yang dikirim pengirim. Di sisi lain, autentikasi entitas memastikan bahwa pihak pengirim atau penerima adalah pihak yang sama dengan yang mereka klaim dan bukan orang lain. 6G yang memiliki kecepatan data hingga 1 Tb/s dengan latensi sangat rendah akan memiliki autentikasi yang jauh lebih cepat dibandingkan dengan pendahulunya. Berbagai Perjanjian Kunci Terotentikasi (AKA) berbasis kunci publik diusulkan untuk keamanan yang lebih baik.

Integritas

Integritas berarti perlindungan terhadap modifikasi atau penghapusan informasi atau data yang tidak tepat. Autentikasi memastikan sumber pesan tidak diubah, integritas melindungi dari perubahan atau replikasi pesan oleh entitas yang tidak berwenang. Karena jaringan seluler ditujukan untuk semakin banyak konektivitas yang memudahkan kehidupan manusia dengan mendukung dan menghubungkan ke aplikasi yang digunakan oleh manusia dalam kehidupan sehari-hari, integritas data pengguna merupakan kebutuhan keamanan utama karena semakin banyak data pengguna yang digunakan. Keamanan integritas dapat

diberikan melalui autentikasi bersama entitas manajemen mobilitas (MME) dan peralatan pengguna (UE).

Teknik Keamanan Data untuk Jaringan Heterogen 5G

Seiring dengan semakin majunya era digital, muncul pula penyerang digital. Tidak ada jaringan yang aman dari penyerang siber. Keamanan data merupakan hal yang sangat penting. Oleh karena itu, banyak teknik keamanan data digunakan dalam jaringan 5G untuk menyediakan komunikasi data yang paling aman dan terjamin.

Berbagi Rahasia Secara Visual

Kriptografi adalah seni berbagi data secara rahasia. Berbagi rahasia secara visual yang juga dikenal sebagai kriptografi visual adalah metode berbagi data dengan mengenkripsi media visual seperti teks, gambar, dll. sedemikian rupa sehingga data akhir yang didekripsi berbentuk gambar visual. Dalam hal ini, data rahasia dibagi menjadi banyak bagian atau bagian yang berbeda, untuk dekripsi dan mendapatkan pesan rahasia, pengguna harus memiliki semua bagian dari gambar asli. Teknik ini memberikan keamanan yang tinggi karena semua bagian diperlukan dan bahkan jika satu bagian hilang, tidak ada informasi atau data dapat didekripsi. Keuntungan lain dari berbagi rahasia secara visual adalah memerlukan kompleksitas komputasi yang rendah.

Steganografi

Steganografi adalah metode untuk mengaburkan data atau pesan di dalam pesan atau berkas lain seperti berkas gambar, audio, atau video untuk menghindari tereksposnya data. Data diekstraksi oleh orang yang menjadi target penerima data. Untuk perlindungan yang lebih baik, steganografi digunakan dengan teknik enkripsi untuk menyembunyikan dan melindungi data. Pada dasarnya, steganografi bekerja dengan mengganti beberapa bagian berkas yang tidak berguna atau kosong dengan bit data yang akan disembunyikan. Ada lima jenis utama steganografi: Steganografi dalam gambar, video, audio, teks, dan jaringan. Tiga pendekatan yang paling banyak digunakan untuk steganografi adalah: Least Significant Bit (LSB), pemilihan sampul aman, dan teknik berbasis palet. Dalam LSB, bit yang tidak berguna dari berkas transporter diidentifikasi, yang kemudian diganti dengan data rahasia. Dalam pemilihan sampul aman, blok berkas pembawa dibandingkan untuk menemukan kecocokan sempurna untuk membawa data rahasia. Terakhir, dalam teknik berbasis palet, gambar digital digunakan. Pertama, data rahasia dienkripsi kemudian disembunyikan di antara palet gambar sampul yang luas. Dalam steganografi jaringan, data disembunyikan dalam protokol kontrol jaringan seperti UDP, TCP, dll.

Algoritma Kriptografi

Kriptografi adalah metode pengiriman data secara aman dari pengirim ke penerima dengan menggunakan tulisan rahasia. Data dikirim ke penerima dalam bentuk teks sandi, yang mana algoritma kriptografi digunakan untuk mengubah teks sandi menjadi teks sandi. Aplikasi utama algoritma ini adalah tanda tangan digital, enkripsi data, dan autentikasi.

Kriptografi Kurva Eliptik

Kriptografi kurva eliptik (ECC) adalah jenis metode kriptografi kunci publik atau kriptosistem yang didasarkan pada kurva eliptik matematis. ECC populer untuk membuat

kunci kriptografi yang lebih kecil, lebih cepat, dan lebih efisien. ECC memiliki semua properti yang dimiliki kriptosistem asimetris mulai dari enkripsi dekripsi hingga pertukaran kunci dan tanda tangan. ECC sebagian besar digunakan untuk enkripsi lalu lintas internet. Kunci Pribadi dalam ECC adalah nilai integer yang sebagian besar berupa integer 256-bit. Sementara kunci publik adalah koordinat kurva, titik-titik ini dikenal sebagai titik EC. Pembuatan kunci dalam ECC sangat sederhana dan mudah karena hanya integer acak dalam suatu rentang yang dibuat, integer apa pun dalam rentang tersebut dapat digunakan sebagai kunci pribadi yang valid. Ada overhead yang signifikan dalam ECC. Ukuran blok juga bergantung pada kunci di sini. ECC juga memberikan ketahanan terhadap otentikasi bersama dan serangan replay. ECC juga menyediakan analisis kesalahan diferensial. Selain itu, ECC juga menyediakan berbagai fitur berbeda seperti penyediaan kunci, pemantauan kunci, pemeliharaan dan pengelolaan kunci. ECC juga merupakan metode kriptografi yang tangguh dan dapat diskalakan. Berbagai algoritme digunakan oleh ECC seperti EdDSA dan ECDSA untuk tanda tangan digital, FHEMQV, X25519 dan ECDH untuk persetujuan kunci dan EEECC dan ECIES untuk enkripsi.

RSA

RSA merupakan singkatan dari Rivest-Shamir-Adleman. Ini juga merupakan jenis sistem kriptografi kunci publik yang digunakan untuk transmisi data yang aman. Ini adalah salah satu kriptosistem tertua. Sebagai kriptosistem kunci publik tradisional, ia dapat melakukan berbagai tugas seperti enkripsi, dekripsi, pertukaran kunci dan tanda tangan. Mirip dengan ECC, ini juga merupakan jenis kriptografi asimetris. Ukuran blok adalah 86 byte. Ada lebih sedikit overhead dalam kriptosistem RSA. Ini juga memberikan resistensi parsial terhadap otentikasi bersama dan serangan replay. Mirip dengan ECC, RSA juga menyediakan penyediaan kunci, pemantauan kunci, pemeliharaan dan pengelolaan kunci dan juga dapat diskalakan dan tangguh. RSA menyediakan analisis parsial dari kesalahan diferensial. Dalam RSA, kunci biasanya dibuat menggunakan dua bilangan prima besar. RSA digunakan dalam banyak layanan seperti VPN, peramban web, layanan email, dan banyak lagi layanan komunikasi lainnya. Dibandingkan dengan ECC, RSA lambat sehingga tidak digunakan secara langsung untuk enkripsi data.

Diffie-Helman

Diffie-Helman adalah teknik pertukaran kunci kriptografi secara aman. Ini adalah teknik pertama yang digunakan secara luas untuk pertukaran kunci melalui saluran yang tidak aman. Oleh karena itu, ini disebut pertukaran kunci Diffie-Helman. Karena dua organisasi atau pihak yang berbeda perlu bertukar kunci untuk komunikasi terenkripsi yang berhasil. Saluran antara pihak-pihak ini harus aman karena alasan keamanan yang umum, di sini pertukaran Diffie-Helman digunakan untuk pertukaran kunci antara dua pihak yang tidak dikenal atau dikenal dengan membentuk kunci rahasia bersama dalam saluran yang tidak pasti. Di sini overhead cipher signifikan. Diffie-Helman juga menunjukkan resistensi terhadap autentikasi bersama dan serangan replay hingga tingkat tertentu. Ukuran blok cipher di sini bervariasi, karena bergantung pada bilangan prima yang dipilih. Dibandingkan dengan ECC dan RSA, Diffie-Helman sebagian tangguh dan dapat diskalakan, dan juga menyediakan penyediaan kunci parsial, pemantauan kunci, pemeliharaan dan pengelolaan kunci.

ElGamal

ElGamal adalah jenis sistem enkripsi asimetris yang digunakan untuk kriptosistem kunci publik. Sistem ini didasarkan pada sistem pertukaran kunci Diffie-Helman. Sistem ini terdiri dari tiga bagian, yaitu algoritma pembuatan kunci, enkripsi, dan dekripsi. Kriptografi ini bergantung pada kesulitan menemukan logaritma diskrit di dalam grup siklik. ElGamal adalah jenis enkripsi probabilistik, artinya banyak cipherteks berbeda dari suatu plainteks dapat dihasilkan. Dibandingkan dengan RSA dan ECC, keduanya bekerja pada faktorisasi integer sementara ElGamal bekerja dengan logaritma diskrit. Ada sejumlah overhead sedang dalam ElGamal. Ukuran blok cipherteks bervariasi dan bergantung pada panjang kunci. Hal ini tidak menunjukkan ketahanan dan skalabilitas. Penyediaan kunci, pemantauan kunci, pemeliharaan dan pengelolaan kunci juga tidak ada di sini. Resistensi terhadap serangan replay dan otentikasi mutual tidak begitu efektif. Lebih jauh lagi, analisis kesalahan diferensial yang disediakan oleh ElGamal juga tidak begitu efektif.

DES

DES, kependekan dari Data Encryption Standard, adalah jenis metode kriptosistem simetris yang berarti memerlukan satu kunci untuk enkripsi dan dekripsi data. Metode ini didasarkan pada LUCIFER, cipher blok Feistel. Metode ini memiliki ukuran blok 64-bit. Di sini, blok cipherteks 64-bit diubah menjadi kunci 48-bit. Ada total 16 putaran enkripsi dalam DES dan setiap putaran mengeksekusi atribut penting kriptografi yaitu transposisi dan substitusi. Metode ini menawarkan alat penting dan generik untuk memberi tanda air pada video dan aliran digital untuk deteksi gangguan dan perlindungan terhadap serangan penyalinan tanda air. Ada sangat sedikit overhead cipherteks di sini. DES tidak dapat diskalkulasi atau tangguh dan tidak menyediakan analisis kesalahan diferensial, penyediaan kunci, pemantauan kunci, pemeliharaan dan pengelolaan kunci. Lebih jauh, DES tidak menunjukkan resistensi terhadap autentikasi mutual dan serangan replay. Karena masalah ini, ada kekhawatiran tentang keamanan dan kecepatan DES yang membuat pengguna beralih ke desain cipher blok yang lebih baru atau menggunakan kembali DES seperti Triple DES (TDES).

AES

AES adalah singkatan dari Advanced Encryption Standard. Mirip dengan DES, DES juga merupakan jenis sistem cipher blok simetris. DES terkenal karena penggunaannya oleh pemerintah AS untuk melindungi data rahasia. DES dikembangkan sebagai alternatif untuk DES. DES memiliki blok cipher 128-bit dan panjang kunci 128, 192, dan 256 bit. Overhead cipher juga perlu diperhatikan dalam AES. Sebagai penyempurnaan DES, DES memiliki resistensi terhadap autentikasi mutual dan serangan replay dan juga menyediakan analisis kesalahan diferensial bagi pengguna dan juga lebih cepat dan lebih andal. Ia juga menyediakan ketahanan dan skalabilitas parsial dengan manajemen dan penyediaan kunci, tetapi penyediaan kunci bergantung pada kecepatan komputasi sistem. Karena begitu banyak keuntungan dan keamanan yang tinggi, ia merupakan salah satu algoritma enkripsi paling populer yang digunakan saat ini, digunakan dalam banyak hal mulai dari keamanan nirkabel hingga peramban web (Tabel 12.2).

Tabel 12.2 Berbagai jenis algoritma kriptografi yang digunakan dalam jaringan 5G

| Fungsionalitas | ECC | RSA | Diffie-Hellman | ElGamal | DES | AES |
|--|-----------------------|--------|--|---|---------------|--|
| Ukuran blok | Tergantung pada kunci | 86 | Variabel bergantung pada bilangan prima yang dipilih | Variabel, tergantung pada panjang kunci | 64 bit | 128 bit |
| Jumlah kunci | 1/1 | byte | 1/1 | 1/1 | 1/1 | 3/3 |
| Beban overhead | Penting | 1/1 | Penting | Sedang | Sangat kurang | Penting |
| Ketahanan, skalabilitas, manajemen kunci, dan penyediaan | Ya | Kurang | Sebagian | Tidak | Tidak | Sebagian, penyediaan kunci bergantung pada kecepatan komputasi |
| Ketahanan terhadap autentikasi bersama dan serangan replay | Ya | Ya | Sampai batas tertentu | Tidak efektif | Tidak | Ya |

Manajemen Kunci

CKSM adalah singkatan dari Cryptographic Key Management System. Sistem ini digunakan untuk melindungi data kunci. Manajemen kunci, seperti namanya, adalah proses mengelola atau menangani kunci kriptografi di dalam kriptosistem. Pada dasarnya, manajemen kunci mencakup penyimpanan, pembuatan, dan pertukaran kunci sesuai kebutuhan pengguna.

Escrow Kunci

Escrow kunci adalah metode penyimpanan kunci yang diperlukan untuk mendekripsi data terenkripsi di dalam escrow. Escrow pada dasarnya adalah obligasi yang disimpan oleh pihak ketiga dan hanya digunakan jika kondisi tertentu terpenuhi. Dengan kata lain, escrow kunci tidak lebih dari sekadar proses penyimpanan kunci kriptografi. Karena melibatkan pihak ketiga, sistem escrow kunci tidak terlalu aman dan mengandung beberapa risiko. Selain itu, ada masalah lain yang terkait dengan hal ini seperti autentikasi bersama kedua belah pihak yang tidak selalu memuaskan dan escrow kunci juga menunjukkan beberapa masalah dengan enkripsi berbasis identitas.

Enkripsi Berbasis Identitas (IBE)

IBE adalah enkripsi berbasis kunci publik (PKE) yang menggunakan pengenal sebagai sumber enkripsi. Dalam hal ini, kunci publik pengguna adalah detail khusus tentang identitas pengguna. Di sini, kunci publik pengguna dibuat dengan kunci publik pihak ketiga. Demikian pula, kunci privat pengguna juga dihitung bersama dengan kunci privat pihak ketiga, sehingga aman karena tidak ada orang lain selain pihak ketiga yang dapat mengakses kunci privat pengguna. Pihak ketiga ini dikenal sebagai generator kunci privat (PKG).

Enkripsi Berbasis Atribut (ABE)

ABE juga merupakan jenis PKE di mana kunci rahasia dan teks sandi keduanya bergantung pada atribut seperti negara pengguna atau jenis layanan tertentu yang telah mereka daftarkan. Di sini, dekripsi teks sandi hanya mungkin jika atribut kunci pengguna cocok dengan teks sandi. ABE dibagi menjadi dua jenis berbeda, yaitu: Enkripsi berbasis atribut kebijakan kunci (KP-ABE) dan Enkripsi berbasis atribut kebijakan teks sandi (CP-ABE). Kunci rahasia pengguna dalam KP-ABE diproduksi oleh pohon akses yang menjelaskan hak istimewa pengguna dan mengenkripsi data melalui serangkaian atribut. Di sisi lain, CP-ABE mengenkripsi data menggunakan pohon akses dan kunci rahasia dienkripsi berdasarkan serangkaian atribut.

12.5 TINJAUAN DAN DASAR KOMPUTASI KUANTUM

Dalam istilah yang sederhana dan kausal, penggunaan komputer dikenal sebagai komputasi. Ada dua jenis utama komputasi: klasik dan kuantum. Klasik adalah komputasi yang kita semua gunakan dalam kehidupan sehari-hari. Lainnya adalah komputasi kuantum, yaitu jenis komputasi yang menggabungkan konsep ilmu komputer dan fisika kuantum. Komputasi kuantum masih merupakan bidang penelitian yang terus berkembang.

Arsitektur Komputasi Klasik Versus Komputasi Kuantum

Ada perbedaan besar antara komputasi klasik dan komputasi kuantum. Dengan peningkatan properti kuantum dalam komputer kuantum, perbedaan antara keduanya menjadi semakin besar.

Komputasi Klasik

Komputasi klasik yang juga dikenal sebagai komputasi biner adalah pendekatan tradisional dalam komputasi. Dalam komputasi klasik, informasi disimpan dalam bit. Semua kata, bilangan bulat, audio, video, gambar, semuanya direpresentasikan dalam bentuk bit. Bit-bit ini direpresentasikan dalam 0 atau 1. Informasi dipecah menjadi gerbang logika Boolean sederhana. Setiap gerbang logika dalam komputasi klasik menerima input sebagai 1 atau 2 bit dan sebagai output, ia memberikan bit baru sebagai hasilnya. Ada total tujuh gerbang logika dalam komputasi klasik, masing-masing menerima dan memberikan output dengan cara yang unik. Perhitungan dilakukan dengan mengatur gerbang logika secara khusus.

Komputasi Kuantum

Komputasi kuantum adalah jenis komputasi seperti namanya yang menggunakan sifat-sifat mekanika kuantum untuk memberikan lompatan besar atas komputasi klasik untuk memecahkan masalah dan kalkulasi. Komputer kuantum mengikuti pendekatan probabilistik untuk kalkulasi, yang berarti mereka memecahkan masalah pada hasil yang paling mungkin, secara bersamaan menggunakan beberapa dimensi lain. Dibandingkan dengan komputasi klasik yang menggunakan 0 dan 1 untuk merepresentasikan data, komputasi kuantum menawarkan banyak cara baru untuk merepresentasikan data. Dalam komputasi kuantum, bit kuantum digunakan. Bit kuantum ini dikenal sebagai qubit. Operasi yang terkandung dalam qubit sensitif dan tidak stabil, sehingga qubit memerlukan persyaratan yang sangat spesifik agar dapat bekerja dengan benar. Agar berfungsi secara efisien, qubit memerlukan vakum dan

suhu yang sangat mendekati nol mutlak. Selain itu, mereka tidak mengalami gangguan, yang ternyata sangat membingungkan saat bekerja pada elektron dan foton individu berskala nano. Untuk membedakan bit dan qubit, mari kita ambil contoh—karena komputer klasik menggunakan 8 bit untuk menunjukkan angka antara 0 dan 255, alih-alih bit, 8 qubit dapat mewakili semua angka antara 0 dan 255, itu juga secara bersamaan.

Komputasi kuantum menawarkan superposisi, yang karenanya antara 0 dan 1 ini, keadaan tak terbatas lainnya juga dapat hadir di sana. Dalam keadaan ini, ada jumlah qubit yang tak terbatas. Selain kuantum superposisi, komputer juga menawarkan fenomena berbasis mekanika kuantum lainnya seperti keterikatan kuantum. Ini adalah fenomena yang terjadi saat partikel dibuat. Ini adalah properti antara dua qubit atau lebih, yang memungkinkan qubit memiliki jumlah korelasi yang lebih tinggi satu sama lain. Properti-properti ini seperti superposisi, keterikatan kuantum, interferensi kuantum, teorema tanpa kloning, dan pengukuran destruktif tidak hadir dalam komputasi klasik. Oleh karena itu, membuat perbedaan besar antara komputasi kuantum dan komputasi klasik.

Representasi Matematis untuk Komputasi Kuantum

Dalam fisika kuantum, qubit bekerja berdasarkan spin qubit dan arah spin-nya. Secara matematis, penggunaan kalkulus tidak diperlukan untuk qubit. Oleh karena itu, konsep vektor sangat berguna untuk mendeskripsikan dan menganalisis spin qubit. Selain itu, dasar-dasar matriks juga digunakan untuk pengukuran spin qubit dalam beberapa kasus. Kemungkinan mendapatkan estimasi tertentu untuk spin, sejauh yang mungkin diperhatikan, dapat digambarkan dengan memanfaatkan probabilitas. Dengan cara ini, pemahaman tentang hipotesis probabilitas cukup berharga karena berhubungan dengan mekanika kuantum. Oleh karena itu, matriks, bilangan kompleks, vektor, dan probabilitas memainkan peran yang sangat besar dalam matematika dan kalkulasi komputasi kuantum. Keadaan nol dan satu dalam qubit disajikan oleh 0 dan 1, masing-masing. Keterikatan dua qubit dapat direpresentasikan sebagai:

$$|0\rangle \otimes |1\rangle = |01\rangle \quad (12.1)$$

Dalam komputasi kuantum, vektor direpresentasikan sebagai daftar angka. Satu qubit dianggap sebagai vektor dua dimensi. Dimensi vektor direpresentasikan sebagai baris, yaitu, dimensi vektor diberi label sebagai jumlah baris vektor. Representasi qubit dalam vektor adalah sebagai berikut:

$$|0\rangle : \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12.2)$$

$$|1\rangle : \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (12.3)$$

Saat berada dalam keadaan superposisi, qubit memiliki probabilitas 50–50% untuk menjadi nol dan satu. Untuk representasi matematis, mari kita ambil contoh superposisi:

$$\sqrt{2/3} \cdot |0\rangle + \sqrt{1/3} \cdot |1\rangle \rightarrow \begin{bmatrix} \sqrt{2/3} \\ \sqrt{1/3} \end{bmatrix} \quad (12.4)$$

Di atas, superposisi ditunjukkan di mana 0 memiliki probabilitas 2/3 dan probabilitas 1 adalah 1/3. Akar kuadrat ada di sana karena lingkaran satuan di mana jumlah probabilitas selalu satu dapat direpresentasikan oleh vektor.

Dampak Komputasi Kuantum pada Kriptografi Modern

Peningkatan pesat di bidang komputasi kuantum juga dapat mengganggu banyak organisasi besar dan kecil. Karena komputasi kuantum jauh berbeda dan lebih unggul daripada komputasi klasik dalam banyak aspek yang berbeda, ia memiliki beberapa dampak pada algoritma kriptografi yang dibuat untuk komputer klasik.

Kriptanalisis

Karena komputer kuantum diharapkan memberikan lompatan besar atas komputer klasik umum, akan sangat mudah bagi komputer kuantum untuk merusak keamanan yang diberikan kepada kita oleh metode kriptografi klasik. Dengan peluncuran komputer kuantum skala besar untuk orang-orang, malapetaka akan terjadi terkait dengan keamanan, karena mayoritas teknologi menggunakan algoritma kriptografi klasik. Algoritma komputasi kuantum terbukti efisien terhadap algoritma kriptografi simetris dan asimetris. Karena algoritma asimetris bergantung pada banyaknya waktu yang dibutuhkan oleh komputer klasik untuk memfaktorkan bilangan bulat besar demi keamanannya, hal ini dapat dengan mudah diatasi dengan menggunakan algoritma Shor. Di sisi lain, untuk menemukan kunci algoritma kriptografi simetris, komputer memerlukan sekitar $k/2$ operasi, dengan algoritma kuantum seperti algoritma \sqrt{N} Grover, waktu ini dapat dikurangi lebih lanjut menjadi k (k adalah ukuran kunci) operasi.

Dampak Keamanan

Kriptografi adalah salah satu teknik paling signifikan yang digunakan dalam teknologi modern untuk mengamankan komunikasi antara dua pengguna atau pengguna dan mesinnya. Karena algoritma kriptografi saat ini dianggap tidak aman dibandingkan dengan komputer kuantum, hal itu dapat menyebabkan dampak yang sangat buruk pada dunia digital. Untuk algoritme yang hanya digunakan untuk menegaskan integritas data yang dikirim, misalnya yang penggunaannya tidak memiliki pengaruh yang luas, tidak akan ada masalah besar, sejauh hingga algoritme baru dan aman diperkenalkan. Dibandingkan dengan algoritme pembentukan kunci dan algoritme enkripsi, di sini dampaknya akan sangat besar.

Algoritma Pengganti

Karena komputer kuantum ini akan memiliki dampak yang sangat merusak pada keamanan yang diberikan oleh algoritma kriptografi saat ini, banyak organisasi telah memulai pengembangan, penelitian, dan studi tentang algoritma dan standar kriptografi baru.

Mengenai algoritma kriptografi simetris, tidak ada teknologi dan kemajuan baru yang menjanjikan karena algoritma kriptografi simetris saat ini bekerja dengan menggunakan kunci 265-bit selain bergerak menuju penggunaan kunci yang lebih panjang untuk enkripsi. Mengenai algoritma kriptografi asimetris, ia bergantung pada faktorisasi bilangan bulat yang sangat besar. Telah terbukti mudah bagi komputer kuantum untuk memfaktorkan bilangan bulat yang sangat besar. Begitu banyak faktor lain yang juga perlu diperhatikan untuk pengembangan algoritma kriptografi asimetris baru, yang dapat menahan komputer kuantum. Banyak lembaga seperti ISO, NIST, IEC, dll. telah memulai pengembangan algoritma kriptografi asimetris yang tahan kuantum.

Algoritma Kuantum yang Mempengaruhi Kriptografi

Seperti yang dinyatakan di atas bahwa algoritma kuantum akan memiliki dampak yang signifikan pada sistem kriptografi saat ini. Baik itu algoritma kriptografi simetris atau asimetris, beberapa algoritma kuantum dengan bantuan komputer kuantum dapat dengan mudah melampauinya.

Algoritma Shor

Peter Williston Shor, pada tahun 1994, menciptakan sebuah algoritma untuk faktorisasi bilangan bulat yang dikenal sebagai algoritma Shor. Ini adalah algoritma komputer kuantum waktu polinomial. Dalam penelitiannya, ia mengusulkan bahwa faktorisasi besar bilangan bulat besar dapat dilakukan melalui komputer kuantum. Algoritma kriptografi modern seperti RSA memberikan keamanan atas dasar bahwa komputer klasik memiliki kecepatan komputasi yang lebih lambat untuk memfaktorkan bilangan bulat besar dan dapat memakan waktu yang sangat lama, pada dasarnya jutaan atau miliaran tahun untuk faktorisasi. Shor menjamin bahwa adalah mungkin untuk mengubah masalah faktorisasi ke masalah lain untuk menemukan waktu bilangan bulat $0 < x < N$. Fungsi periodik di mana $a \geq 0$, x merupakan bilangan bulat koprima terhadap N :

$$F(a) = x^a \text{ mod } N \quad (12.5)$$

Algoritma Shor bekerja sebagai berikut:

- Pertama, masalah faktorisasi diubah menjadi masalah pencarian periode: Karena periode adalah r dan bersifat periodik dengan $F(a)$

$$x^0 \text{ mod } N = 1 \quad (12.6)$$

Jadi,

$$x^r \text{ mod } N = 1 \quad (12.7)$$

Kemudian,

$$X^r = 1 \text{ mod } N \quad (12.8)$$

Secara matematis,

$$(x^{r/2} + 1)(x^{r/2} - 1) = 0 \pmod{N} \quad (12.9)$$

Persamaan berikut adalah kelipatan N

$$(x^{\frac{r}{2}} + 1)(x^{\frac{r}{2}} - 1) = 0 \quad (12.10)$$

Antara $(x^{r/2} + 1)$ dan $(x^{r/2} - 1)$ setidaknya salah satu dari ini harus memiliki faktor non-trivial yang sama dengan N, karena bukan kelipatan N.

Sekarang dapatkan faktor N menggunakan:

$$GCD((x^{\frac{r}{2}} + 1), N) \quad (12.11)$$

$$GCD((x^{r/2} - 1), N) \quad (12.12)$$

Di atas, FPB adalah singkatan dari Pembagi Persekutuan Terbesar.

- Sekarang, cari periode menggunakan Transformasi Fourier Kuantum. Inisialisasi qubit dalam superposisi dan hitung eksponensiasi modular. Sekarang, lakukan Transformasi Fourier Kuantum beberapa kali untuk mendapatkan hasil probabilistik yang baik. Transformasi Fourier Kuantum menggunakan amplifikasi amplitudo.
- Terakhir, temukan dengan menggunakan periode, temukan faktor-faktornya, setelah r dikenali. Dari:

$$GCD((x^{r/2} + 1), N) \quad (12.13)$$

$$GCD((x^{r/2} - 1), N) \quad (12.14)$$

Setidaknya, satu faktor dari persamaan ini akan menjadi faktor nontrivial dari N. Oleh karena itu, faktor tersebut ditemukan.

Anil Kuantum

Anil kuantum adalah proses untuk menemukan solusi yang paling efisien. Ini adalah proses yang digunakan untuk memecahkan masalah optimasi. Biasanya memberikan solusi energi rendah untuk aplikasi yang memerlukan energi paling sedikit dan yang lainnya memerlukan pengujian energi rendah yang hebat. Beberapa perusahaan menggunakan anil kuantum seperti IBM, Microsoft, D-Wave, dll.

Mengenai kriptografi, anil kuantum digunakan untuk memfaktorkan bilangan bulat menjadi bilangan prima, sama seperti algoritma Shor. Demikian pula, seperti algoritma Shor, ini dapat digunakan untuk memfaktorkan nilai bilangan bulat besar menggunakan komputer kuantum. Pendekatan anil kuantum adalah sebagai berikut:

Ambil $N = pq$, di sini p dan q adalah bilangan prima. Kedua bilangan prima ini dapat ditulis dalam bentuk biner sebagai,

$$p = 1 + \sum_{i=1..s_p} 2^i p_i \quad (12.15)$$

Dan,

$$q = 1 + \sum_{i=1..s_q} 2^i q_i \quad (12.16)$$

Jadi, fungsinya bisa jadi,

$$f(p_1, p_2, \dots, p_{s_p}, q_1, q_2, \dots, q_{s_q}) = (N - pq)^2 \quad (12.17)$$

Jika p_1, q_1 ditemukan yang nilai f -nya minimum atau 0, masalah faktorisasi terpecahkan. Untuk situasi seperti itu, pemanasan kuantum seperti D-Wave digunakan untuk menemukan nilai minimum.

Contohnya, misalkan,

$$N = 15 = pq \quad (12.18)$$

Dan biarkan penggambaran biner p memiliki 2 bit: $(x_1, 1)$ Jadi,

$$p(x_1, 1) = 2x_1 + 1 \quad (12.19)$$

Demikian pula,

$$q(x_2, x_3, 1) = 2^2x_2 + 2x_3 + 1 \quad (12.20)$$

Demikian pula, penggambaran biner dari bilangan prima akan selalu menganggap 1 sebagai bilangan yang paling tidak penting. Fungsi untuk meminimalkannya adalah f ,

$$f(x_1, x_2, x_3) = (N - pq)^2 \quad (12.21)$$

$$= (15 - (2x_1 + 1)(2^2x_2 + 2x_3 + 1))^2 \quad (12.22)$$

Selanjutnya selesaikan (x_1, x_2, x_3) dan kita akan mendapatkan faktor-faktornya.

Karena komputasi kuantum didasarkan pada pendekatan probabilistik, maka selalu penting untuk menjalankan algoritma ini beberapa kali untuk mendapatkan hasil probabilistik terbaik.

Algoritma Grover

Pada tahun 1996, Lov Grover menemukan algoritma pencarian kuantum yang disebut algoritma Grover. Algoritma ini digunakan untuk meningkatkan efisiensi pencarian data pada

basis data yang tidak terstruktur. Untuk basis data dengan jumlah item N dan kita ingin mencari item tertentu, komputer klasik akan membutuhkan operasi $N/2$ untuk menemukan item yang ditentukan pada kasus rata-rata dan pada kasus terburuk akan membutuhkan operasi N . Untuk komputer kuantum, waktu yang dibutuhkan untuk pencarian sangat sedikit karena hanya membutuhkan N operasi untuk menemukan item yang ditentukan.

Misalnya, kita harus menemukan item s dari himpunan S yang memiliki 2^n item di dalamnya. Menunjukkan setiap waktu dalam himpunan dengan angka,

$$x \in \{0, 1, \dots, 2^n - 1\} \quad (12.23)$$

Misalkan $f(x)$ adalah suatu fungsi yang di dalamnya $f(x)$ memeriksa item yang diperlukan dan memeriksa apakah item tersebut ada atau tidak,

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x = s \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12.24)$$

Untuk menghitung masalah dalam komputer kuantum, beberapa perubahan perlu dilakukan, seperti:

x diubah menjadi qubit, $x \rightarrow |x\rangle$

f diubah menjadi operator, $f \rightarrow \hat{\theta}$

Sekarang, $\hat{\theta}|x\rangle$ dapat direpresentasikan sebagai,

$$\hat{\theta}|x\rangle = \begin{cases} |x\rangle & \text{if } x = s \\ -|x\rangle & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12.25)$$

Secara sederhana dapat dituliskan sebagai berikut,

$$\hat{\theta}|x\rangle = (-1)^{f(x)}|x\rangle \quad (12.26)$$

Sekarang, kita dapat memodifikasi masalah tersebut dan mengatakan bahwa kita ingin menemukan qubit s dari himpunan qubit $S = \{|x\rangle : x \in \{0, 1, 2, \dots\}\}$.

Untuk menyelesaikan masalah di atas, kita harus mulai dari superposisi semua solusi yang mungkin:

$$|E\rangle = \frac{1}{\sqrt{2^n}} \sum_{x=0}^{2^n-1} |x\rangle \quad (12.27)$$

$|E\rangle$ berisi semua solusi termasuk $|s\rangle$. Ada $\frac{1}{2^n}$ kemungkinan bahwa E akan memberikan solusi yang dibutuhkan. Karena semua solusi memiliki amplitudo yang sama, kita harus memperbesar jumlah amplitudo untuk s di E . Untuk itu kita harus mengambil keadaan antara. Jadi, Mari kita ambil $|\psi_1\rangle$ sebagai keadaan antara.

$$|\psi_1\rangle = |E\rangle \quad (12.28)$$

$$= \hat{\theta}|E\rangle \quad (12.29)$$

$$= (2|E\rangle|E\rangle - 1)\hat{\theta}|E\rangle \quad (12.30)$$

Demikian pula,

$$|\psi_2\rangle = |\psi_1\rangle \quad (12.31)$$

$$= \hat{\theta}|\psi_1\rangle \quad (12.32)$$

$$= (2|E\rangle|E\rangle - 1)\hat{\theta}|\psi_1\rangle \quad (12.33)$$

Umumnya,

$$|\psi_1\rangle = ((2|E\rangle|E\rangle - 1)\hat{\theta})^l |E\rangle \quad (12.34)$$

Oleh karena itu, dengan setiap iterasi $|\psi\rangle$, amplitudo solusi juga meningkat.

12.6 KRIPTOGRAFI PASCA-KUANTUM

Kriptografi pasca-kuantum yang juga dikenal sebagai kriptografi tahan kuantum atau kriptografi tahan kuantum adalah jenis kriptografi yang dianggap melindungi kita dari serangan yang dilakukan melalui komputer kuantum. Kriptografi adalah salah satu teknik terpenting yang digunakan dalam teknologi modern untuk komunikasi aman antara dua pengguna atau pengguna dan mesinnya. Menurut beberapa survei, lebih dari 90% mata uang adalah digital, semuanya menggunakan konsep kriptografi untuk tujuan keamanan. Karena komputer kuantum adalah masa depan yang memungkinkan, komputer kuantum menawarkan keuntungan besar dan teknologi baru dibandingkan dengan komputer klasik. Komputer kuantum akan merusak infrastruktur komputasi saat ini dan teknik kriptografi saat ini tidak akan cukup kuat untuk melawannya. Oleh karena itu, kita akan membutuhkan teknik atau algoritma kriptografi baru untuk melindungi kita dari skenario seperti itu, di mana kita harus melindungi data kita dari peretas atau serangan yang berasal dari komputer kuantum. Badan Keamanan Nasional (NSA) AS telah beralih ke algoritma kriptografi pascakuantum karena tidak diketahui kapan komputer kuantum yang cukup kuat akan ada yang dapat memecahkan teknik kriptografi saat ini. Berbeda dengan kriptografi berbasis kuantum, kriptosistem pascakuantum bergantung pada beberapa masalah numerik yang tidak sulit untuk dipahami oleh penerima, tetapi lebih sulit bagi penyerang.

Pandangan Matematis

Ada berbagai teknik kriptografi tahan kuantum yang telah terbukti bekerja secara efektif untuk memberikan keamanan yang tidak dapat diberikan oleh skema kriptografi saat ini saat menghadapi komputer kuantum. Cara kerja teknik ini sangat bergantung pada latar belakang matematisnya.

Kriptografi Berbasis Kisi

Kriptografi berbasis kisi seperti namanya adalah jenis primitif kriptografi, yang menggunakan kisi untuk pembuatan algoritma kriptografi. Tidak seperti skema kriptografi umum, beberapa konstruksi berbasis kisi tampaknya, menurut semua catatan, kebal terhadap serangan oleh komputer tradisional dan kuantum. Selain itu, banyak pengembangan berbasis kisi dianggap aman dengan anggapan bahwa masalah kisi komputasional yang difokuskan secara menyeluruh tidak dapat ditangani secara efisien.

SVP (Shortest Vector Problem) adalah kriptosistem berbasis kisi yang banyak digunakan. Pembuatan kunci dalam SVP dilakukan:

$$(p, q, n, m), B \in \mathbb{Z}^{n \times m} \quad (12.35)$$

$$\text{The encryption is carried out by : } H_B : 1, \dots, d^m \rightarrow \mathbb{Z}_p^n \quad (12.36)$$

$$\text{The decryption of key is done by : } H_B(x) = B_x \text{ mod } p \quad (12.37)$$

DGS (Discrete Gaussian sampling) adalah jenis skema berbasis kisi lainnya. Pembuatan kunci dalam DGS dilakukan dengan menggunakan:

$$M \geq u^2 \times (QD^2Q^{-1}) = u^2(V.V^c), a \in \Lambda + Pc = (P - a_2) \quad (12.38)$$

Persamaan enkripsinya adalah:

$$a_2 \leftarrow D_{\Lambda_2 + P_2, \sqrt{M_2}} \quad (12.39)$$

$$a_1 \leftarrow D_{\Lambda_1 + P_1 - a_2, \sqrt{M_1 + a_2}} \quad (12.40)$$

$$M = (M_1 + M_2) > 0 \quad (12.41)$$

$$V_2 = \sqrt{M_2} \quad (12.42)$$

$$a_2 \rightarrow D_{\sqrt{M_2}} = V_2 \times S_1 \quad (12.43)$$

Dekripsi dilakukan dengan cara:

$$a = a_2 + (P + a_2) - V_1[V_1^{-1} \times (P - a_2)]u \quad (12.44)$$

$$a = a_2 + c - V_1[V_a^{-1} \times c]u \quad (12.45)$$

NTRU adalah sistem kriptografi lain yang berbasis pada kriptografi berbasis Lattice. Sistem kriptografi ini berbasis kunci publik. Pembuatan kunci dalam NTRU dilakukan dengan cara:

$$K \equiv pI_q \times J(\text{mod}q) \quad (12.46)$$

$$\text{Encryption of the data is done by : } C \equiv R \times K + M(\text{mod}q) \quad (12.47)$$

$$\text{Finally, the decryption of the data is done by : } u = I \times C(\text{mod}q) \quad (12.48)$$

$$u = I(RpI_qJ + M)(\text{mod}q) \quad (12.49)$$

$$u = [RpI_qJ + M](\text{mod}q) \quad (12.50)$$

$$v = I_pIM(\text{mod}q) = M \quad (12.51)$$

Kriptografi Multivariat

Kriptografi multivariat, seperti namanya, adalah primitif kriptografi yang menggunakan persamaan polinomial multivariat. Multivariat berarti banyak variabel. Kriptografi kunci publik multivariat memiliki susunan polinomial multivariat nonlinier.

$$p^{(1)}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij}^{(1)} \cdot x_i x_j + \sum_{i=j}^n \cdot x_i + P_0^{(1)} \quad (12.52)$$

$$p^{(2)}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij}^{(2)} \cdot x_i x_j + \sum_{i=j}^n \cdot x_i + P_0^{(2)} \quad (12.53)$$

$$p^{(n)}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij}^{(n)} \cdot x_i x_j + \sum_{i=j}^n \cdot x_i + P_0^{(n)} \quad (12.54)$$

Ukuran kunci publik kira-kira sekitar: $m \cdot \frac{n+d}{d}$.

Di sini d adalah derajat polinomial dalam persamaan. Sebagian besar waktu d diambil sebagai 2 untuk efisiensi yang lebih baik. Keamanan sistem didasarkan pada masalah:

Polinomial kuadrat multivariat $p^{(1)}(x), \dots, p^{(m)}(x)$ Sekarang kita harus menemukan vektor $\bar{x} = \bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n$ sehingga $p^1(\bar{x}) = p^{(m)}(\bar{x})$.

Masalah ini akhirnya menjadi NP-keras dan sistem penyelesaian polinomial multivariat ditunjukkan sebagai NP-lengkap. Inilah alasannya mengapa hal ini dipandang sebagai pesaing yang baik untuk kriptografi pasca-kuantum. Masalah yang disebutkan di atas seharusnya sulit untuk komputer klasik maupun kuantum. Untuk konstruksi kriptosistem multivariat, biarkan F menjadi kuadrat yang dapat dibalik secara efektif sehingga,

$$\mathcal{F} : \mathbb{F}^n \rightarrow \mathbb{F}^m \quad (12.55)$$

Dua peta linier yang dapat dibalik,

$$\mathcal{S} : \mathbb{F}^m \rightarrow \mathbb{F}^m \quad (12.56)$$

$$\mathcal{T} : \mathbb{F}^n \rightarrow \mathbb{F}^n \quad (12.57)$$

Kunci publik akan menjadi,

$$\mathcal{P} : \mathcal{S} \circ \mathcal{F} \circ \mathcal{T} \quad (12.58)$$

Kunci pribadi akan menjadi,

$$\mathcal{S}, \mathcal{F}, \mathcal{T} \quad (12.59)$$

\mathcal{F} digabungkan dengan \mathcal{T} dan \mathcal{S} dan tersembunyi dengan baik dalam kunci publik. Jika kunci publik adalah \mathcal{P} , temukan peta linear $\bar{\mathcal{S}}$ dan $\bar{\mathcal{T}}$ serta peta kuadrat $\bar{\mathcal{F}}$ yang dapat dibalikkan secara sederhana sehingga $\mathcal{P} : \bar{\mathcal{S}} \circ \bar{\mathcal{F}} \circ \bar{\mathcal{T}}$.

Enkripsi akan menjadi:

$$w = \mathcal{P}(z) \quad (12.60)$$

$$z \in \mathbb{F}^m \quad (12.61)$$

$$w \in \mathbb{F}^m \quad (12.62)$$

Di sini, z adalah pesan dan dekripsi dilakukan dengan:

$$x = \mathcal{S}^{-1}(w) \quad (12.63)$$

$$y = \mathcal{F}^{-1}(x) \quad (12.64)$$

$$z = \mathcal{T}^{-1}(y) \quad (12.65)$$

Dan $m \geq n$, karena memastikan bahwa ciphertext hanya memiliki satu kemungkinan teks biasa.

Kriptografi Berbasis Hash

Kriptografi berbasis hash adalah primitif kriptografi yang menggunakan fungsi hash untuk keamanan pesan. Saat ini kriptografi berbasis hash digunakan untuk pembuatan tanda tangan digital. Kriptografi ini digunakan di hampir semua algoritma tanda tangan digital. Algoritma kriptografi berbasis hash adalah sebagai berikut.

Misalkan H adalah fungsi hash sehingga,

$$\mathcal{H} : \{0, 1\}^* \rightarrow \{0, 1\}^n \quad (12.66)$$

Buat 2 string acak X_0 dan X_1

$$S = (X_0, X_1) \quad (12.67)$$

Di sini S adalah kunci rahasia. Biarkan P menjadi kunci publik,

$$P = (\mathcal{H}(X_0), \mathcal{H}(X_1)) \quad (12.68)$$

Sekarang kunci publik telah dipublikasikan. Sekarang untuk menandatangani bit, katakanlah 0, penanda tangan harus membuat string X_0 menjadi publik. Kemudian, pemeriksa akan menghitung $H(X_0)$ dan mencocokkannya dengan nilai kunci publik. Demikian pula, untuk menandatangani bit 1, penanda tangan harus membuat string X_1 menjadi publik, kemudian pemeriksa perlu menghitung $H(X_1)$ dan mencocokkan nilainya dengan kunci publik. String bit dengan panjang b , untuk penandatangananinya, kunci rahasia akan dibuat oleh penanda tangan dengan panjang $2b$.

$$S = (X_{10}, X_{11}, X_{20}, X_{21}, \dots, X_{m0}, X_{m1})$$

Kunci publiknya adalah:

$$P = (\mathcal{H}(X_{10}), \mathcal{H}(X_{11}), \dots, \mathcal{H}(X_{m0}), \mathcal{H}(X_{m1}))$$

Beberapa skema kriptografi berbasis hash adalah versi terbaru dari XMSS, tanda tangan Lamport, SPHINCS, dan skema tanda tangan Merkle.

Kriptografi Berbasis Kode

Kriptografi berbasis kode menggunakan algoritma deteksi dan koreksi kesalahan untuk keamanan. Dalam hal ini, kesalahan digunakan untuk mengenkripsi pesan dan untuk dekripsi, kesalahan dihilangkan dari pesan. Saat memindahkan data, setidaknya satu atau beberapa bit mungkin tergeser. Untuk memulihkan pesan asli, deteksi dan koreksi kesalahan digunakan. Kode koreksi kesalahan linier adalah skema kriptografi berbasis kode yang banyak digunakan karena dapat juga digunakan untuk membuat fungsi satu arah. Masalah decode jarak terbatas adalah sebagai berikut:

Kode linier:

$$C \subseteq F_2^n$$

$$y \in F_2^n$$

$$t \in \mathbb{N}$$

Dalam kode linier ini, kita harus menemukan,

$$x \in C \text{ such that } \text{dist}(x, y) \leq t$$

Masalah ini terbukti sebagai masalah NP-Lengkap. Skema enkripsi McEliece dapat digunakan sebagai solusi yang mungkin untuk masalah yang disebutkan di atas. Dalam skema ini, pengirim menambahkan kesalahan dalam pesan dengan bantuan kunci publik penerima. Kesalahan ditambahkan sedemikian rupa sehingga hanya penerima yang dapat menemukan dan memperbaikinya karena mereka memiliki kunci pribadi.

Secara matematis, mari kita ambil S , G dan P sebagai matriks di atas F . G di sini adalah matriks generator untuk kode Goppa. Kode-kode ini digunakan untuk koreksi kesalahan secara efisien. Jadi, kunci publik adalah

$$G' = S \circ G \circ P, t \quad (12.69)$$

Dan kunci rahasia,

$$P, S, G \quad (12.70)$$

Enkripsi dapat dilakukan dengan,

$$c = mG' + z \in F^n \quad (12.71)$$

Di sini, pesan dikalikan menggunakan kunci publik penerima dan z adalah kesalahan yang telah ditambahkan. Sekarang untuk dekripsi,

$$x = cP^{-1} = mSG + zP^{-1} \quad (12.72)$$

Begitulah cara penerima mendeteksi dan mengoreksi kesalahan.

Analisis Pasca-Kuantum

Penganalisan terhadap keamanan sistem 5G dan B5G di era pasca-kuantum merupakan suatu keharusan. Sistem 5G akan berdampak besar pada skema keamanannya karena mengikuti kriptografi modern/klasik. USIM dan pengenalan unik 5G, yaitu Subscription Permanent Identifier (SUPI) akan sangat memengaruhi karena keduanya akan menjadi fokus para penyerang. Sedangkan untuk jaringan B5G atau 6G, komputer kuantum tidak akan banyak berpengaruh saat ini karena jaringan ini akan menggunakan pendekatan komputasi kuantum untuk pengembangan. Oleh karena itu, menyediakan keamanan di era pasca-kuantum.

Autentikasi dan Pembentukan Kunci

Di era pasca-kuantum, sistem 5G akan sangat rentan. Jika penyerang mengganggu pasangan pesan respons autentikasi dan permintaan autentikasi yang cocok dari autentikasi dan perjanjian kunci, kedua pesan tersebut akan membawa nilai 128-bit. Untuk memecahkannya, algoritme Grover dapat digunakan karena akan mengurangi waktu hingga hanya 264 operasi. Ini dapat memberikan cukup data kepada penyerang tentang kunci USIM. Lebih jauh lagi, jika SUPI jaringan juga ditemukan, hal itu dapat menyebabkan kloning seluruh USIM. Mengenai jaringan B5G atau 6G, studi masih berlangsung dan sejauh ini, jaringan ini

seharusnya berfungsi dengan baik di era pasca-kuantum karena jauh lebih unggul dibandingkan dengan pendahulunya dan langkah-langkah keamanan yang lebih tinggi.

Enkripsi Simetris dan Perlindungan Integritas

Dalam kasus enkripsi simetris, ketika penyerang menyela lalu lintas yang dikirim melalui jaringan, ia mendapatkan alamat MAC 32-bit beserta unit data protokol terenkripsi. Dengan menggunakan informasi ini, serangan dapat dimulai, meskipun akan lebih sulit dibandingkan ketika penyerang memiliki pesan autentikasi dan persetujuan kunci. Di sini, penyerang juga perlu mengetahui informasi lain seperti plaintext, ciphertext, dan nilai counter. Dengan demikian, karena banyaknya komplikasi ini, melakukan serangan menggunakan informasi autentikasi dan pesan persetujuan kunci jauh lebih mudah dibandingkan dengan melakukan serangan dengan mencegat lalu lintas jaringan.

Enkripsi Asimetris

Mengenai keamanan enkripsi asimetris, enkripsi ini digunakan untuk melindungi identitas permanen peralatan pengguna, yang dalam kasus 5G adalah SUPI. Biasanya, USIM menyimpan kunci publik jaringan rumah yang dapat diperoleh menggunakan peralatan pengguna. Seperti yang dinyatakan di atas bahwa algoritma Shor telah terbukti menghancurkan skema kriptografi asimetris modern dengan mudah, kunci privat dapat dengan mudah ditemukan hanya dengan mengetahui kunci publik di era pascakuantum. Hal ini dapat menyebabkan ancaman dengan membatalkan layanan kerahasiaan identitas seluler di semua USIM yang memiliki kunci publik.

Kesimpulan

Sebagai ilmu pengetahuan yang terus berkembang tentang jaringan 5G dan setelahnya, terbukti bahwa jaringan ini merupakan teknologi masa depan yang dapat merevolusi kehidupan kita sehari-hari. Sistem 5G akan membuka gerbang menuju teknologi baru seperti AR/VR dan kota pintar. Lebih jauh lagi, Internet of Everything (IoE) yang melampaui IoT, Edge AI, kota pintar yang mendukung AI, dan sebagainya akan dihadirkan kepada kita melalui jaringan 6G atau setelahnya, yang menghasilkan perubahan total cara hidup manusia. Dengan fungsionalitas ini, sistem jaringan juga akan memerlukan standar keamanan data yang tepat. Dengan menerapkan teknik keamanan yang tepat ke dalam jaringan seluler, pengguna dapat merasa yakin tentang keamanan, dan teknologi jaringan seluler masa depan ini akan menjadi teknologi komunikasi yang luar biasa. Dalam buku ini, evolusi jaringan 5G dan 6G dibahas. Lebih jauh, buku ini membahas taksonomi yang digunakan dalam jaringan 6G, layanan keamanan yang disediakan oleh jaringan 6G, dan metode keamanan data yang digunakan dalam jaringan 5G seperti steganografi, RSA, AES, dll. Lebih jauh, buku ini menjelaskan arsitektur komputer kuantum dan menyajikan latar belakang matematika dari berbagai skema kriptografi kuantum. Terakhir, karya ini menjelaskan algoritma kriptografi pasca-kuantum seperti kriptosistem berbasis kisi, kriptografi berbasis kode, dll.

BAB 13

SKALABILITAS EFISIENSI ENERGI DAN JARINGAN SELULER PADA IOT

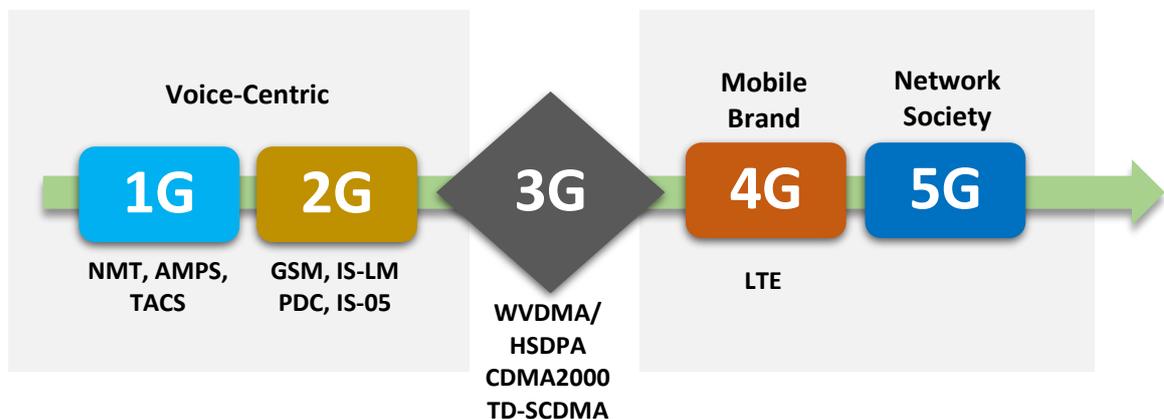
Perluasan jaringan seluler yang signifikan telah meningkatkan potensinya untuk mendukung berbagai kasus penggunaan di luar tujuan awalnya untuk menyediakan akses pita lebar. Salah satu perkembangan tersebut adalah penggunaan jaringan seluler untuk mendukung Internet of Things (IoT), yang disebut IoT Seluler (CIoT). Pertumbuhan CIoT merupakan tren penting dalam evolusi jaringan seluler, yang mengarah pada keadaan ekosistem yang lebih luas dan lebih komprehensif. Evolusi bisnis IoT yang luas mengubah sektor yang beragam, termasuk kesehatan, kota pintar, keamanan, dan pertanian. Namun demikian, skala besar dengan karakteristik dan kasus penggunaan yang sangat berbeda berjuang dengan tantangan konektivitas karena fitur lalu lintas unik IoT masif dan kepadatan perangkat IoT yang luar biasa. Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi hambatan kritis yang menghalangi penyebaran IoT secara luas melalui jaringan seluler dan menyarankan algoritma inovatif untuk menguranginya secara efektif. Kami menemukan bahwa tantangan utama berkisar pada tiga area spesifik: pengaturan koneksi, manajemen sumber daya jaringan, dan konsumsi energi. Dalam hal ini, kami menyelidiki integrasi Massive Machine-Type Communication (mMTC) ke dalam jaringan seluler, dengan fokus pada kinerja Narrowband IoT (NB-IoT) dalam mendukung mMTC.

13.1 PENDAHULUAN

Jaringan komunikasi nirkabel telah berdampak signifikan pada berbagai aspek kehidupan kita, termasuk perawatan kesehatan, jaringan profesional, dan akses informasi. Selama beberapa dekade terakhir, jaringan ini telah berevolusi dari mahal menjadi meluas dan dapat diakses oleh banyak orang. Pengembangan jaringan seluler sangat revolusioner, yang mengarah pada munculnya kasus penggunaan dan tantangan baru. Ada empat generasi jaringan seluler (1G–4G) yang ditunjukkan pada Gambar 13.1, dan generasi kelima baru-baru ini diperkenalkan. Generasi pertama dan kedua terutama difokuskan pada komunikasi berbasis suara. Generasi pertama dan kedua jaringan seluler ditujukan untuk melakukan operasi yang berpusat pada suara. Sedangkan generasi ketiga dan keempat jaringan seluler melibatkan paket data dengan kecepatan dan frekuensi data baru. Setiap generasi baru jaringan seluler telah dibangun di atas layanan generasi sebelumnya dan telah mengalami kemajuan teknologi yang signifikan. Namun, satu kelemahan dari empat generasi pertama adalah bahwa desain komunikasi mereka terutama difokuskan pada layanan yang berpusat pada manusia. Dengan kata lain, empat generasi pertama jaringan seluler dikembangkan terutama untuk mendukung komunikasi suara dan data antar individu. Sementara jaringan ini telah berevolusi untuk menawarkan kecepatan yang lebih tinggi dan fitur yang lebih canggih, desain dasarnya tetap berpusat pada kebutuhan komunikasi manusia. Dengan munculnya jaringan seluler generasi kelima, ada penekanan yang lebih besar pada perancangan jaringan untuk mendukung berbagai kasus penggunaan yang lebih luas, termasuk komunikasi

antarmesin dan Internet of Things (IoT). Sebelum 5G, konsentrasi jaringan seluler adalah untuk memberikan lebih banyak layanan kepada pengguna manusia (Liberg et al. 2017). Internet of Things (IoT) telah muncul sebagai revolusi teknologi yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. IoT mengacu pada interkoneksi banyak perangkat yang tertanam dalam objek sehari-hari, yang memungkinkan mereka untuk mengakses internet dan berbagi data tanpa memerlukan campur tangan manusia. Ide ini mewujudkan konsep bahwa segala sesuatu saling terhubung. Perangkat pintar apa pun dapat terhubung ke internet melalui benda fisik seperti mesin, perangkat, dan kendaraan.

Perangkat IoT dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk perawatan kesehatan, pertanian, keamanan, kota pintar, otomasi industri, dan kendaraan otonom. Aplikasi baru bermunculan setiap hari, yang menunjukkan potensi besar teknologi ini. Pertumbuhan IoT telah menghasilkan pengembangan model bisnis baru dan peluang untuk inovasi.



Gambar. 13.1 Generasi seluler

Dengan meningkatnya penggunaan perangkat yang terhubung, IoT akan menjadi bagian integral dari kehidupan kita sehari-hari di tahun-tahun mendatang. Keragaman aplikasi IoT ini telah menyebabkan kebebasan yang luar biasa bagi pengguna, dan baru-baru ini kita telah melihat peningkatan yang sangat besar dalam jumlah mereka. Perangkat masif telah diterapkan, dan jumlah ini diperkirakan akan segera bertambah, dengan prediksi yang melaporkan bahwa sebagian besar perangkat IoT yang setara, yaitu 29 miliar, akan berfungsi pada tahun 2023 (Laporan Mobilitas Ericsson). Untuk beradaptasi dengan persyaratan baru untuk konektivitas perangkat guna lebih membantu IoT, jaringan seluler sebelumnya harus direstrukturisasi.

Bab ini akan berfokus pada mengidentifikasi masalah inti yang membatasi implementasi IoT melalui jaringan seluler dalam skala besar dan solusi baru untuk mengatasinya. Sebagian besar masalah muncul dalam tiga aspek berbeda, yaitu, pembentukan koneksi, pemanfaatan sumber daya jaringan, dan efisiensi. Dalam konteks ini, kami meneliti penahanan Komunikasi Tipe Mesin Masif (mMTC) ke dalam jaringan seluler. Selain itu, kinerja Narrowband-IoT (NB-IoT) dalam jaringan seluler akan ditingkatkan.

Bab ini dibagi menjadi beberapa bagian. Pertama, kami memberikan gambaran umum tentang pekerjaan terkait di bagian “Tinjauan Pustaka”. Selanjutnya, di bagian “Narrowband-Internet of Things (NB-IoT)”, kami membahas Narrowband-Internet of Things (NB-IoT) dan menjelaskan Power Saving Mode (PSM) dan Extended Discontinuous Reception (eDRX). Kami kemudian menyajikan metodologi dan analisis kinerja kami di bagian “Metodologi”. Hasil validasi untuk algoritma yang diusulkan dan model NB-IoT analitis disediakan di bagian “Hasil” dan bagian “Pembahasan”. Terakhir, kami menawarkan kesimpulan dan menguraikan pekerjaan mendatang di bagian “Kesimpulan”.

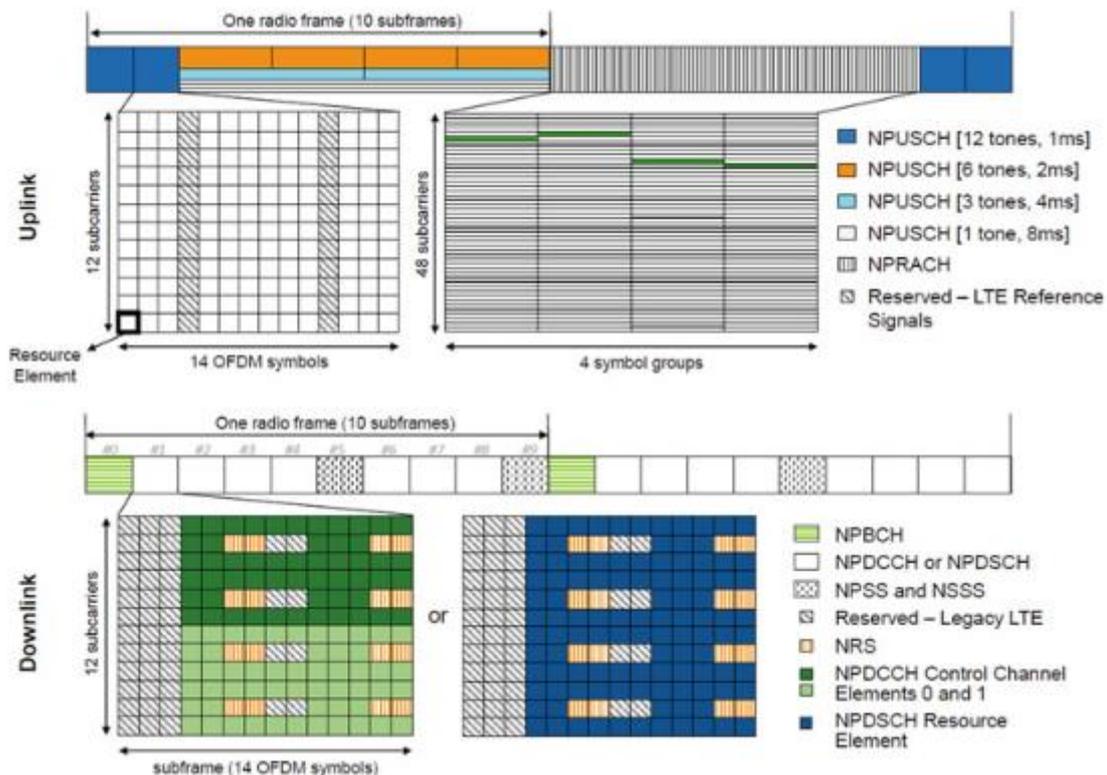
13.2 NARROWBAND-INTERNET OF THINGS (NB-IOT)

NB-IoT adalah teknologi radio Low Power Wide Area Network (LPWAN) yang dilisensikan dan dirancang untuk meningkatkan jangkauan dalam ruangan bagi banyak perangkat IoT berbiaya rendah, berkemampuan rendah, dan berdaya rendah. Teknologi ini menghilangkan fitur konektivitas dan mobilitas ganda, yang selanjutnya mengurangi biaya perangkat. Saat ini, dua teknologi IoT seluler yang signifikan adalah NB-IoT dan LTE-M, yang menargetkan kasus penggunaan IoT. NB-IoT dirancang untuk melayani UE Machine-Type Communication (MTC) berbiaya rendah dengan konsumsi daya yang lebih rendah dan area jangkauan yang lebih tinggi daripada UE Enhanced Mobile Broadband (eMBB) konvensional. Hal ini dicapai dengan memanfaatkan sebagian kecil spektrum, desain antarmuka radio yang berbeda, dan fungsi jaringan LTE yang disederhanakan.

NB-IoT adalah teknologi akses radio 3GPP baru yang sebagian kompatibel dengan jaringan seluler generasi sebelumnya, yang berarti perangkat yang ada tidak dapat langsung menggunakannya. NB-IoT telah dirancang agar kompatibel dengan jaringan seluler generasi sebelumnya, memanfaatkan desain lapisan fisik yang ada secara luas untuk koeksistensi dengan desain lama.

Saluran fisik NB-IoT memanfaatkan jaringan seluler yang menarik untuk cakupan yang luas yang memungkinkan koeksistensi dan interoperabilitas yang lancar. NB-IoT adalah teknologi half-duplex dan mendukung transmisi OFDMA di downlink dan transmisi SCFDMA di uplink, mirip dengan 4G. Teknologi ini memerlukan bandwidth saluran minimum 180 kHz, setara dengan satu Physical Resource Block (PRB). Ini berarti UE tidak perlu mendengarkan DL saat mentransmisikan di UL dan sebaliknya, terlepas dari mode penyebaran. Gambar 13.2 mengilustrasikan desain subframe NB-IoT, yang mendukung operasi half-duplex dan menggunakan transmisi OFDMA di downlink dan transmisi SCFDMA di uplink. Teknologi ini memerlukan lebar pita saluran minimum 180 kHz, setara dengan satu Physical Resource Block (PRB). Saluran fisik yang ditetapkan dalam standar NB-IoT mencakup Narrowband Physical Broadcast Channel (NPBCH), yang digunakan untuk menyiarkan informasi induk untuk akses keteraturan (yaitu, Master Information Block atau MIB), Narrowband Physical Downlink Control Channel (NPDCCH) untuk informasi penjadwalan uplink dan downlink, Narrowband Physical Downlink Shared Channel (NPDSCH) untuk data khusus dan standar downlink, Narrowband Physical Random-Access Channel (NPRACH) untuk data khusus dan standar uplink, dan Narrowband Physical Uplink Shared Channel (NPUSCH) untuk data uplink. Saluran

NPUSCH memiliki dua format: format NPUSCH 1 untuk transmisi data UL dan format NPUSCH 2 untuk umpan balik Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) untuk NPDSCH.



Gambar 13.2 Multiplexing waktu saluran fisik in-band NB-IoT

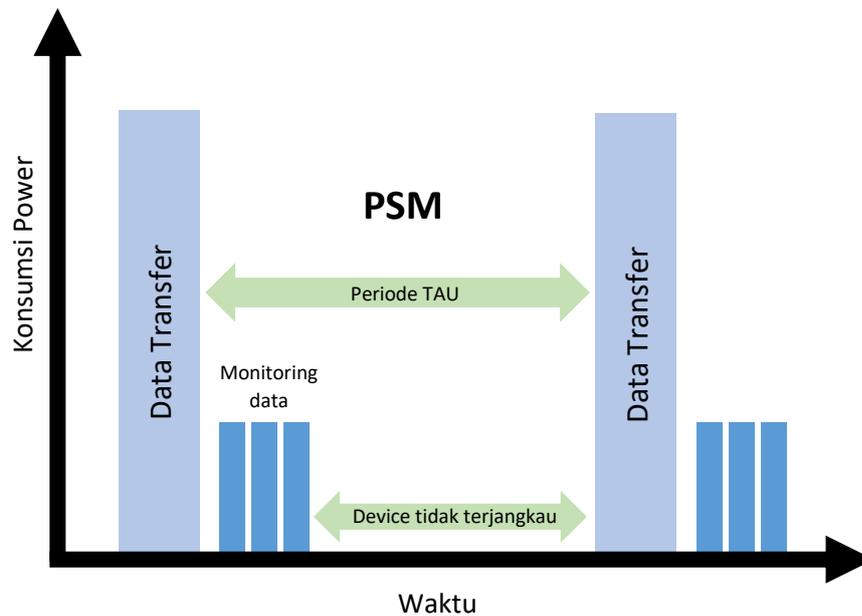
Fitur Hemat Daya

Untuk memastikan masa pakai baterai lebih dari 10 tahun dengan sekali pengisian daya, NB-IoT menggunakan dua teknik hemat daya:

1. Mode Hemat Daya (PSM)
2. Penerimaan Terputus-putus yang Diperpanjang (eDRX)

Kedua pendekatan tersebut memungkinkan UE untuk memasuki mode hemat daya di mana pemantauan informasi paging/penjadwalan tidak diperlukan.

1. **PSM:** Mode Hemat Daya (PSM) di NB-IoT memungkinkan perangkat untuk memasuki mode tidur nyenyak dengan memutus sebagian besar koneksinya sambil tetap terhubung ke jaringan, yang dapat dilihat pada Gambar 13.3. Mode ini memungkinkan perangkat untuk menghemat daya saat tidak terhubung ke jaringan, tetapi tetap aktif kapan pun diperlukan untuk mengirim data. Teknik PSM secara khusus dirancang untuk membantu perangkat IoT menghemat daya baterai dan berpotensi mencapai masa pakai baterai lebih dari 10 tahun. PSM adalah mode mati daya yang membuat perangkat tetap terhubung ke jaringan, menurut spesifikasi 3GPP TS 23.682. Anehnya, mode PSM muncul dalam spesifikasi 3GPP lebih awal daripada NB-IoT dalam Rilis 3GPP 12. Dalam PSM, perangkat beralih ke semacam mode mati daya untuk jangka waktu yang sesuai. Jika perangkat perlu mengirimkan data, perangkat dapat aktif tanpa perlu mendaftar di jaringan dan memberikan sinyal yang diperlukan.

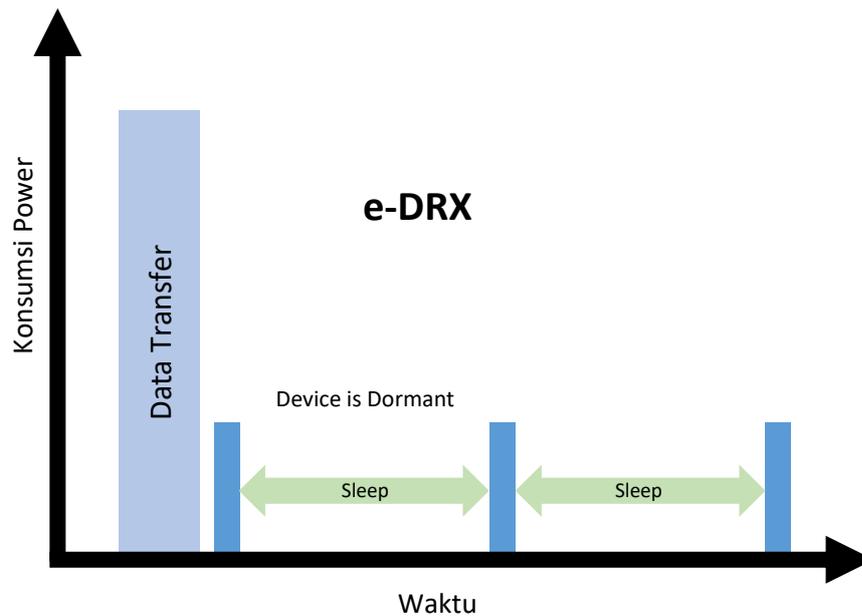


Gambar. 13.3 Mode hemat daya (PSM)

2. **eDRX:** NB-IoT menggunakan teknik penerimaan terputus-putus yang diperpanjang (eDRX) yang menempatkan perangkat dalam mode siaga, yaitu saat perangkat tidak menerima sinyal radio selama periode tertentu. Hal ini memungkinkan perangkat menghemat daya dan memperpanjang masa pakai baterai. Secara berkala, perangkat bangun untuk menerima pesan paging dari jaringan dan memeriksa informasi yang masuk sebelum kembali ke mode tidur nyenyak. Periode penerimaan eDRX terputus-putus dalam mode NB-IoT berkisar antara 20,48 hingga 10485,76 detik, dengan mode eDRX yang memungkinkan jalur penerimaan perangkat tetap mati untuk periode yang lebih lama. Termasuk eDRX dalam Rilis 3GPP, 13 spesifikasi memungkinkan mode hemat daya tambahan untuk perangkat IoT.

Singkatnya, setelah Pengatur Waktu Aktif berakhir, UE beralih ke mode PSM, memutuskan sambungan radio sepenuhnya dan hanya mempertahankan osilator primer untuk referensi waktu. Dalam PSM, konsumsi energi mirip dengan kondisi mati daya. eDRX adalah teknik yang memperpanjang waktu tidur I-DRX. Saat menggunakan eDRX, fase aktif dikontrol oleh pengatur waktu Paging Time Window (PTW) selama setiap siklus eDRX, tempat UE dapat dijangkau menggunakan siklus I-DRX, diikuti oleh fase tidur untuk sisa proses eDRX (Gambar 13.4). Siklus ini berlanjut hingga Pengatur Waktu Aktif berakhir.

Dalam sistem komputer, semua komponen memerlukan energi untuk berfungsi. Sementara komputer desktop memiliki Unit Catu Daya (PSU), laptop biasanya mengandalkan baterai.



Gambar 13.4 Penerimaan terputus-putus yang diperpanjang (eDRX)

Bab ini secara eksplisit berfokus pada bagaimana teknologi LPWA mengoptimalkan penggunaan daya, khususnya NB-IoT. Mikrokontroler dan sensor dalam jaringan LPWA adalah sistem komputer kecil yang memprioritaskan pengoptimalan konsumsi energi untuk mencapai masa pakai baterai yang lebih lama daripada analisis kinerja. Sementara komponen menggunakan daya untuk melakukan komputasi, sebagian energi hilang dari sistem. Bab ini akan memberikan pemahaman dasar tentang konsep energi (E) dan daya (P) serta kaitannya dengan konsumsi.

Untuk membahas konsep energi dalam sistem komputer, penting untuk memahami dua bentuk utama energi—potensial dan dinamis. Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa total energi dalam sistem tertutup tetap konstan dan tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan; sebaliknya, energi tersebut berubah menjadi bentuk energi lain. Sistem komputer mengubah energi yang dibutuhkan untuk melakukan tugas menjadi berbagai bentuk, terutama panas. Energi juga diukur sebagai jumlah kerja yang dilakukan pada suatu objek per satuan waktu, yang disebut sebagai laju konsumsi energi. Parameter utama yang digunakan untuk mengukur energi dalam sistem komputer meliputi voltase (V), arus (A), daya (W), energi (Wh), dan waktu (s).

Rumus dasar untuk menghitung daya akan digunakan dan dimodifikasi untuk menghitung faktor-faktor ini. Persamaan 13.1 digunakan untuk menghitung daya rata-rata dengan membagi energi dengan waktu yang telah berlalu:

$$P = \frac{E}{t} \quad (13.1)$$

Untuk menghitung daya, kita perlu mengukur tegangan yang disediakan oleh sumber konstan seperti baterai dan arus yang mengalir melaluinya. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut, yang merupakan bentuk modifikasi dari hukum Ohm:

$$P(t) = V(t) \times I(t) \quad (13.2)$$

Penting untuk dicatat bahwa konsumsi daya dapat dioptimalkan dengan mengendalikan tegangan, arus, atau keduanya. Dalam kasus perangkat bertenaga baterai, mengurangi tegangan atau arus dapat membantu memperpanjang masa pakai baterai. Namun, hal ini dapat mengorbankan kinerja atau fungsionalitas yang lebih rendah. Oleh karena itu, menemukan keseimbangan optimal antara konsumsi daya dan kinerja sangat penting untuk merancang sistem komputer yang efisien dan efektif.

Saat menggunakan sistem komputer, energi yang dikonsumsi dapat dihitung dengan menentukan penggunaan daya selama periode tertentu. Persamaan 13.1 dan 13.2 dapat digunakan untuk memperoleh fungsi yang menghitung energi yang dikonsumsi oleh sistem komputer berdasarkan tegangan, arus, dan waktu yang telah berlalu. Hal ini dapat dinyatakan sebagai:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} V(t) \times I(t) \times dt = \int_{t_1}^{t_2} P(t) \times dt \quad (13.3)$$

Manajemen Daya dalam Standar 3GPP

Teknologi LPWA dirancang untuk mengoptimalkan penggunaan daya dan memastikan masa pakai baterai perangkat yang lebih lama. Dalam standar 3GPP, teknik manajemen daya mempertahankan konsumsi energi yang rendah sambil mempertahankan koneksi yang andal. Beberapa teknik ini meliputi:

- Mode daya rendah memungkinkan perangkat memasuki kondisi tidur nyenyak saat masih terhubung ke jaringan, sehingga menghemat daya.
- *Protokol MAC yang ringan*: Protokol ini dirancang agar sederhana dan efisien, mengurangi energi yang dibutuhkan untuk komunikasi.
- *Topologi*: Topologi jaringan LPWA dioptimalkan untuk mengurangi energi yang dibutuhkan untuk komunikasi dengan menggunakan lebih sedikit hop dan meminimalkan interferensi.
- *Pemanfaatan stasiun pangkalan yang lebih kompleks*: Dengan menggunakan stasiun pangkalan yang lebih kompleks, jaringan LPWA dapat mencapai jangkauan yang lebih baik dan mengurangi energi yang dibutuhkan untuk komunikasi.

Untuk menghemat daya dalam teknologi LPWA, Peralatan Pengguna (UE) tidak memerlukan transmisi data berkelanjutan. Sebaliknya, ia bangun dari mode tidur untuk mengirim data yang diminta dan memanfaatkan komponen yang haus daya untuk waktu yang singkat. Protokol MAC yang ringan juga diperlukan untuk mengurangi overhead yang rumit bagi UE LPWA. Pilihan topologi jaringan mencakup topologi Mesh, yang umum digunakan dalam jaringan seluler standar dan WLAN. UE harus bertujuan untuk terhubung langsung ke stasiun pangkalan guna menghindari lonjakan daya yang tidak perlu, yang dapat meningkatkan masa

pakai baterai. Dalam teknologi standar 3GPP, hanya pengguna yang dapat memulai mode daya rendah. Mengosongkan operasi yang tidak perlu pada stasiun pangkalan dapat memperpanjang masa pakai baterai UE.

13.3 MODE DAYA RENDAH

Teknologi LPWA, termasuk jaringan seluler, menggunakan mode daya rendah untuk mengoptimalkan konsumsi daya dan memperpanjang masa pakai baterai. Mode ini melibatkan mematikan elemen berat seperti prosesor. Mode daya rendah dapat diimplementasikan secara berbeda, tergantung pada aplikasinya. Misalnya, perangkat yang hanya mengirimkan informasi menggunakan uplink dapat dijadwalkan untuk mengirim informasi dua kali sehari atau memicu pesan transfer secara manual. Jika perangkat dapat menerima pemberitahuan melalui downlink, perangkat harus mendengarkan jaringan untuk pesan-pesan ini. Ada beberapa cara untuk mencapainya, dan pendekatan yang paling sesuai bergantung pada kasus penggunaan dan seberapa sering perangkat bangun dari mode daya rendah. Jika perangkat mengirimkan pesan secara berkala, perangkat tersebut dapat mendengarkan pesan pada downlink secara bersamaan.

Dalam eMTC dan NB-IoT, mode daya rendah diimplementasikan secara berbeda, tetapi keduanya menggunakan teknik hemat daya seperti PSM dan eDRX. Perbedaan antara teknik-teknik ini adalah bahwa eDRX memungkinkan modem untuk mendengarkan sinyal yang masuk, sedangkan PSM mengharuskan modem untuk bangun untuk mengirim data sebelum menerima data apa pun. Meskipun komunikasi hemat energi sangat penting untuk keberhasilan penerapan MTC melalui jaringan seluler yang ada, perlu ada lebih banyak penelitian yang difokuskan pada penjadwalan MTC uplink yang hemat energi.

Algoritma 13.1 mengilustrasikan prosedur untuk menerapkan Teknik Penghematan Energi Prediksi (PEST) pada sisi Peralatan Pengguna (UE). Untuk meningkatkan efisiensi energi, UE dalam jaringan seluler dapat menyimpan perintah prapenjadwalan yang dikirimkan melalui saluran bersama uplink fisik pita sempit (NPUSCH) dan memeriksanya saat paket uplink terjadi. UE mengikuti prosedur permintaan penjadwalan lama jika tidak ada permintaan prapenjadwalan. Namun, jika ada permintaan prapenjadwalan, UE menunda transmisi paket uplink hingga waktu yang dijadwalkan tanpa memicu prosedur permintaan penjadwalan.

Dalam beberapa kasus, mungkin ada perubahan radikal dalam kedatangan lalu lintas, seperti ketika beberapa micro-BS dimatikan untuk menghemat energi selama periode lalu lintas rendah. Situasi ini mengharuskan BS tetangga untuk mencakup area cakupan BS yang dimatikan, yang disebut cell zooming. Selama periode lalu lintas rendah, kepadatan BS aktif menurun, dan jarak komunikasi meningkat. UE lama, seperti ponsel pintar, dirancang untuk pengisian ulang daya harian dan lebih efisien dalam pola tersebut. Algoritma yang diusulkan ini akan dievaluasi menggunakan model analitis dan simulasi.

Algoritma 13.1 Prosedur UE yang diusulkan dalam jaringan NB-IoT

Scheduling request procedure:

```
if scheduling request is triggered then then
```

```

    store up link packet in the buffer
else if scheduling command is already stored then then
    delay up link transmission by prescheduled time
else
    process scheduling request procedure with RA
end if
Uplink Scheduling Procedure:
if TX time equals scheduling command time then
    if buffer is not empty then
        process NPUSCH transmission
    else
        ignore NPUSCH
    end if
end if
end if

```

Estimasi Masa Pakai Baterai

Kami mengadopsi metodologi yang mirip dengan yang digunakan untuk menilai masa pakai baterai UE dengan mengukur konsumsi energi. Studi kami mempertimbangkan sensor utilitas pintar, yang mengirimkan laporan uplink berkala dengan waktu antar kedatangan (IAT) yang telah ditentukan sebelumnya sesuai profil lalu lintas. Sebelum dimulainya pelaporan berkala, UE perlu membangun kembali koneksi RRC dan dengan demikian menjalankan prosedur CP. Kami membagi perkiraan masa pakai baterai menjadi empat fase untuk memodelkan pola lalu lintas berkala:

- **P1:** UE bangun dari Mode Hemat Daya (PSM), membangun koneksi RRC, dan mengirimkan data menggunakan prosedur CP.
- **P2:** UE terus memantau Saluran Kontrol Downlink Fisik Pita Sempit (NPDCCH) hingga koneksi RRC dilepaskan.
- **P3:** UE menggunakan Penerimaan Terputus-putus (eDRX) yang diperpanjang / ditingkatkan hingga Pengatur Waktu Aktif berakhir.
- **P4:** UE memasuki mode tidur menggunakan PSM hingga periode transmisi berikutnya dimulai.

Untuk memperkirakan konsumsi energi guna mentransfer satu laporan UL, yang dilambangkan sebagai E_{report} , kami menggunakan metodologi yang mirip dengan yang dijelaskan dalam. Metode ini mengasumsikan sensor utilitas pintar dan pelaporan UL berkala dengan Waktu Antar Kedatangan (IAT) yang telah ditetapkan sebelumnya. Sebelum pelaporan berkala, UE harus membangun kembali koneksi RRC, yang melibatkan pelaksanaan prosedur CP.

$$E_{report} = E_{conn} + E_{rel} + E_{idle} + P_{standby} + T_{sleep} \quad (13.4)$$

$$T_{sleep} = IAT - T_{conn} - T_{rel} - T_{idle} \quad (13.5)$$

Konsumsi energi untuk mentransfer satu laporan UL, E_{report} , diperkirakan menggunakan metodologi yang serupa. Seperti dijelaskan di atas, empat fase untuk memodelkan pola lalu lintas periodik adalah P1, P2, P3, dan P4. Energi yang dikonsumsi dalam joule dalam fase P1, P2, dan P3 masing-masing dilambangkan sebagai E_{conn} , E_{rel} , dan E_{idle} . P_{standby} menunjukkan konsumsi daya rata-rata dalam PSM, dan T_{conn} , T_{rel} , T_{idle} , dan T_{sleep} masing-masing menunjukkan durasi dalam detik dari fase P1, P2, P3, dan P4. Terakhir, energi yang dikonsumsi per hari, dilambangkan sebagai E_{day} , dan masa pakai baterai dalam tahun yang ditunjukkan sebagai B_{life} dapat ditentukan sebagai berikut:

$$E_{\text{day}} = \frac{D_{\text{day}}}{\text{IAT}} \times E_{\text{report}} \quad (13.6)$$

$$B_{\text{life}} = \frac{\text{Bat}_C}{\frac{E_{\text{day}}}{3600} \times 365 \times 25} \quad (13.7)$$

Dalam simulasi kami, kami menganggap laporan UL berkala sebagai paket UDP dengan muatan 50 B dan kapasitas baterai $\text{Bat}_C = 5 \text{ Wh}$ (Wang et al. 2017). Kami menggunakan nilai D_{day} untuk mewakili durasi 1 hari dalam detik.

13.4 EFISIENSI SKALABILITAS SELULAR

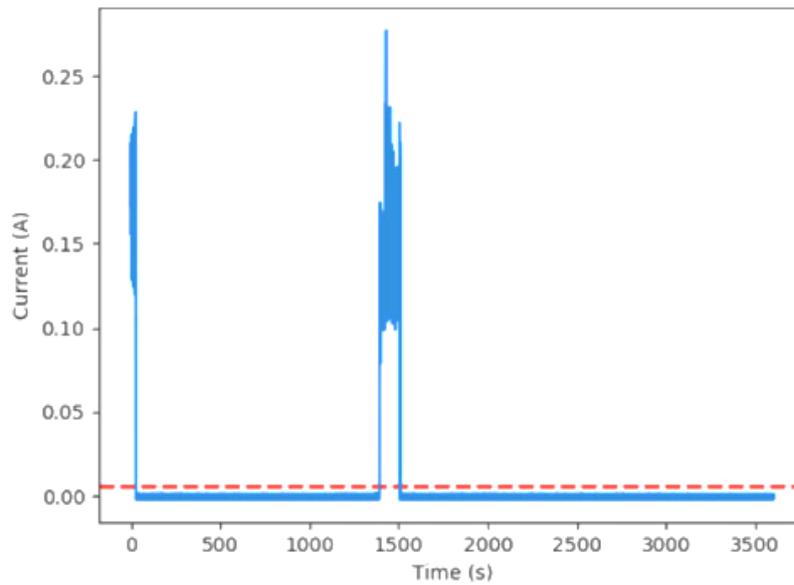
Bagian ini menyajikan hasil validasi model NB-IoT analitis yang kami usulkan. Kami menggunakan Persamaan 13.1, 13.2, dan 13.3 untuk menghitung konsumsi energi dan daya rata-rata modul. Validasi dilakukan berdasarkan dua metrik: masa pakai baterai dan latensi untuk melakukan pengoptimalan Bidang Kontrol (CP). Algoritme yang kami usulkan bertujuan untuk mengurangi total konsumsi energi perangkat NB-IoT dengan memanfaatkan kurangnya mobilitasnya dan meminimalkan jumlah prosedur yang mahal dan tidak perlu. Modul diuji dengan tegangan 3,7 V dan kekuatan sinyal -75 dBm . Konsumsi energi dan daya rata-rata dihitung berdasarkan tegangan dan arus untuk periode tertentu. Perlu dicatat bahwa modul ini masih dalam tahap pengembangan.

PSM

Gambar 13.5 menampilkan hasil pengujian Mode Hemat Daya (PSM) 1 jam, di mana sistem hanya bangun dari mode tidur satu kali. Puncak awal arus diukur sebelum sistem memasuki mode tidur untuk pertama kalinya. Perlu dicatat bahwa modul yang digunakan dalam pengujian ini masih dalam tahap pengembangan.

Tabel 13.1 PSM aktif dan tidur

| | |
|-----------------------------|-----------------------|
| Arus kerja rata-rata | 101.498 mA |
| Daya kerja rata-rata | 375.544 mW |
| Arus siaga rata-rata | 143.428 μA |
| Daya siaga rata-rata | 530.684 μW |

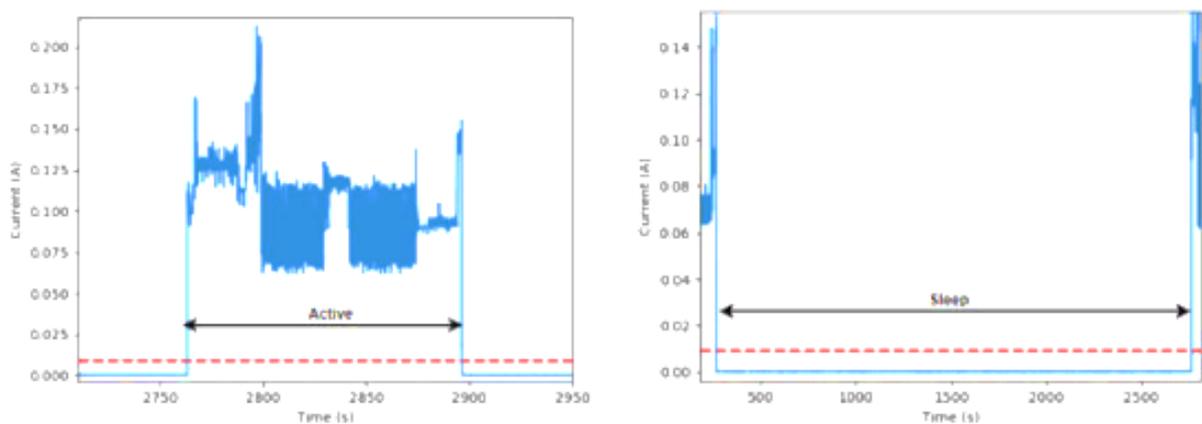


Gambar 13.5 Uji PSM 1 jam

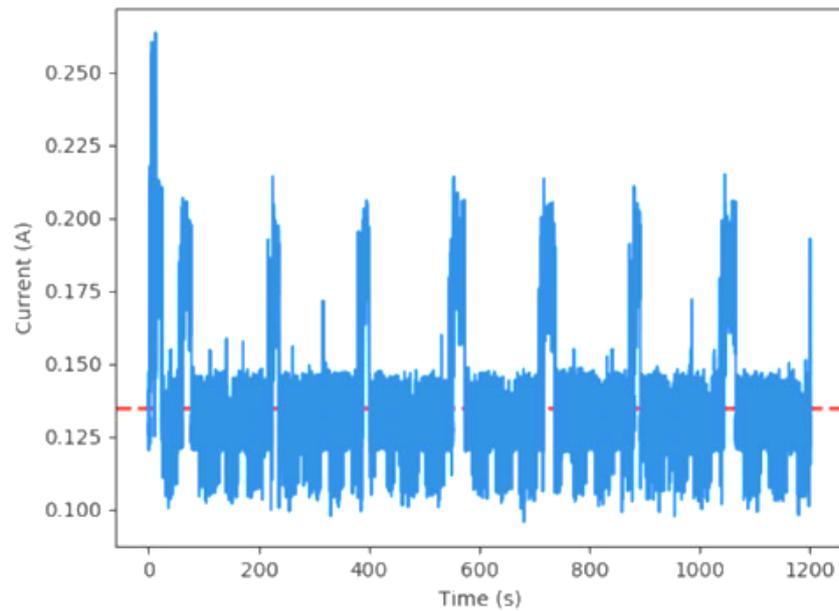
Lebih jauh, kami melakukan analisis Timer dan Tombol, dengan melihat siklus secara individual untuk memperoleh hasil yang lebih baik untuk kedua mode. Tabel 13.1 menunjukkan hasil analisis ini dan diilustrasikan dalam Gambar 13.6, yang menunjukkan penurunan signifikan pada arus dan daya saat memulai mode tidur.

eDRX

Gambar 13.7 menampilkan hasil uji eDRX selama 20 menit, di mana permintaan dikirim ke sistem di awal analisis, yang mengakibatkan lonjakan pertama dalam arus. Lonjakan ini mencapai puncaknya lebih dari 0,25 A.



Gambar 13.6 Siklus PSM aktif dan tidur

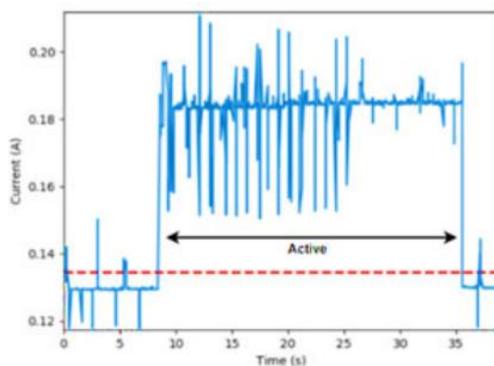


Gambar 13.7 Uji eDRX 20 menit

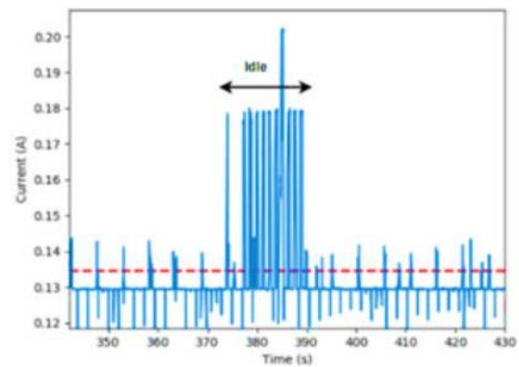
Setelah ini, sistem bangun secara berkala untuk mendengarkan downlink, dengan arus rata-rata sekitar 0,2 A. Selama siklus diam, sistem berada dalam mode tidur, dengan arus bervariasi antara 0,1 dan 0,15 A. Gambar 13.8 menunjukkan beberapa lonjakan dalam pembacaan arus selama setiap siklus, yang mungkin terjadi karena arus tidak diukur dari sistem saja, karena aplikasi juga berjalan pada prosesor aplikasi. Hasil untuk setiap siklus disediakan dalam Tabel 13.2.

13.5 EFISIENSI ENERGI DAN JARINGAN SELULAR

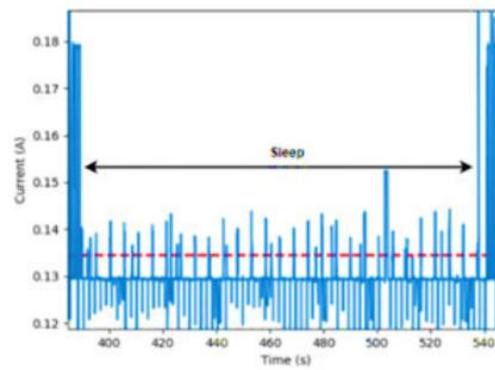
Bagian ini menjelaskan evaluasi komprehensif konsumsi energi pada perangkat NB-IoT berdasarkan pengukuran, dengan fokus pada identifikasi target pengoptimalan untuk operasi jaringan. Lebih jauh, kami mengusulkan model konsumsi energi yang kami gunakan dalam eksperimen simulasi dan pengamatan empiris kami untuk memperkirakan kebutuhan baterai bagi perangkat NB-IoT guna mencapai masa pakai baterai yang diinginkan.



(a) eDRX active



(b) eDRX idle



(c) eDRX sleep

Gambar 13.8 Siklus aktif, siaga, dan tidur eDRX

Tabel 13.2 Hasil dari setiap siklus terpisah

| | |
|-----------------------------|------------|
| Arus kerja rata-rata | 183.313 mA |
| Daya kerja rata-rata | 678.257 mW |
| Arus siaga rata-rata | 144.356 mA |
| Daya siaga rata-rata | 534.118 mW |
| Arus tidur rata-rata | 129.786 mA |
| Daya tidur rata-rata | 480.206 mW |

Memperkirakan masa pakai perangkat NB-IoT dapat dilakukan dengan menggunakan kapasitas baterai dan konfigurasi jaringan. Dalam kasus Mode Hemat Daya (PSM), kita dapat menghitung masa pakai baterai menggunakan empat pengatur waktu yang berbeda: 1 jam, 1 hari, 1 minggu, dan 1 bulan (30 hari). Tabel 13.3 memberikan daya rata-rata setiap siklus dan waktu masing-masing. Untuk menentukan masa pakai baterai, kita membagi energi baterai dengan daya rata-rata menurut rumus berikut:

$$\text{Lifetime} = \frac{5 \text{ Wh}}{P_{\text{tot}}} \quad (13.8)$$

Tabel 13.3 Masa pakai baterai 5 Wh (PSM)

| | Sekali/jam | Sekali/hari | Sekali/minggu | Sekali/bulan |
|--------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Operator A NB-IoT | 2528 jam (105 hari) | 40.463 jam (1.686 hari) | 93.449 jam (3.894 hari) | 112.239 jam (4677 hari) |
| Operator B NB-IoT | 3443 jam (143 hari) | 49.351 jam (2.056 hari) | 99.301 jam (4.138 hari) | 114.060 jam (4753 hari) |
| Operator A eMTC | 398 jam (17 hari) | 8.614 jam (356 hari) | 42.130 jam (1.755 hari) | 83.905 jam (3496 hari) |

Tabel 13.3 menggambarkan masa pakai baterai 5 Wh saat menggunakan Mode Hemat Daya (PSM) dengan NB-IoT dan eMTC. Seperti yang diantisipasi, masa pakai baterai jauh lebih

pendek untuk eMTC dibandingkan dengan NB-IoT. Masa pakai baterai bervariasi dari 17 hingga 3496 hari, tergantung pada durasi mode tidur.

Tabel 13.4 menggambarkan penggunaan daya untuk setiap siklus eDRX dan waktu masing-masing untuk baterai yang sama dengan 5 Wh. Mirip dengan PSM, kita dapat menggunakan persamaan yang sama untuk memperkirakan masa pakai baterai.

Tabel 13.4 Ringkasan daya rata-rata (eDRX)

| | Daya rata-rata (mW) | Waktu (detik) |
|----------------------------------|---------------------|---------------|
| Operator A NB-IoT (aktif) | 210.729 | 11.41 |
| Operator A NB-IoT (diam) | 96.088 | 15.36 |
| Operator A NB-IoT (tidur) | 59.039 | 148.56 |

Ringkasan

Proliferasi Internet of Things (IoT) telah merevolusi berbagai domain kehidupan kita dengan memperluas konektivitas jaringan ke objek sehari-hari, memungkinkan mereka untuk berkomunikasi satu sama lain tanpa campur tangan manusia. Perangkat IoT memiliki berbagai aplikasi, termasuk kesehatan digital, rumah pintar, pengemudian otonom, dan otomasi industri, dengan aplikasi baru yang dikembangkan setiap hari. Jaringan seluler telah muncul sebagai kandidat kuat untuk mendukung perangkat IoT, terutama karena penyebarannya yang luas, area jangkauan yang luas, dan kecepatan data yang bervariasi. Namun, jaringan seluler tradisional secara historis dirancang untuk membantu perangkat komunikasi throughput tinggi (HTC), yang menunjukkan pola lalu lintas yang sangat berbeda dari perangkat IoT, yang menyebabkan inefisiensi pada tingkat jaringan dan perangkat. Tantangan-tantangan ini tidak terbatas pada satu area saja tetapi mencakup berbagai area operasional jaringan seluler, seperti proses pembentukan koneksi, pemanfaatan sumber daya jaringan, dan konsumsi energi perangkat.

Pemilihan teknologi LPWAN untuk aplikasi IoT harus ditentukan kasus per kasus, dengan mempertimbangkan persyaratan transmisi data perangkat, masa pakai yang diinginkan, dan akses ke sumber pengisian daya. PSM mungkin lebih sesuai untuk perangkat yang hanya perlu mengirim data jarang, sementara eDRX mungkin lebih cocok untuk perangkat yang sering mendengarkan informasi masuk. Mempertimbangkan fitur hemat daya yang digunakan sangat penting karena baik PSM maupun eDRX bukanlah teknologi yang cocok untuk semua orang.

Buku ini berfokus pada tantangan yang dihadapi perangkat IoT dalam jaringan seluler, dengan fokus pada pola dan persyaratan komunikasi uniknya. Untuk mengatasi tantangan ini, bab ini menyajikan model analitis yang memungkinkan estimasi konsumsi energi perangkat NB-IoT. Hasil yang diperoleh dari analisis menunjukkan bahwa kasus penggunaan untuk eDRX dan PSM berbeda dan bahwa perangkat yang perlu mendengarkan downlink secara berkala mungkin memerlukan pengisian ulang baterai yang lebih sering.

DAFTAR PUSTAKA

- Akyildiz, I. F., & Han, C. (2021). *5G and Beyond: New Wireless Technologies*. IEEE Press.
- Alam, A., & Khan, S. (2021). *5G and Beyond: Architecture, Technology, and Applications*. Wiley.
- Al-Fuqaha, A., & Guizani, M. (2020). *5G Wireless Networks: Technology and Protocols*. CRC Press.
- Amiri, I., & Khatibi, A. (2022). *Beyond 5G: Vision, Enabling Technologies, and Future Directions*. Springer.
- Bennis, M., & Debbah, M. (2019). *Fundamentals of 5G: Theory and Practice*. Cambridge University Press.
- Bhargava, V., & Kaur, G. (2023). *Advanced 5G Networks and Technologies: Concepts and Applications*. Elsevier.
- Chandrasekhar, V., & Choi, J. (2020). *5G and Beyond: Theories, Technologies, and Future Trends*. Springer.
- Choi, S., & Han, J. (2021). *5G and Beyond: Evolution, Research, and Innovation*. Wiley.
- Crivello, D., & Ma, S. (2022). *The Future of 5G and Beyond: Key Technologies and Applications*. Elsevier.
- Cui, H., & Wang, X. (2020). *5G Networks: Opportunities and Challenges*. CRC Press.
- Deng, H., & Zhang, Y. (2023). *Advanced 5G and Beyond Communication Systems*. Springer.
- Ding, Z., & Liu, H. (2021). *5G and Beyond: Technologies and Applications*. IEEE Press.
- Elayoubi, S., & Azzedine, S. (2022). *5G and Beyond: Innovations, Applications, and Future Trends*. Wiley.
- Fang, X., & Zhou, L. (2020). *Beyond 5G: Technology, Applications, and Challenges*. Elsevier.
- Gao, Z., & Zhang, Y. (2021). *5G Networks and Applications: A Comprehensive Guide*. Springer.
- Garg, V., & Kumar, N. (2023). *Advanced Technologies in 5G and Beyond*. Wiley.
- Ghosh, A., & Rappaport, T. S. (2022). *5G Wireless Networks: Architecture, Technology, and Standards*. Cambridge University Press.
- Han, Z., & Wang, X. (2021). *5G and Beyond Wireless Networks: Theory and Applications*. IEEE Press.
- He, H., & Yang, J. (2023). *Beyond 5G: Emerging Technologies and Applications*. CRC Press.
- Huang, Y., & Zhang, W. (2020). *5G and Beyond Wireless Communication: Principles and Practices*. Springer.
- Joudeh, N., & Aoudia, A. (2021). *5G Networks: Theory and Practice*. Wiley.

- Karray, M., & Benammar, M. (2022). *5G and Beyond: Enabling Technologies and Applications*. Elsevier.
- Kim, J., & Kim, S. (2023). *The Evolution of 5G and Beyond*. CRC Press.
- Ko, M., & Kim, Y. (2021). *5G and Beyond: Key Technologies and Emerging Applications*. Springer.
- Kumar, P., & Gupta, M. (2020). *5G Networks: Principles, Technologies, and Applications*. Wiley.
- Li, X., & Zhao, Y. (2022). *Next-Generation 5G Wireless Networks and Systems*. IEEE Press.
- Liu, Z., & Zhang, J. (2023). *5G and Beyond: Advanced Concepts and Practices*. Elsevier.
- Lu, L., & Zhang, Q. (2021). *Beyond 5G: Emerging Technologies and Standards*. CRC Press.
- Ma, M., & Li, W. (2020). *5G Technology and Applications: An Overview*. Springer.
- Malik, N., & Qureshi, M. (2022). *The Future of 5G and Beyond: Innovations and Challenges*. Wiley.
- Mehrotra, N., & Sharma, R. (2021). *5G Wireless Networks: Theory, Technology, and Applications*. Springer.
- Miao, L., & Huang, X. (2023). *5G and Beyond Networks: Technology, Deployment, and Applications*. CRC Press.
- Nair, S., & Patel, R. (2022). *Advanced 5G Networks: Principles and Applications*. Wiley.
- Nguyen, T., & Pham, H. (2021). *5G Technology and Beyond: Advances and Opportunities*. Elsevier.
- Park, J., & Kim, J. (2023). *5G and Beyond Wireless Communications: Technologies and Applications*. IEEE Press.
- Patel, C., & Singh, R. (2020). *5G Networks: Concepts, Technologies, and Applications*. Springer.
- Qian, L., & Liu, M. (2021). *Beyond 5G: Challenges and Opportunities*. CRC Press.
- Rahman, A., & Chowdhury, A. (2022). *5G and Beyond: New Frontiers in Wireless Communications*. Wiley.
- Rao, V., & Kumar, R. (2020). *Next-Generation 5G Wireless Systems*. IEEE Press.
- Rehman, S., & Siddiqui, A. (2021). *5G and Beyond: Enabling Technologies and Future Directions*. Springer.
- Shen, J., & Yang, M. (2022). *Advanced Technologies for 5G and Beyond*. Elsevier.
- Singh, R., & Choudhury, N. (2023). *5G Wireless Networks: Technology, Applications, and Trends*. Wiley.
- Soni, M., & Agarwal, A. (2020). *5G and Beyond: Emerging Technologies and Research Directions*. CRC Press.
- Tang, Y., & Xu, Y. (2021). *5G and Beyond Networks: Principles and Applications*. IEEE Press.
- Thakur, M., & Sharma, P. (2022). *5G Technology and Beyond: A Comprehensive Overview*. Springer.

- Wang, J., & Zhao, X. (2023). *Future Directions in 5G and Beyond Wireless Networks*. Wiley.
- Wu, Y., & Li, H. (2020). *5G and Beyond Wireless Communication Systems*. Elsevier.
- Xiao, Y., & Liu, Q. (2021). *5G Technology and Applications: Challenges and Opportunities*. Springer.
- Yang, L., & Zhang, S. (2022). *Advanced Concepts in 5G and Beyond*. CRC Press.
- Zhang, X., & Li, X. (2023). *5G Networks and Beyond: Key Technologies and Future Perspectives*. IEEE Press.

TEKNOLOGI 5G DAN SELANJUTNYA

Dr. 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 978-623-8642-32-8 (PDF)

