



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK



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

# Inovasi Desain Bangunan yang Cerdas, Sehat dan Ramah Lingkungan



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

# **Inovasi Desain Bangunan yang Cerdas, Sehat dan Ramah Lingkungan**



**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](mailto:penerbit_ypat@stekom.ac.id)

ISBN 978-623-8642-83-0 (PDF)



9

786238

642830

# **Inovasi Desain Bangunan yang Cerdas, Sehat dan Ramah Lingkungan**

## **Penulis :**

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

**ISBN : 978-623-8642-83-0**

## **Editor :**

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

## **Penyunting :**

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

## **Desain Sampul dan Tata Letak :**

Irdha Yuniarto, S.Ds., M.Kom

## **Penebit :**

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

**Anggota IKAPI No:** 279 / ALB / JTE / 2023

## **Redaksi :**

Jl. Majapahit no 605 Semarang

Telp. 08122925000

Fax. 024-6710144

Email : [penerbit\\_ypat@stekom.ac.id](mailto:penerbit_ypat@stekom.ac.id)

## **Distributor Tunggal :**

### **Universitas STEKOM**

Jl. Majapahit no 605 Semarang

Telp. 08122925000

Fax. 024-6710144

Email : [info@stekom.ac.id](mailto: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 dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga buku yang berjudul "***Inovasi Desain Bangunan Yang Cerdas, Sehat Dan Ramah Lingkungan***" dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun dengan tujuan untuk memberikan pemahaman yang mendalam mengenai konsep, prinsip dasar, dan tantangan dalam pembangunan infrastruktur berkelanjutan yang menjadi landasan penting dalam menciptakan pembangunan yang ramah lingkungan, sosial, dan ekonomis.

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga buku berjudul "Inovasi Desain Bangunan yang Cerdas, Sehat, dan Ramah Lingkungan" ini dapat hadir di hadapan pembaca. Buku ini merupakan sumbangan pemikiran bagi perkembangan dunia konstruksi dan arsitektur yang berkelanjutan, khususnya dalam konteks bangunan cerdas (*smart building*) yang semakin relevan di era modern ini.

Perkembangan kota-kota besar yang pesat menghadirkan tantangan kompleks terkait dengan peningkatan polusi, konsumsi energi, dan keterbatasan ruang hijau. Bangunan sebagai elemen penting perkotaan memiliki peran strategis dalam mengatasi permasalahan tersebut. Oleh karena itu, konsep bangunan hijau dan cerdas menjadi solusi yang menjanjikan untuk menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih berkelanjutan.

Buku ini hadir sebagai panduan komprehensif yang membahas berbagai aspek inovasi dalam desain bangunan, dengan fokus pada tiga pilar utama: kecerdasan, kesehatan, dan keramahan lingkungan. Pembahasan mencakup integrasi teknologi terkini, pemanfaatan prinsip-prinsip desain biofilik, strategi pengelolaan energi yang efisien, serta pemilihan material yang berkelanjutan.

Buku ini mengupas tuntas inovasi desain bangunan melalui 20 bab yang saling terkait, dimulai dengan fondasi bangunan cerdas yang berkelanjutan dan sehat, serta inspirasi dari alam untuk arsitektur yang lebih harmonis. Pembahasan berlanjut pada pentingnya kesehatan dan kesejahteraan lingkungan dalam bangunan, penerapan desain sensorik, dan penciptaan lingkungan cerdas yang adaptif. Strategi desain bangunan cerdas untuk kesejahteraan manusia dijelaskan secara mendalam, diikuti dengan pemanfaatan sensor nirkabel untuk pemantauan lingkungan dan manusia. Konsep ruang cerdas untuk kehidupan dan pekerjaan juga dieksplorasi, serta pendekatan penghematan energi yang berpusat pada pengguna. Aspek pengadaan dan manajemen proyek terpadu dibahas untuk memastikan keberhasilan implementasi, serta pemodelan informasi virtual (BIM) dalam bangunan cerdas. Buku ini juga menyentuh manajemen desain dan fasilitas yang cerdas dan berkelanjutan, perubahan budaya hidup dan kerja, serta studi kasus inspiratif seperti Gardens by the Bay, Sky Studios Hounslow, dan 8 Storey's Gate. Terakhir, buku ini membahas konsep kota cerdas, berkelanjutan, dan layak huni, tantangan dan peluang dalam pengembangan bangunan cerdas, serta visi masa depan yang inovatif di bidang ini.

Kami berharap buku ini dapat memberikan inspirasi dan pengetahuan yang bermanfaat bagi para arsitek, insinyur, desainer interior, pengembang properti, mahasiswa,



serta semua pihak yang tertarik dengan pengembangan bangunan yang cerdas, sehat, dan ramah lingkungan. Semoga buku ini dapat memberikan wawasan yang berguna bagi pembaca dalam memahami pentingnya infrastruktur berkelanjutan dalam mendukung kesejahteraan dan keberlanjutan masa depan. Selamat membaca. Terima Kasih.

Semarang, Februari 2025

Penulis

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

# DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Kata Pengantar .....	ii
Daftar Isi .....	iv
<b>BAB 1 BANGUNAN CERDAS YANG BERKELANJUTAN DAN SEHAT BAGI MANUSIA ...</b>	<b>1</b>
1.1 Pendahuluan .....	1
1.2 Terminologi .....	4
1.3 Integrasi: Bangunan, Sistem, Dan Manusia .....	5
1.4 Manusia: Desain Sensorik Lingkungan .....	8
1.5 Produk Dan Sistem .....	11
1.6 Proses .....	15
1.7 Inovasi .....	18
1.8 Prinsip Untuk Perencanaan Desain Dan Pengelolaan Bangunan Cerdas .....	19
1.9 Masa Depan .....	21
<b>BAB 2 PELAJARAN DARI ALAM UNTUK ARSITEKTUR BERKELANJUTAN .....</b>	<b>24</b>
2.1 Pendahuluan .....	24
2.2 Pola Di Alam .....	25
2.3 Geometri Fraktal Dan Arsitektur .....	27
2.4 Studi Perilaku .....	30
2.5 Biofilia .....	30
2.6 Arsitektur Yang Terinspirasi Oleh Alam .....	30
2.7 Studi Kasus .....	32
2.8 Kesimpulan .....	35
<b>BAB 3 KESEHATAN DAN KESEJAHTERAAN LINGKUNGAN DALAM BANGUNAN .....</b>	<b>41</b>
3.1 Pendahuluan .....	41
3.2 Faktor Lingkungan .....	43
3.3 Hakikat Produktivitas .....	46
3.4 Pengukuran Produktivitas .....	48
3.5 Sindrom Bangunan Sakit .....	49
3.6 Kesejahteraan .....	50
3.7 Kesejahteraan Dan Produktivitas .....	53
3.8 Kesimpulan .....	55
<b>BAB 4 DESAIN SENSORIK LINGKUNGAN .....</b>	<b>57</b>
4.1 Arsitektur Sebagai Perluasan Penghuni .....	57
4.2 Inti Dari Metode Desain Sensorik .....	61
4.3 Hubungan Non- Linier Antara Desain Lingkungan Dan Persepsi .....	62
4.4 Memperkuat Hubungan Modalitas Sensorik dalam Desain Arsitektur .....	64
4.5 Menggabungkan Desain Sensorik Ke Dalam Proses Perancang .....	65
<b>BAB 5 LINGKUNGAN CERDAS .....</b>	<b>68</b>
5.1 Definisi Lingkungan Cerdas .....	68
5.2 Aspek Kecerdasan .....	68
5.3 Perubahan Sifat Peralatan Bangunan .....	70

5.4	Kontinum Kecerdasan .....	70
5.5	Arsitektrut Agen Tertanam Yang Sederhana .....	72
5.6	Pemrograman Pengguna Akhir .....	77
5.7	Agen Otonomi Yang Dapat Disesuaikan .....	78
5.8	Lingkungan Dan Orang-Orang Cerdas .....	80
5.9	Studi Kasus: Essex Ispace .....	81
5.10	Ringkasan .....	84
<b>BAB 6</b>	<b>DESAIN BANGUNAN CERDAS UNTUK KESEJAHTERAAN MANUSIA .....</b>	<b>86</b>
6.1	Pendahuluan .....	86
6.2	Kecerdasan Buatan .....	89
6.3	Kesimpulan .....	102
<b>BAB 7</b>	<b>SENSOR NIRKABEL UNTUK MEMANTAU MANUSIA DAN LINGKUNGAN .....</b>	<b>104</b>
7.1	Pendahuluan .....	104
7.2	Variabel Kunci Untuk Evaluasi Sensor .....	106
7.3	Perangkat Di Luar Tubuh .....	108
7.4	Perangkat Yang Dikenakan Di Tubuh .....	109
7.5	Kesimpulan .....	112
<b>BAB 8</b>	<b>DESAIN RUANG CERDAS UNTUK KEHIDUPAN DAN PEKERJAAN .....</b>	<b>115</b>
8.1	Informatika Yang Luas .....	115
8.2	Teknologi Komputasi Dan Kecerdasan Buatan .....	116
8.3	Gagasan Ruang Cerdas .....	117
8.4	Desain Dan Implementasi: Semiotika Untuk Rekayasa Persyaratan .....	121
8.5	Studi Kasus: Teknologi Jaringan Pintar Untuk Bangunan Pintar .....	126
8.6	Kesimpulan .....	129
<b>BAB 9</b>	<b>PENGHEMATAN ENERGI CERDAS: DESAIN BERPUSAT PADA PENGGUNA .....</b>	<b>130</b>
9.1	Apa Yang Membuat Rumah Cerdas? .....	130
9.2	Masalah Utama Faktor Manusia .....	132
9.3	Kompleksitas Lingkungan Rumah .....	135
9.4	Desain Berpusat Pada Pengguna Untuk Rumah Pintar Masa Depan .....	137
9.5	Masa Depan .....	138
<b>BAB 10</b>	<b>PENGADAAN DAN MANAJEMEN PROYEK TERPADU .....</b>	<b>140</b>
10.1	Pendahuluan .....	140
10.2	Uapaya Industri Untuk Meningkatkan Kinerja Selama Dekade Terakhir .....	141
10.3	Hambatan Yang Terus Menghalangi Perubahan Radikal .....	142
10.4	Era Perubahan .....	144
10.5	Pengadaan Tim Terpadu .....	145
10.6	Manajemen Tim Terpadu .....	147
10.7	Peran Hukum .....	151
10.8	Tantangan Masa Depan Dan Peran Akademisi .....	151
<b>BAB 11</b>	<b>PEMODELAN INFORMASI VIRTUAL DALAM BANGUNAN CERDAS .....</b>	<b>153</b>
11.1	Evolusi Integrasi Pemodelan Informasi Bangunan Dalam Konstruksi .....	153
11.2	Revolusi Alat Pemodelan Dari Desain Ke Operasional .....	156
11.3	Memajukan BIM Dalam Konstruksi Kolaboratif .....	160

<b>BAB 12</b>	<b>MANAJEMEN DESAIN .....</b>	<b>164</b>
12.1	Pendahuluan .....	164
12.2	Proses Desain .....	165
12.3	Pandangan Sistem Terhadap Proses Desain .....	170
12.4	Pemetaan Proses Desain .....	173
12.5	Merencanakan Proses Desain .....	177
12.6	Pembentukan Tim Desain/ Integrasi Tim Desain .....	190
<b>BAB 13</b>	<b>MANAJEMEN FASILITAS YANG CERDAS DAN BERKELANJUTAN .....</b>	<b>194</b>
13.1	Pendahuluan .....	194
13.2	Fm Berkelanjutan .....	196
13.3	Bangunan Cerdas Dan Informatika Fm .....	200
13.4	Sistem Evaluasi Pasca-Hunian Cerdas (IPOE) .....	204
13.5	Kesimpulan .....	207
<b>BAB 14</b>	<b>PERUBAHAN BUDAYA HIDUP DAN KERJA: FISIK DAN VIRTUAL .....</b>	<b>209</b>
14.1	Teknologi Dan Pengaturan Terdistribusi .....	209
14.2	Lebih Banyak Teknologi Versus Teknologi Rendah .....	210
14.3	Kebutuhan Kolektif: Keberlanjutan Lingkungan .....	210
14.4	Perubahan Dalam Pekerjaan, Perubahan Di Tempat Kerja .....	212
14.5	Individualisme Dan Perombakan Organisasi .....	213
14.6	Korelasi Bangunan .....	214
14.7	Anggaran Ruang Internal .....	215
14.8	Mendukung Dan Mengukur Strategi Ruang Baru .....	215
14.9	Ruang Serbaguna .....	217
14.10	Desain Yang Efektif dan Produktivitas .....	218
14.11	Siklus Hidup Bangunan .....	220
14.12	Evaluasi PascaHunian .....	221
<b>BAB 15</b>	<b>GARDENS BY THE BAY: DESAIN CERDAS DAN OPTIMAL.....</b>	<b>224</b>
15.1	Pendahuluan .....	224
15.2	Rencana Induk .....	226
15.3	Iklim .....	228
15.4	Desain Terpadu Bioma .....	230
15.5	Desain Sistem Aktif .....	233
15.6	Pendingin Udara Segar Menggunakan Pengering .....	235
15.7	Pembangkitan Energi Dan Pusat Energi .....	236
15.8	Desain Supertrees .....	237
15.9	Kesimpulan.....	238
<b>BAB 16</b>	<b>SKY STUDIOS HOUNSLOW: INTERNET UNTUK SEGALA HAL .....</b>	<b>239</b>
16.1	Sky Studios .....	239
16.2	Internet Untuk Segala Hal .....	257
16.3	Kesimpulan.....	265
<b>BAB 17</b>	<b>8 STOREY'S GATE, LONDON: SISTEM CERDAS DI GEDUNG KELAS II .....</b>	<b>266</b>
17.1	Pendahuluan .....	266
17.2	Menciptakan Lingkungan Yang Nyaman Dan Merangsang .....	266
17.3	Kondisi Yang Nyaman Melalui Solusi Rendah Karbon .....	270



17.4	Langkah-Langkah Lingkungan Lebih Lanjut .....	273
17.5	Keterlibatan Dan Umpan Balik Pengguna .....	274
<b>BAB 18</b>	<b>KOTA CERDAS, BERKELANJUTAN, DAN LAYAK HUNI .....</b>	<b>278</b>
18.1	Lanskap Kota .....	278
18.2	Kota Berkelanjutan Yang Layak Huni .....	281
18.3	Kota Cerdas .....	285
18.4	Kota Sebagai Sistem .....	287
18.5	Desain Kota Sebagai Sistem Integral .....	288
18.6	Perencanaan Kota Cerdas, Berkelanjutan, Dan Layak Huni .....	290
18.7	Tata Kelola Kolaboratif Kota .....	296
18.8	Pelajaran Bagi Dunia Yang Mengalami Urbanisasi .....	297
18.9	Rekomendasi .....	298
<b>BAB 19</b>	<b>PELUANG DAN TANTANGAN UNTUK BANGUNAN CERDAS .....</b>	<b>299</b>
19.1	Pendahuluan .....	299
19.2	Definisi Bangunan Cerdas .....	299
19.3	Penggerak Bangunan Cerdas Terpadu .....	300
19.4	Menciptakan Nilai .....	301
19.5	Memenuhi Kebutuhan Klien Untuk Bangunan Cerdas .....	302
19.6	Perjalanan Klien Menuju Solusi Bangunan Cerdas Terpadu .....	303
19.7	Peningkatan Nilai Dan Peluang Pendapatan Non-Sewa.....	304
19.8	Bangunan Berkelanjutan .....	305
19.9	Hambatan Dan Cara Mengatasinya .....	306
19.10	Masa Depan Bangunan Cerdas .....	307
<b>BAB 20</b>	<b>MASA DEPAN YANG INOVATIF .....</b>	<b>308</b>
20.1	Pendahuluan .....	308
20.2	Apa Itu Inovasi? .....	309
20.3	Memahami Sejarah Inovasi .....	311
20.4	Apa Yang Dapat Kita Harapkan Dari Inovasi? .....	313
20.5	Sasaran, Gagasan, Dan Tren .....	314
20.6	Keberlanjutan .....	317
20.7	Teknologi, Informasi, Dan Komunikasi Global .....	317
20.8	Nanoteknologi Dan Bioteknologi .....	319
20.9	Biomimetika .....	319
20.10	Inovasi Di Seluruh Dunia .....	320
20.11	Masa Depan Inovatif Untuk Bangunan Dan Kota Cerdas Berkelanjutan .....	320
20.12	Kesimpulan .....	324
20.13	Masa Depan .....	325
<b>Daftar Pustaka .....</b>		<b>328</b>

# BAB 1

## BANGUNAN CERDAS YANG BERKELANJUTAN DAN SEHAT BAGI MANUSIA

Bangunan cerdas menanggapi kebutuhan penghuninya dan masyarakat, bangunan tersebut fungsional dan berkelanjutan serta meningkatkan kesejahteraan orang yang tinggal dan bekerja di dalamnya.

### 1.1 PENDAHULUAN

*Bangunan cerdas adalah bangunan yang responsif terhadap kebutuhan penghuni, organisasi, dan masyarakat. Bangunan tersebut berkelanjutan dalam hal konsumsi energi dan air selain rendah polusi dalam hal emisi dan limbah; sehat dalam hal kesejahteraan bagi orang yang tinggal dan bekerja di dalamnya; dan fungsional sesuai dengan kebutuhan pengguna.*

*Clements-Croome dkk. (2009)*

Bangunan cerdas harus berkelanjutan. Ini berarti mempertahankan kinerjanya sehubungan dengan energi, air, limbah, dan polusi untuk generasi mendatang. Lebih dari itu, bangunan cerdas harus menjadi tempat yang sehat untuk tinggal dan bekerja; dilengkapi dengan teknologi andal yang sesuai; memenuhi peraturan; menanggapi kebutuhan penghuninya; fleksibel, mudah beradaptasi, dan tahan lama; dan memberikan nilai untuk uang. Arsitektur menyediakan landmark dalam peradaban kita, jadi daya tarik visualnya juga tetap penting.

Bangunan akan berisi berbagai sistem yang dirancang oleh manusia, namun hubungan antara bangunan dan manusia hanya dapat berjalan dengan memuaskan jika ada integrasi antara pemangku kepentingan sisi penawaran (konsultan desain, kontraktor dan produsen) dan sisi permintaan (pengembang, pemilik bangunan dan penghuni), serta antara penghuni, sistem dan bangunan. Pemikiran sistem sangat penting dalam perencanaan, desain dan manajemen, bersama dengan kemampuan untuk menciptakan dan berinovasi sambil tetap praktis (Emes et al., 2012). Semua ini membutuhkan pemikiran holistik (DeKay, 2011). Tabel 1.1 merangkum karakteristik utama pemikiran holistik yang kontras dengan pendekatan atomistik.

Elliott menjelaskan enam prinsip desain sistem terintegrasi yang ditetapkan oleh Royal Academy of Engineering Inggris yang mencakup ringkasan; perlunya prosedur yang terstruktur dengan baik; pentingnya kriteria manusia dan sosial; dan kerja tim yang efektif, semuanya didorong oleh pemikiran holistik dan kreatif.

Jowitt dalam Pidato Kepresidenannya di UK Institution of Civil Engineers pada bulan November 2009 menyatakan:

*Sekaranglah saatnya untuk mengambil pandangan sistemik terhadap dunia dan memberikan solusi tingkat sistemik.*

**Tabel 1.1 Pendekatan teknis atomistik dan sosio-teknis holistik terhadap lingkungan binaan**

	<b>Atomistik</b>	<b>Holistik</b>
<b>Alam</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sempit: berfokus pada elemen individual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luas: elemen-elemen dilihat sebagai saling terkait; interoperabilitas penting</li> </ul>
<b>Perspektif</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistem individual dalam isolasi</li> <li>• Pandangan disiplin tunggal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistem secara keseluruhan</li> <li>• Pandangan interdisipliner dan transdisipliner</li> </ul>
<b>Sebab dan akibat</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hanya melihat efek langsung</li> <li>• Rantai kausalitas yang pendek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terpisah dalam ruang dan waktu</li> <li>• Rantai kausalitas yang panjang, efek berantai, konsekuensi yang tidak diinginkan, efek umpan balik</li> </ul>
<b>Gaya rekomendasi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teknokratik</li> <li>• Regulasi dan kepatuhan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sosio-teknis</li> <li>• Melampaui peraturan</li> </ul>
<b>Hasil (yang diamati dan dicari)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rentang respons yang sempit terhadap kebutuhan pengguna</li> <li>• Manajemen risiko yang defensif</li> <li>• Manajemen perintah dan kontrol; kerangka kerja dan prosedur; memanfaatkan kebijaksanaan dan kreativitas profesional</li> <li>• Budaya kepatuhan</li> <li>• Fokus pada proses, kerangka kerja, dan prosedur yang terstandarisasi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Respons yang fleksibel untuk memenuhi kebutuhan pengguna</li> <li>• Penerimaan risiko yang tidak dapat dikurangi</li> <li>• Manajemen yang mendukung mendorong kreativitas, penemuan, dan kewirausahaan</li> <li>• Umpan balik yang komprehensif</li> <li>• Berfokus pada membangun kebutuhan pengguna dengan jalur yang memberikan hasil bernilai tinggi seperti kesejahteraan yang baik dan produktivitas yang tinggi</li> </ul>

Emes dkk. menunjukkan bagaimana hal ini dapat dicapai dengan mempelajari pelajaran dari metode yang digunakan dalam desain wahana antariksa.

Tujuan akhir haruslah kesederhanaan daripada kerumitan, dan ini paling baik dicapai dengan arsitektur yang responsif secara alami. Ini tidak hanya membutuhkan kemampuan teknis tetapi juga kekuatan interpretasi, imajinasi, dan bahkan intuisi. Peraturan Bangunan dapat menghambat kreativitas tetapi diperlukan untuk menetapkan tingkat harapan minimum dan mematuhi persyaratan kesehatan dan keselamatan. Namun, kita harus bertujuan untuk merancang jauh di atas kondisi ini. Bagaimanapun, bangunan membentuk lanskap arsitektur

kita dan bangunan, serta lingkungan yang dihasilkannya, harus mengangkat jiwa dan semangat orang-orang di dalamnya serta orang-orang yang melewatinya.

Penciptaan visi bersama, tim yang efektif, dan proses desain dan manajemen yang jelas dan kuat memastikan bahwa bangunan cerdas akan secara efektif menunjukkan tujuan yang dimaksudkannya dalam penggunaan. Waktu berubah seiring dengan berkembangnya teknologi dan masyarakat, jadi perlu ada pandangan jangka panjang oleh tim. Isu inovasi utama untuk bangunan cerdas meliputi keberlanjutan (energi, air, limbah, dan polusi), penggunaan teknologi pencetakan 3D dan 4D, penggunaan teknologi informasi dan komunikasi, robotika, teknologi sensor tertanam, teknologi material pintar (termasuk nanoteknologi), kesehatan di tempat kerja, dan perubahan sosial.

Fasad yang menggunakan material pintar, misalnya, akan memberikan bentuk umpan balik yang canggih dan tingkat kontrol yang tinggi selain mengatur transmisi panas, udara, dan cahaya. Akhirnya, dengan melapisi dan menanamkan material dengan nanopartikel, kita akan dapat menentukan sifat material dengan lebih mudah. Struktur dengan pelapis nano seng oksida, misalnya, dapat mempercepat pembuangan panas. Material penyembuhan diri akan merevolusi fasad di masa mendatang. Coxworth (2010) menjelaskan bagaimana matriks beton yang ditanamkan dengan kapsul agen penyembuhan natrium silikat dapat memperbaiki retakan, dengan natrium silikat dari kapsul yang pecah berinteraksi dengan kalsium hidroksida dalam beton untuk membentuk gel yang menutup retakan.

Sebaliknya, orang tidak boleh lupa bahwa material dasar seperti rami, jerami, tanah padat, komposit limbah, dan batu bata wol dan rumput laut semuanya menawarkan kemungkinan solusi yang berkelanjutan. Kain yang terbuat dari batang teratai dilaporkan dalam Financial Times. Beton Novacem adalah material berenergi rendah yang dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir di Imperial College di London. Di masa mendatang, material baru yang menakjubkan, grafena, diharapkan dapat memberikan dampaknya pada desain fasad.

Namun, inovasi harus menjadi pendorong, bukan tujuan akhir. Desain lingkungan pasif sama pentingnya sehingga permintaan energi dapat diminimalkan dengan menggunakan cara-cara alami seperti massa, orientasi, dan bentuk bangunan untuk menangkap sinar matahari, udara segar, dan air hujan. Namun, kita tidak dapat mengabaikan perkembangan pesat dalam teknologi digital. Dalam kata-kata arsitek Hong Kong, James Law:

*“Pada abad ke-21, bangunan akan berbeda dari abad ke-20. Bangunan tidak lagi menggunakan beton, baja, dan kaca, tetapi juga material baru yang tidak berwujud berupa teknologi, multimedia, kecerdasan, dan interaktivitas. Hanya dengan mengenali hal ini, bentuk arsitektur baru akan terungkap, yaitu Cybertecture.”*

Pasar kontrol bangunan pintar kuat di seluruh dunia bahkan setelah periode ekonomi suram tahun 2009. Pasar terbesar berada di AS, Asia, Timur Tengah dan Eropa tetapi beberapa negara yang lebih kecil menunjukkan pertumbuhan yang cepat. Building Services Research and Information Association (BSRIA, 2009) mencatat bahwa Skandinavia, Jerman dan Qatar

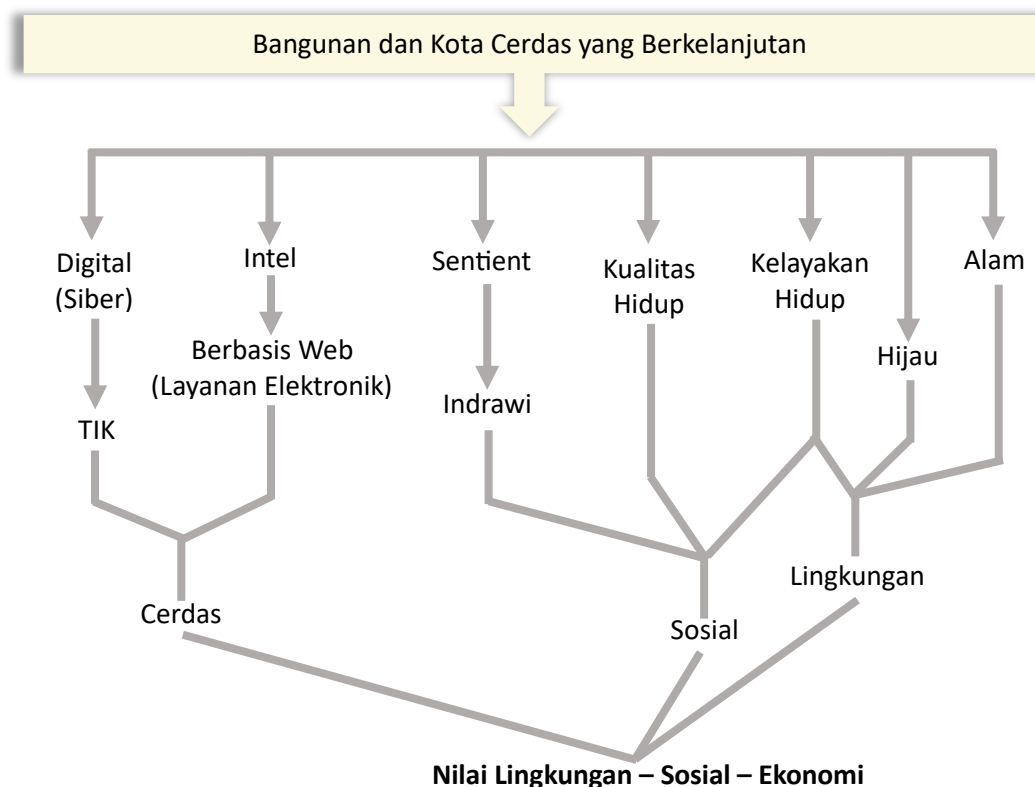


menghabiskan sebagian besar per kapita untuk kontrol cerdas yang canggih pada saat itu.

Meningkatnya permintaan untuk bangunan pintar yang berkelanjutan, sehat dan rendah karbon tampaknya akan mempertahankan pasar yang dinamis ini, terutama karena negara-negara berkembang seperti Cina, India dan Brasil memiliki pasar konstruksi yang besar. Sistem manajemen gedung (BMS) menyediakan kontrol dan interoperabilitas antara berbagai sistem yang melayani gedung. Inovasi seperti standar dan protokol komunikasi umum dan terbuka berbasis internet semakin membuatnya lebih penting untuk mengintegrasikan sistem dalam bangunan pintar. Hal ini pada gilirannya akan membutuhkan berbagai keahlian profesional yang dapat memaksa perubahan budaya.

## 1.2 TERMINOLOGI

Banyak istilah yang digunakan. Haruskah kita sebut bangunan cerdas atau bangunan pintar? Lalu ada bangunan berakal budi (Mahdavi, 2006), yang menggambarkan seberapa baik bangunan merespons perubahan kebutuhan penghuninya.



**Gambar 1.1** Klasifikasi Istilah

Mahdavi menekankan bahwa bangunan berakal budi harus diukur secara terus-menerus dengan jaringan sensor yang dapat memprediksi dan juga mengaktifkan perubahan sesuai dengan keadaan. Gambar 1.1 berkenaan dengan kota dibahas dalam Bab 18, tetapi juga berlaku untuk bangunan individual. Aspek otomatisasi dan teknologi tinggi, terutama dalam teknologi informasi dan komunikasi, adalah elemen cerdas yang penting, tetapi bangunan juga

perlu merespons faktor sosial dan lingkungan, dan ini menonjolkan bahasa desain lingkungan pasif berteknologi rendah. Bangunan cerdas meningkatkan nilai sosial ekonomi lingkungan.

### **1.3 INTEGRASI: BANGUNAN, SISTEM, DAN MANUSIA**

Sebuah gedung perkantoran modern membutuhkan banyak sistem bangunan agar dapat berfungsi, dan integrasi sistem memungkinkan interaksi di antara sistem-sistem tersebut sehingga terjadi interoperabilitas.

Sistem-sistem tersebut terdiri dari banyak produk. Pada tingkat strategis, integrasi membutuhkan pertimbangan interaktif antara manusia, proses, dan produk, sehingga tujuannya adalah untuk mencapai integrasi selama proses perencanaan, perancangan, pembangunan, dan pengoperasian gedung beserta berbagai sistemnya demi kepentingan manusia dan organisasi. Hal ini akan membutuhkan pemantauan dan pengendalian yang baik, dengan informasi yang diperoleh digunakan untuk meningkatkan kinerja dan kualitas gedung baru dan lama.

Arah mendasar yang mendominasi keputusan untuk melakukan integrasi adalah untuk mencapai pengurangan biaya dan sumber daya yang substansial, tetapi dengan pengoperasian sistem yang lebih efektif demi kepentingan penghuninya. Bowen dalam sebuah laporan untuk Converged Building Technologies Group menunjukkan bahwa pendekatan sistem terbuka yang terintegrasi menghasilkan biaya siklus hidup tahunan sebesar 57 p/m<sup>2</sup>, dibandingkan dengan 90 p/m<sup>2</sup> untuk pendekatan tradisional karena biaya pengoperasian yang lebih rendah akibat perawatan dan peningkatan yang lebih cepat.

Everett memberikan bukti yang menunjukkan bahwa bangunan cerdas dapat mencapai laba atas investasi yang sangat menguntungkan. CIB menerbitkan White Paper 328, Integrated Design and Delivery Solutions (Owen, 2009), yang menunjukkan dampak dan keuntungan dari proses kolaboratif; keterampilan yang ditingkatkan; sistem informasi dan otomatisasi yang terintegrasi; dan, yang terakhir namun tidak kalah pentingnya, manajemen pengetahuan oleh orang, proses, dan teknologi. Yang terakhir sekarang dianut oleh pemodelan informasi bangunan (BIM), seperti yang dijelaskan dalam Bab 11.

Sering kali kita cenderung menyoroti bangunan baru, tetapi sebagian besar stok bangunan di Eropa yang akan ada pada tahun 2050 ada di sekitar kita sekarang. Untuk perbaikan bangunan yang sudah ada, Hirigoyen dan Newell mempertimbangkan Empire State Building. Rencana senilai Rp.550 juta tersebut bertujuan untuk mengurangi konsumsi energi hingga 38%; mencapai penghematan tahunan sebesar Rp.220 juta, dengan pengembalian modal dalam waktu 3 tahun; mengurangi emisi karbon hingga 105.000 metrik ton selama 15 tahun; dan penyelesaian proyek dalam waktu 2 tahun. Pengurangan energi utama disebabkan oleh perbaikan kaca rangkap tiga; kontrol pencahayaan dan pendingin ruangan yang lebih baik; ventilasi dengan kontrol permintaan; dan perbaikan lift serta sistem manajemen energi penyewa. Perbaikan cerdas dapat dilakukan dengan berbagai teknologi dan metode konstruksi yang mudah beradaptasi yang tersedia saat ini.

#### **Orang, proses, dan produk**

Bangunan dirancang dan dibangun oleh orang-orang agar orang-orang dapat bekerja

dan tinggal di dalamnya. Bangunan berfungsi secara alami tetapi juga melalui sistem yang terdiri dari banyak produk. Semua ini memerlukan proses desain dan manajemen untuk menyediakan dan memelihara bangunan bagi pelanggan. Integrasi yang efektif memastikan proses dan produk (sistem) bekerja secara efektif bagi orang-orang.

Selama berabad-abad, manusia telah berupaya mengendalikan suhu, kelembapan, dan aliran udara, sehingga pembangunan perkotaan dapat dilakukan di lokasi yang paling tidak ramah. Perkembangan seperti penerangan listrik, AC, dan sistem kaca pintar melonggarkan batasan pada bentuk bangunan dan masalah jendela, tetapi kini diimbangi oleh program pengurangan karbon yang sejarahnya di seluruh dunia dicontohkan oleh arsitektur vernakular dunia yang selalu penting.

Kemampuan untuk menerangi seluruh kedalaman kantor secara artifisial merupakan perkembangan penting, tetapi ini harus diimbangi dengan kebutuhan manusia akan cahaya alami, pentingnya pemandangan ke dunia luar selain kebutuhan untuk mengurangi konsumsi energi. Permintaan akan bangunan netral karbon dengan konsumsi energi operasional dan terwujud nol bersih berarti desain pasif sangat penting untuk menjaga beban energi dasar tetap rendah. Sistem pasif juga memiliki biaya perawatan yang lebih rendah daripada sistem aktif, selain ruang pabrik yang berkurang dan daya tahan yang meningkat. Bangunan yang menanggapi kebutuhan manusia secara efektif cenderung lebih berkelanjutan sedangkan tidak semua bangunan rendah karbon efektif bagi pengguna.

Bangunan cerdas memerlukan proses cerdas. Industri bangunan komersial adalah serangkaian pasar terkait yang diatur sepanjang rantai nilai atau aliran nilai, di mana setiap tautan yang terhubung secara longgar memberikan nilai pada proses tersebut. Sementara semua berbagai tautan tersebut digabungkan membentuk proses, masing-masing ada sebagai dunia sosial yang agak terpisah dengan budaya, logika, bahasa, peserta, minat, dan tuntutan peraturannya sendiri yang berbeda. Dengan memahami perbedaan antara semua berbagai pasar dalam konstruksi, pemahaman baru dan lebih baik tentang industri konstruksi itu sendiri dapat dikembangkan (Gray dan Flanagan, 1989; Gruneberg, 2000). Terlalu sering aspirasi konsultan dan kontraktor berbeda.

Proses dalam organisasi bisnis apa pun terus berubah, baik melalui undang-undang, misalnya, Peraturan Bangunan Inggris 2006 dan 2010 yang berubah untuk Bagian F (ventilasi) dan L (energi) (TSO, 2000a,b), mengubah perspektif klien dan mengingat bahwa pemerintah internasional menuntut pengurangan karbon yang substansial di seluruh bangunan, transportasi, dan industri. Perusahaan yang memiliki proses yang terdokumentasi dengan baik, mudah diakses, dan menyeluruh dapat menilai dampak penuh dari perubahan ini pada model bisnis mereka, dan akan dapat mengadaptasinya dengan cepat dan lebih konsisten. Integrasi yang efektif memerlukan

- ✓ pengarahannya yang baik berdasarkan misi dan visi yang terdefinisi dengan baik pada tahap awal proyek
- ✓ koordinasi informasi di seluruh proses pembangunan
- ✓ beberapa proses dan produk yang terstandarisasi daripada proliferasi sistem hak milik; misalnya, prefabrikasi memiliki banyak keuntungan (Cooper, 2010)

- ✓ interoperabilitas sistem dan antarmukanya
- ✓ bukti dokumenter tentang proses terintegrasi
- ✓ proses yang terbukti dan teruji untuk diadaptasi dan digunakan pada proyek serupa lainnya
- ✓ proses audit dan pemantauan
- ✓ proses kerja yang terdefinisi dengan baik
- ✓ kesatuan visi antara konsultan, kontraktor, produsen, dan manajer fasilitas.

Sektor konstruksi telah mengalami perubahan struktural yang luas selama tiga dekade terakhir, dan perubahan ini berdampak pada cara organisasi dan orang-orang di industri konstruksi menjalankan pekerjaan mereka. Cara praktisi yang terhubung oleh suatu proyek tetapi independen dalam pemikiran kemudian memahami, merancang, dan membangun produk mereka secara langsung memengaruhi cara sistem diintegrasikan dalam sektor jasa, khususnya sistem jasa bangunan. Perubahan akan terus berlanjut, dan ini tidak hanya mencakup keadaan pengetahuan dan pemahaman kita, tetapi juga sifat disiplin ilmu kita dan kebutuhan untuk merangkul pengalaman dari kelompok pemangku kepentingan yang lebih luas.

Bellenger dalam pidato kepresidenannya di ASHRAE menyatakan bahwa keberhasilan setiap pemodelan untuk dunia yang berkelanjutan akan bergantung pada proses kolaboratif di mana semua disiplin ilmu dalam desain dan manajemen bekerja sebagai tim terpadu dari awal hingga akhir. Kita harus memahami saling ketergantungan antara semua sistem dan belajar untuk berkomunikasi di antara disiplin ilmu dengan jauh lebih efektif. Ia menyerukan perubahan budaya dalam pemikiran di industri konstruksi AS, menggemakan kesimpulan Laporan Latham dan Egan tahun 1990-an di Inggris (Egan, 1998; Latham, 1994).

Sangat penting untuk memiliki pemahaman tentang hubungan antara berbagai praktisi dan sudut pandang mereka yang berbeda agar integrasi yang tepat dapat terjadi, suatu hal yang ditegaskan berulang kali oleh Ove Arup (Jones, 2006). Fokus dan tujuan terpenting dari suatu proyek untuk berbagai anggota tim desain dan konstruksi tradisional tercantum dalam Tabel 1.2, dan ini perlu dihargai oleh semua pemangku kepentingan jika ingin ada saling pengertian di antara mereka.

Agar integrasi dapat tercapai, sangat penting untuk menunjuk seorang integrator sistem di awal proyek. Integrator sistem memastikan bahwa semua pemangku kepentingan terintegrasi ke dalam proyek, dan harus memiliki keterampilan berikut.

- 1) Pengalaman tentang bagaimana sistem dapat diintegrasikan.
- 2) Kemampuan untuk berpikir secara strategis dan inovatif lintas disiplin ilmu.
- 3) Keterampilan logistik.
- 4) Keterampilan kepemimpinan dan komunikasi yang baik.

Pemilihan integrator sistem bergantung pada keterampilan ini, bukan pada disiplin ilmu tertentu.

### **Teknologi dan integrasi**

Ada empat tahap yang harus menjadi fokus perhatian jika sistem ingin efektif dalam praktik.

- 1) Desain dan pemasangan.



- 2) Komisioning pra-penghunan dan evaluasi pasca-penghunan.
- 3) Operasi dan pemeliharaan termasuk diagnostik kesalahan.
- 4) Peningkatan teknologi.

**Tabel 1.2 Fokus dan tujuan semua pihak yang berkepentingan dalam proses desain dan konstruksi tradisional**

Pemangku kepentingan	Fokus	Tujuan
<b>Pengguna</b>	Kesejahteraan	Kegunaan dan komunikasi; kondisi kesehatan
<b>Klien</b>	Nilai untuk uang	Keandalan, kualitas dan ekonomi; layanan purnajual; isu keberlanjutan yang semakin meningkat
<b>Desainer (misalnya arsitek, insinyur)/konsultan</b>	Lingkungan/struktur/estetika	Kualitas dan keandalan secara keseluruhan; kebutuhan klien dan solusi berkelanjutan
<b>Pengembang/ perencana/ surveyor</b>	Bisnis/ekonomi	Kesesuaian dengan persyaratan; seringkali, prospek biaya modal
<b>Kontraktor</b>	Masalah operasional konstruksi	Kualitas, keuntungan, jadwal waktu dan pengerjaan
<b>Manajer proyek</b>	Konstruksi/operasional/waktu	Integrasi; memfasilitasi sumber daya; koordinasi; komisioning; jadwal
<b>Manajer fasilitas</b>	Target operasional/perawatan setelahnya/pemeliharaan/kinerja	Ketersediaan – ini harus mencakup evaluasi pasca hunian; memenuhi target konsumsi energi/air; penghuni
<b>Pemodal</b>	Waktu dan anggaran	Penyelesaian proyek yang sukses tepat waktu dan sesuai anggaran

Penggerak teknologi yang dapat menghambat integrasi sistem adalah:

- ✓ kecepatan inovasi, sehingga teknologi cepat ketinggalan zaman
- ✓ kurangnya interoperabilitas antar sistem
- ✓ ketersediaan operasional sistem – keandalan sangat penting jika waktu henti yang mahal ingin dihindari
- ✓ kegunaan yang buruk.

#### 1.4 MANUSIA: DESAIN SENSORIK LINGKUNGAN

Pengalaman kerja setiap pekerja di setiap kantor, pabrik, gudang, toko, atau bank sangat dipengaruhi oleh kualitas dan organisasi lingkungan kerja fisik. Bangunan tempat mereka bekerja dan tata letaknya akan memberikan kedekatan dengan rekan kerja, visibilitas bagi supervisor, tingkat privasi akustik dan visual, tingkat suhu dan cahaya tempat mereka

bekerja, dan kualitas udara yang mereka hirup. Hal ini akan sangat sering memengaruhi kesehatan mereka. Bangunan memengaruhi orang dengan berbagai cara.

Bangunan dapat membantu kita bekerja lebih efektif; bangunan juga menghadirkan berbagai rangsangan bagi indera kita untuk bereaksi. Bangunan cerdas dirancang agar estetik dalam hal sensorik tidak hanya menarik secara visual, tetapi juga tempat penghuninya merasakan kesenangan, kesegaran, kesejukan, cahaya matahari, pemandangan, dan suasana sosial. Semua faktor ini berkontribusi pada estetika umum yang memberikan kesenangan dan memengaruhi suasana hati seseorang. Jika visi bersama ingin dicapai, penting bagi arsitek, insinyur, dan klien untuk bekerja sama secara erat selama tahap perencanaan, desain, konstruksi, dan operasional, yang merupakan representasi dari konsepsi, kelahiran, dan kehidupan bangunan, untuk mencapainya.

Harus ada pemahaman tentang bagaimana pola kerja sesuai dengan bentuk bangunan tertentu yang didukung oleh sistem lingkungan yang sesuai. 'Bentuk mengikuti fungsi' adalah frasa yang sering dikutip. Sejumlah teknologi bermunculan yang membantu proses ini, tetapi pada akhirnya, cara kita berpikir tentang pencapaian bangunan yang responsiflah yang penting. Bangunan cerdas harus mampu mengatasi perubahan sosial dan teknologi serta dapat beradaptasi dengan kebutuhan manusia jangka pendek dan jangka panjang. Sebagai manusia, kita hidup melalui indera utama kita menggunakan penglihatan, pendengaran, sentuhan, penciuman, dan perasa, yang masing-masing dirangsang oleh lingkungan di sekitar kita.

Oleh karena itu, bangunan cerdas harus memberikan pengalaman multisensori yang menyenangkan bagi penghuninya dan membantu memaksimalkan produktivitas tenaga kerja. Namun, desain sensorik lebih dari sekadar pengaturan tingkat suhu untuk kenyamanan termal. Setiap rancangan desain harus menetapkan kriteria khusus untuk cahaya matahari (penglihatan), kualitas udara (bau, yang terkait dengan rasa), suhu (sentuhan), dan suara (pendengaran). Namun, hal ini saja tidak cukup untuk memaksimalkan produktivitas dan menghasilkan lingkungan kerja yang kondusif, karena setiap indera memiliki berbagai gradien kepekaan yang berpadu dengan indera lain untuk menciptakan pengalaman lingkungan yang holistik.

Kriteria yang ditentukan hanyalah titik awal bagi tim desain: tujuan utamanya adalah untuk mencapai lingkungan yang menginspirasi dan kondusif bagi kesejahteraan dan produktivitas. Oleh karena itu, bangunan cerdas harus memiliki lingkungan yang menyenangkan untuk bekerja dan ditinggali. Untuk mencapai hal ini diperlukan pemikiran kreatif dan kepekaan dalam desain konsepsi. Terlalu sering, jadwal dan uang membatasi waktu untuk berpikir, tetapi setidaknya kita harus mencoba menetapkan apa yang mendefinisikan lingkungan motivasional suatu organisasi.

Baik merancang bangunan baru atau merenovasi bangunan lama, klien harus menggambarkan dengan kata-kata karakter ruang yang mereka butuhkan untuk bangunan tersebut, dan kemudian tim terpadu harus menafsirkan persyaratan ini dalam hal estetika sensorik, fungsi, keberlanjutan, dan nilai. Bangunan cerdas harus meningkatkan kesejahteraan dengan menyediakan pengalaman multisensori yang baik. Jika suatu lingkungan kondusif bagi

kesehatan dan kesejahteraan, lingkungan tersebut harus menunjukkan karakteristik berikut.

- Lingkungan termal yang segar.
- Tingkat ventilasi untuk menyediakan udara segar dengan distribusi yang baik dan tingkat karbon dioksida dan polutan lain yang dapat diterima (partikel, alergen, dan senyawa organik yang mudah menguap).
- Banyaknya cahaya alami.
- Tidak ada silau cahaya.
- Perencanaan tata ruang dan pengaturan yang sesuai dengan berbagai jenis pekerjaan.
- Tempat kerja yang ergonomis untuk meminimalkan gangguan muskuloskeletal.
- Polusi minimum dari sumber eksternal, termasuk kebisingan.

Kontrol pribadi terhadap faktor-faktor ini penting. Kontrol terpusat untuk hal-hal seperti keamanan sudah bagus, tetapi orang lebih suka memiliki beberapa tingkat kontrol atas lingkungan sekitar mereka. Ada faktor lain seperti warna. Selain itu, lokasi bangunan sehubungan dengan alam juga penting. Ulrich menunjukkan bagaimana pemandangan dari jendela rumah sakit ke tanaman hijau mengurangi tingkat pemulihan; Alvarsson et al. (2010) menunjukkan bahwa suara alam membantu pemulihan stres fisiologis.

Tanaman hijau dan air yang tenang atau mengalir menenangkan tubuh dan jiwa di iklim yang sangat panas. Isu-isu ini dibahas dalam Bab 2 mengenai biofilia. Ada banyak bukti yang menunjukkan bahwa lingkungan memengaruhi kinerja kerja, jadi harus ada keseimbangan antara langkah-langkah pengurangan energi dan penyediaan kondisi terbaik bagi orang untuk bekerja. Oleh karena itu, masalahnya menjadi masalah nilai. Ini berarti kualitas serta biaya seumur hidup penting.

Jika kinerja organisasi bergantung pada kinerja kolektif individu, maka desain bangunan harus berkonsentrasi pada prinsip-prinsip desain yang berpusat pada pengguna sebuah masalah yang dibahas secara rinci oleh Haines dan Mitchell dalam Bab 9. Pekerjaan yang dilakukan oleh Evans dkk. (1998) menyimpulkan bahwa rasio yang didefinisikan sebagai total biaya kepemilikan (TCO) untuk sebuah bangunan adalah 1 : 5 : 200: nilai-nilai numerik ini akan bervariasi, tetapi skala rasionya tetap sama.

1: Biaya desain dan konstruksi yang termurah biasanya bukan solusi jangka panjang. 5: Biaya pengoperasian dan pemeliharaan didorong oleh desain bangunan. 200: Biaya operasional bisnis gaji dan biaya organisasi lainnya, dan produktivitas (yang dipengaruhi oleh desain dan manajemen gedung serta etos organisasi dan isu sosial dan motivasional). Hughes dkk. (2004) dan Wu dan Clements-Croome memberikan rasio lainnya. Namun, kesimpulan utamanya tetap bahwa biaya operasional bisnis mendominasi dan bersifat jangka panjang. Tidak hanya bukti penelitian tetapi juga beberapa survei yang dilakukan dalam praktik menunjukkan bahwa bangunan yang dirancang, dirawat, dan dikelola dengan baik dapat menghasilkan peningkatan produktivitas yang signifikan.

## 1.5 PRODUK DAN SISTEM

### Sistem manajemen gedung cerdas

Deary (2001) dari sudut pandang yang dikumpulkan menganggap bahwa kecerdasan sebagian besar dapat dijelaskan oleh berbagai kapasitas seperti penalaran, pemecahan masalah, perolehan pengetahuan, memori, kecepatan operasi, kreativitas, pengetahuan umum, dan motivasi. BMS mengumpulkan informasi, yang kemudian memerlukan interpretasi untuk memperoleh pengetahuan dengan pemahaman, dan ini berarti pengetahuan berdasarkan pengalaman juga penting.

Tantangan bagi bangunan cerdas adalah melihat sejauh mana aspek kecerdasan manusia ini dapat dicapai dalam desain dan pengoperasiannya. Selama 20 tahun terakhir, banyak bangunan berbeda telah diberi label cerdas. Akan tetapi, penerapan kecerdasan dalam bangunan belum memberikan potensi sebenarnya. Industri memiliki banyak solusi bangunan cerdas yang mapan; tetapi sulit untuk menunjukkan dan membuktikan manfaatnya. Bangunan cerdas berkelanjutan meningkatkan nilai bisnis karena memperhitungkan kebutuhan lingkungan dan sosial, serta kesejahteraan penghuninya, yang mengarah pada peningkatan produktivitas kerja.

Sistem yang ideal menghubungkan bangunan, sistem di dalamnya, dan penghuninya sehingga mereka memiliki sejumlah kendali pribadi. Kontrol cerdas membantu mencocokkan pola permintaan. Jika kita bandingkan dengan otak, Anda memerlukan jalur saraf berkualitas baik dan sambungan yang efisien di sinapsis, tetapi kinerja keseluruhan lebih ditentukan oleh efektivitas konektivitas antara jalur tersebut daripada hal lainnya. Seperti otak, BMS yang terintegrasi memungkinkan sistem yang terpisah untuk bekerja sama, dalam hal ini untuk kontrol bangunan yang efektif. Sering kali, BMS tidak dapat memenuhi harapan pengguna karena sejumlah faktor yang menantang.

- Sistem mungkin salah ditetapkan karena banyaknya pemangku kepentingan yang memiliki persyaratan yang saling bertentangan.
- Kegunaan sistem belum dipertimbangkan.
- Sulit untuk mencapai konsensus mengenai kriteria kinerja optimal BMS agar sesuai dengan perilaku bangunan.
- Kurangnya kompatibilitas dan interoperabilitas antara berbagai sistem.
- Faktor-faktor pengganggu yang timbul dari masalah sosial-ekonomi dan organisasi dapat mempersulit pengoperasian BMS.

Metode kontrol lingkungan pasif memastikan bahwa sistem aktif memiliki persyaratan daya yang lebih rendah sehingga pencocokan arsitektur dan sistem rekayasa dan selanjutnya pemilihan teknologi yang tepat untuk menyediakan ventilasi, pemanasan, dan pendinginan menjadi hal yang terpenting. Campuran kontrol lingkungan otomatis dan manual dapat meminimalkan konsumsi energi dan meningkatkan kesejahteraan penghuni menggunakan tingkat kontrol pribadi yang tinggi. Kinerja bangunan dapat ditingkatkan lebih lanjut dengan strategi kontrol cerdas yang menggunakan teknologi yang ada dan yang sedang berkembang, seperti yang dijelaskan dalam Tabel 1.3.

**Tabel 1.3 Strategi Kontrol Cerdas**

<i>Kontrol cerdas</i>	<i>Komentar</i>
<i>Sistem manajemen gedung (BMS)</i>	BMS mengintegrasikan kontrol semua layanan yang dibutuhkan bangunan.
<i>Pergeseran/pembagian beban</i>	Pendinginan dapat disimpan sebagai es pada periode non-puncak dan digunakan untuk mengurangi beban pendinginan selama periode puncak. Keuntungan: harga biasanya lebih rendah dan instalasi pendingin dioperasikan mendekati beban penuh.
<i>Kontrol respons permintaan</i>	Kontrol respons permintaan (CABA, 2007) dikembangkan sebagai metode pengelolaan konsumsi energi selama pemadaman listrik bergilir di California pada tahun 1980-an. Metode ini bekerja dengan memiliki sistem kontrol yang mengurangi permintaan selama harga listrik puncak, sehingga mengurangi biaya dan permintaan pada periode puncak.
<i>Pengukuran pintar</i>	Meter dapat dipasang untuk memantau konsumsi energi sesaat dan memungkinkan sistem kontrol untuk memvariasikan pencahayaan dan HVAC (pemanas, ventilasi, dan pendingin udara) sebagai respons terhadap beban, perubahan cuaca, dan harga energi. Meter pintar akan memungkinkan pengelola fasilitas untuk mengidentifikasi area yang memerlukan perhatian.
<i>Jaringan pintar</i>	Jaringan cerdas adalah interaksi dua arah antara pemasok energi dan pelanggan yang menggunakan sistem TI. Jaringan cerdas memungkinkan perusahaan energi mengelola puncak dan palung dengan mengelola pasokan dan permintaan secara cerdas. Peningkatan instalasi energi terbarukan seperti membangun sistem surya terpadu dan ladang angin lepas pantai akan memerlukan kontrol cerdas antara sistem energi terpusat dan terdistribusi. Bangunan cerdas dapat menghasilkan energinya sendiri, dan dengan demikian menjadi pemasok sekaligus konsumen energi.

Sistem kontrol dan jaringan komunikasi berkembang pesat, dan dalam waktu dekat orang dapat berharap untuk melihat penghuni memiliki lebih banyak kontrol dan interaksi dengan bangunan dan sistem. Penelitian sebelumnya menunjukkan bagaimana kontrol pribadi yang lebih besar dapat dicapai dengan mengadopsi sistem multi-agen untuk pengoperasian bangunan (MASBO) menggunakan pemodelan semiotik. Tujuan utama MASBO adalah untuk mendukung manajemen kinerja energi berkelanjutan yang efektif, dengan mempertimbangkan kesejahteraan dan produktivitas penghuni.

Semiotika adalah disiplin ilmu tanda dan informasi yang telah lama ada yang digunakan dalam berbagai lingkungan sosial, budaya dan bisnis, dan sangat relevan dengan lingkungan

binaan. Dari sudut pandang semiotik, ruang untuk bekerja dan tinggal didefinisikan oleh dua aspek penting: ruang fisik dan informasi tempat penghuninya tidak hanya menikmati fasilitas fisik tetapi juga rambu dan informasi. Rambu, seperti warna dekorasi interior, tata letak dan bentuk furnitur, dan akses ke fasilitas, dipersepsikan oleh penghuni, dan akan memproyeksikan pesan untuk ditafsirkan.

Akan ada interaksi konstan antara bangunan dan penghuninya melalui penggunaan rambu dan informasi tersebut yang dimediasi oleh teknologi. Begitu memasuki bangunan, penghuni akan tenggelam dalam ruang yang luas tempat interaksi berlangsung. MASBO menggunakan arsitektur epistemik-deontik-aksiologis (EDA), yang menyediakan landasan teoritis untuk representasi pengetahuan dalam agen perangkat lunak pribadi. Agen pribadi dilengkapi untuk setiap penghuni di bangunan dan bekerja dengan perangkat seluler.

Komponen epistemik menyimpan pengetahuan dan keyakinan yang ada yang telah diperoleh agen dari pengalaman pengguna sebelumnya dan data lingkungan yang diukur. Komponen aksiologis merupakan dasar penilaian nilai yang dibentuk oleh konvensi sosial dan budaya, pengetahuan bisnis, dan kebijakan operasional dalam suatu organisasi. Komponen deontik memungkinkan agen untuk menentukan tindakan yang akan dilakukan sebagai respons terhadap lingkungan eksternal, dan merupakan indikator perilaku.

Proses penalaran deontik dapat terjadi setelah menerima stimulus (misalnya perubahan suhu ruangan atau perintah oleh penghuni), yang dapat mengarah pada keputusan atau instruksi untuk tindakan perilaku (misalnya menyesuaikan suhu atau pencahayaan). Seluruh proses penalaran akan didasarkan pada bukti epistemik, nilai aksiologis, dan perilaku deontik. MASBO dapat dikonfigurasi secara dinamis dalam fasilitas bangunan untuk memenuhi persyaratan efisiensi energi bangunan dan lingkungan kerja yang dipersonalisasi. Sistem ini terdiri dari hal-hal berikut.

- Agen pribadi: mengelola profil pengguna (penghuni), mengamati lingkungan kerja, mencatat perilaku pengguna, meneruskan permintaan operasi, mempelajari preferensi penghuni, dan memberikan umpan balik dari agen lain kepada penghuni; dapat dibangun ke dalam perangkat seluler. g Agen lokal: memainkan peran utama dalam MASBO. Agen ini bertindak sebagai mediator, penegak kebijakan, dan penyedia informasi. Agen ini merekonsiliasi preferensi yang bertentangan dari berbagai pengguna, menegakkan kebijakan yang membatasi parameter lingkungan, menyediakan informasi struktural untuk zona masing-masing, dan menanggapi perubahan status lingkungan.
- Agen pusat: memiliki dua fungsi utama agregasi keputusan dan antarmuka ke layanan internal/eksternal yang dibutuhkan oleh agen lain. Layanan umum yang disediakan oleh agen pusat meliputi konfigurasi sistem agen dan antarmuka ke BMS.
- Agen pemantau dan kontrol: menegakkan permintaan operasi yang diberikan oleh pengguna, membaca dan memproses data sensor, dan membuat status lingkungan sesuai dengan keputusan yang dibuat oleh agen lokal.

Sistem multiagen bertindak sebagai tambahan pada BMS yang sudah ada, dan memerlukan masukan dari manajemen kebijakan dan sistem penilaian. Agen pusat adalah antarmuka untuk

sistem multiagen ke BMS. Meskipun hanya ada satu agen lokal untuk setiap zona, setiap parameter lingkungan untuk suatu zona memerlukan agen monitor dan kontrol khusus. Kualitas layanan gedung dapat ditentukan melalui faktor lingkungan dalam ruangan seperti suhu, kualitas udara dalam ruangan, kelembapan, serta cahaya dan suara.

Dengan menggunakan jaringan sensor nirkabel (WSN) untuk mengukurnya dan kemudian memproses datanya, gambaran dinamis tentang keadaan sebenarnya dari lingkungan dalam ruangan dapat dihasilkan. Ini dapat memberi masukan pada sistem manajemen fasilitas, dan mengarah pada peningkatan kesejahteraan penghuni serta penurunan konsumsi energi. Namun, bagaimana penghuni menanggapi pola perubahan faktor-faktor ini? Reaksi subjektif juga perlu dinilai melalui kuesioner, audit, atau buku harian indra untuk mencatat kepuasan dan kesejahteraan indra penghuni; Data yang dikumpulkan memungkinkan pengelola fasilitas untuk meningkatkan kondisi penghuni, dan individu untuk memahami bagaimana tubuh dan pikiran mereka bereaksi dalam berbagai kondisi lingkungan.

Miniaturisasi perangkat frekuensi radio dan sistem mikro elektromekanis yang semakin meningkat, serta kemajuan dalam teknologi nirkabel, telah menghasilkan banyak minat pada WSN karena fakta bahwa mereka dapat menyediakan infrastruktur untuk mengumpulkan informasi tentang dunia fisik, termasuk peralatan dan perilaku manusia. Kemajuan terkini dalam teknologi WSN telah memungkinkan pengembangan simpul sensor multifungsi yang kecil, berbiaya rendah, berdaya rendah, yang memungkinkan komunikasi dalam jarak pendek. Dengan menghubungkan WSN ke aktuator dalam sebuah gedung, kita dapat membangun jaringan aktuator sensor nirkabel.

Ini tidak hanya mengumpulkan informasi tentang variabel lingkungan dalam ruangan, tetapi juga mengendalikan sistem lingkungan. Ini menciptakan sistem kontrol loop tertutup waktu nyata yang melibatkan penghuni, sehingga pola interaksi antara penghuni, sistem, dan gedung dapat dianalisis. Berikut ini adalah beberapa sensor tubuh yang dapat digunakan.

- Akselerometer, untuk mengukur gerakan.
- Pemantau fluks panas, untuk mengukur seberapa banyak panas yang dikeluarkan oleh tubuh pemakainya.
- Pemantau respons kulit galvanik, untuk mengukur konduktivitas kulit, yang menunjukkan efek pengerahan tenaga fisik dan rangsangan emosional seperti stres psikologis.
- Pemantau suhu kulit, untuk mengungkapkan bagaimana suhu inti tubuh dipengaruhi oleh pengerahan tenaga fisik atau kurangnya pengerahan tenaga fisik.

Sensor lain yang tersedia termasuk klip telinga atau jari yang mengukur tekanan parsial karbon dioksida ( $p\text{CO}_2$ ), saturasi oksigen ( $\text{SpO}_2$ ) dan denyut nadi; plester tubuh yang mengukur suhu kulit, aktivitas pernapasan, detak jantung, pH darah dan kadar karbon dioksida darah; dan headset yang menerima sinyal listrik yang diproduksi oleh otak dan memantau keadaan emosional dan ekspresi wajah.

Perusahaan pertambangan Australia, EdanSafe, baru-baru ini dilaporkan telah mengembangkan topi pintar yang memantau ritme otak, dan dari sana dapat diketahui tingkat kelelahan yang dialami pemakainya: jika ini berhasil, ini tidak hanya akan membantu



pengemudi kendaraan tetapi, di kantor, Anda akan dapat melihat kapan harus beristirahat atau mungkin tidur siang sebentar. Probe otak yang dapat membaca pikiran sedang diteliti yang akan menawarkan antarmuka reaktif pengendalian pikiran. WSN dibahas lebih rinci di Bab 7. Orang-orang perlahan-lahan belajar tentang pola konsumsi energi mereka karena sistem manajemen data internet mulai tersedia untuk konsumen rumah tangga serta untuk jenis bangunan lainnya.

## 1.6 PROSES

Bangunan cerdas berpotensi menawarkan lingkungan yang sangat produktif, ramah lingkungan (cara praktis untuk menjadi berkelanjutan), dan bertanggung jawab secara sosial yang memanfaatkan teknologi konvergen dan terintegrasi untuk memberikan pengalaman berkualitas tinggi bagi pelanggan. Ada banyak hambatan terhadap implementasi ini, khususnya ketidakmampuan beberapa bidang industri konstruksi untuk merangkul pendekatan kolaboratif holistik dan terpadu yang diperlukan untuk mencapai keberhasilan.

Ada banyak bukti bahwa berbagai kontributor dalam banyak tim desain dan konstruksi tradisional lebih suka bekerja sendiri-sendiri dan tidak bekerja sama secara koheren. Sering kali, dapat terjadi kesenjangan 'budaya' antara konsultan dan kontraktor. Manajer fasilitas sering kali tidak diberi kesempatan untuk berkontribusi pada tahap desain awal. Namun, dengan pendekatan tim terintegrasi yang dipimpin dengan baik dan berkinerja tinggi, bangunan cerdas dapat memberikan pengembalian investasi yang cukup besar.

Lebih jauh, pendekatan nilai seumur hidup diperlukan: cara berpikir biaya modal tradisional dapat mengarah pada solusi yang boros dan tidak efektif. Munculnya BIM menyediakan cara untuk meningkatkan integrasi dan optimalisasi, dan ini dijelaskan dalam Bab 11. Tabel 1.4 menunjukkan contoh-contoh umum keuntungan ekonomi, efisiensi, operasi yang efektif, dan kemandirian pendekatan terpadu. Empat E ekonomi efisiensi, efektivitas, dan kemandirian ('kemandirian' mengacu pada tingkat relevansi keluaran, dan terkait dengan pengalaman pengguna) paling baik dicapai oleh empat C komunikasi, konsultasi, kerja sama, dan koordinasi agar bangunan cerdas dapat mewujudkan aspirasi tim desain menjadi kenyataan.

E kelima adalah ekspresi, yang mewakili sifat ekspresif suatu bangunan dan mencerminkan etos perusahaan serta estetika keseluruhan. C kelima adalah kreativitas, yang penting jika kita ingin memiliki arsitektur imajinatif yang sesuai dengan kebutuhan manusia dan juga merupakan ciri khas yang mudah diingat dari masa ini dalam peradaban kita. Konsep nilai seumur hidup berakar pada dukungan logistik terpadu, yang berasal dari Departemen Pertahanan AS, dan diadopsi oleh Angkatan Udara Kerajaan pada awal 1980-an dan mencakup pemeliharaan yang berpusat pada keandalan.

Namun, dukungan logistik terpadu tidak secara langsung mempertimbangkan isu-isu yang lebih luas seperti keberlanjutan, termasuk penggunaan energi dan air, emisi karbon dioksida, kesejahteraan, kenyamanan, dan produktivitas. Nilai seumur hidup memang mencakup isu-isu ini, tetapi menerapkan konsep dukungan logistik terpadu untuk mendapatkan solusi dukungan yang ramping dan efektif untuk seluruh umur bangunan.



Dukungan logistik terpadu adalah disiplin manajemen, dan merupakan bagian penting dari model bisnis seumur hidup, yang menawarkan proses yang lebih efektif melalui penggunaan waktu, bahan, dan tenaga kerja yang ekonomis.

**Tabel 1.4 Contoh dari empat E**

<b>Empat E</b>	<b>Contoh</b>
<b>Ekonomis (Economical)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pengurangan biaya siklus hidup proyek sebesar 4,5% atau keseluruhan proyek dengan menggunakan sistem terintegrasi terbuka</li> <li>• Pengembalian investasi selama 10 tahun</li> <li>• Meminta lebih banyak sewa</li> <li>• Tingkat retensi staf yang lebih tinggi</li> </ul>
<b>Efisien (Efficient)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pengurangan biaya operasional sebesar 36% dengan sistem terintegrasi terbuka</li> <li>• Tagihan energi berkurang sebesar 20%</li> <li>• Kontrol pencahayaan menghasilkan pengurangan sekitar 30–40%</li> <li>• Strategi manajemen identitas dan akses dibiayai dari keuntungan efisiensi</li> <li>• Penghematan biaya energi antara 10 dan 50%</li> </ul>
<b>Efektif (Effective)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peningkatan produktivitas yang kecil (0,1–2,0%) memiliki efek yang besar</li> <li>• Penurunan suhu menyebabkan peningkatan produktivitas – 1,8% untuk setiap 18° C hingga sekitar 20° C di negara-negara Eropa Barat</li> <li>• Peningkatan kualitas pembelajaran sebagai hasil dari peningkatan produktivitas</li> <li>• Peningkatan produktivitas sebesar 0,5% membuahkan hasil dalam waktu 1,6 tahun</li> <li>• Peningkatan produktivitas sebesar 17% RAE</li> <li>• Kenaikan sewa sebesar 2–6%</li> <li>• Tingkat hunian 4,1% lebih tinggi</li> <li>• Pertumbuhan pendapatan lebih tinggi selama 10 tahun</li> </ul>
<b>Kemanjuran (Efficacy)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pendekatan lingkungan yang berkelanjutan</li> <li>• Strategi penghematan karbon</li> <li>• Pengurangan emisi karbon global sebesar 15%</li> <li>• Berfokus pada kualitas pembelajaran</li> </ul>

Tujuan utama dukungan logistik terpadu adalah untuk memastikan bahwa pertimbangan dukungan seumur hidup memengaruhi pemilihan dan desain komponen dan sistem mengembangkan persyaratan dukungan terpadu yang sesuai dengan tujuan komponen dan system memberikan dukungan yang diperlukan untuk mencapai optimalisasi nilai seumur hidup.

Teknik utama yang digunakan dalam dukungan logistik terpadu adalah analisis pohon kesalahan analisis efek mode kegagalan dan kekritisan

- Analisis faktor manusia
- Pemeliharaan yang berpusat pada keandalan

- Analisis kebutuhan pelatihan.

Model bisnis seumur hidup memungkinkan pengguna untuk mengidentifikasi semua biaya yang terkait dengan suatu proyek, dari konsepsi awal hingga pembuangan akhir. Karena biaya desain dan konstruksi secara tradisional telah digunakan untuk membuat perbandingan opsi, proyek-proyek ini pasti didorong oleh biaya awal terendah, dengan hasil bahwa operasi dan pemeliharaan selanjutnya menjadi sangat mahal dan sulit.

Pendekatan ini dapat mengakibatkan sistem yang tidak tepat dipilih. Model bisnis seumur hidup adalah cara sistematis untuk menyeimbangkan modal dengan biaya pendapatan untuk mencapai solusi optimal selama seluruh umur bangunan. Model ini juga mengakui bahwa kualitas lingkungan memengaruhi kinerja kerja penghuni dan karenanya biaya bisnis suatu organisasi. Model bisnis seumur hidup telah dikembangkan untuk mewakili kinerja seumur hidup, dan model ini mencakup proses konstruksi dan isu keberlanjutan sambil menekankan

- Konektivitas proses rantai pasokan dari awal hingga akhir
- Keberlanjutan, menggunakan breem atau alat penilaian keberlanjutan lainnya di setiap fase siklus hidup bangunan
- Kualitas dengan memeriksa fungsi, kinerja, dan nilai, menggunakan penilaian kualitas bangunan dan indikator kualitas desain (dqj).
- Evaluasi pasca-hunian, sehingga umpan balik jangka panjang diperoleh dengan mengukur faktor-faktor yang berhubungan dengan penghuni, sistem, dan bangunan.

Dukungan seumur hidup dimulai pada tahap desain. Dukungan yang diperlukan untuk pengoperasian, pemeliharaan, dan penggantian akan direncanakan selama proses desain, dan akan memerlukan informasi berkualitas baik dari produsen dan manajer fasilitas. Untuk mengoptimalkan penggunaan energi, keputusan desain fasad bangunan harus dibuat bersamaan dengan keputusan untuk desain layanan bangunan.

Strategi dukungan memastikan bahwa tenaga kerja, sumber daya peralatan, dan sistem manajemen data memadai untuk memenuhi kebutuhan operasional. Penilaian seumur hidup mendorong pertimbangan manajemen fasilitas dan penggunaan energi pada tahap desain. Penilaian ini memerlukan komisioning pra-hunian untuk menyiapkan sistem dan evaluasi pasca-hunian. Data umpan balik harus menjadi bagian dari sistem manajemen data yang terkoordinasi. Analisis nilai seumur hidup membantu pemilihan solusi desain yang optimal, yang harus mencakup strategi manajemen fasilitas.

Berbagai pilihan dimungkinkan, tetapi masing-masing akan memiliki biaya yang berbeda dan akan memengaruhi kinerja dan perencanaan pemeliharaan gedung di masa mendatang. Proses manajemen seumur hidup memerlukan pendekatan sistem. Bluysen dkk. (2010) mengambil contoh dari proyek ManuBuild Eropa tentang manufaktur bangunan terbuka untuk menyimpulkan bahwa proses tersebut harus memiliki bagian generik sebagai fondasi dan bagian konfigurasi tempat klien dapat menentukan fitur-fitur tertentu yang memberikan identitas yang berbeda pada bangunan tersebut.

Karena ada begitu banyak pemangku kepentingan dengan berbagai tuntutan yang terlibat dalam proses pembangunan, Yang dan Bouchlaghem (2010) mengusulkan kerangka

kerja optimasi kolaboratif berbasis algoritma genetika Pareto untuk mendukung interaksi antara tugas-tugas multidisiplin dan untuk mengoordinasikan tujuan-tujuan desain yang saling bertentangan.

## 1.7 INOVASI

Bab 20, tetapi perhatikan beberapa inovasi yang tercantum di bawah ini yang telah memengaruhi pengembangan bangunan cerdas yang berkelanjutan. Beberapa telah dirujuk, tetapi yang lain menjadi relevan dalam desain dan manajemen. Proses:

- Nilai seumur hidup, dari perencanaan hingga daur ulang.
- Analisis dukungan logistik.
- Alat pemeringkatan keberlanjutan.
- Evaluasi pasca-hunian.
- Proses pengoptimalan.
- Ilmu jaringan untuk interaksi sistem.
- BIM.
- Orang-orang
- Biofilia.
- Studi kesejahteraan.
- Personalisasi.
- Lingkungan dan kinerja kerja.
- Informasi yang berlebihan.

Produk/Sistem:

- Percetakan 3D dan 4D untuk konstruksi.
- WSN.
- Arsitektur yang peka terhadap tubuh.
- Komputasi awan.
- Pencahayaan berdaya rendah.
- Energi terbarukan dan energi.
- Sel bahan bakar material.
- Penggunaan air.
- Sistem pembuangan limbah.
- Robot nano.
- Fasad pintar.
- Arsitektur biomimetik.

## 1.8 PRINSIP UNTUK PERENCANAAN DESAIN DAN PENGELOLAAN BANGUNAN CERDAS

Kami telah mendefinisikan bangunan cerdas dalam hal responsivitas terhadap penghuninya; kesejahteraan manusia; konsumsi sumber daya rendah dengan polusi dan limbah rendah; fleksibilitas dan kemampuan beradaptasi untuk menghadapi perubahan; dan keseimbangan yang tepat antara teknologi tinggi dan rendah.

Pengembangannya berada di sepanjang kontinum yang berakar pada arsitektur vernacular dan sekarang bergerak dengan inovasi menuju bangunan yang ramah lingkungan; responsif terhadap berbagai kebutuhan penghuninya; sehat; dan mudah dioperasikan. Bangunan lama dan baru dapat berbagi evolusi ini. Semakin banyak, kita mengamati seberapa baik dunia tumbuhan dan hewan dapat menunjukkan kepada kita ekonomi dalam penggunaan energi dan material yang optimal dengan cara yang paling indah, dan ini mengarah pada lebih banyak contoh arsitektur biomimetik.

Bangunan cerdas haruslah ramah lingkungan, yang berarti, dalam istilah yang diungkapkan oleh Goleman, ketahui dampak Anda; dukung peningkatan; dan bagikan apa yang Anda pelajari. Dengan cara ini, bangunan akan adil bagi semua orang di masyarakat; memiliki nilai umur panjang; dan hormati alam. Di mana pun kita membangun, kita harus memenuhi kebutuhan manusia dalam dunia teknologi yang terus berkembang tetapi berada dalam konteks budaya tertentu. Braungart dan McDonough percaya bentuk mengikuti evolusi daripada fungsi, tetapi pada kenyataannya keduanya berlaku.

Prinsip-prinsip ini adalah pedoman yang berlaku untuk bangunan dan kota sekarang, tetapi beberapa akan berubah dan terus berkembang seiring waktu.

- Rencanakan dan rancang dengan tim terpadu sehingga klien, konsultan, kontraktor, dan manajer fasilitas semuanya mengembangkan komitmen terhadap proyek dan ingin mencapai tujuan lingkungan, sosial, dan ekonomi yang sama.
- Sistem dan pemikiran holistik adalah kuncinya.
- Menilai dampak bangunan terhadap penghuni dan masyarakat di sekitarnya.
- Perilaku penghuni memiliki pengaruh besar pada konsumsi energi dan air, jadi cobalah untuk meningkatkan kesadaran penghuni terhadap dampak tindakan mereka terhadap sumber daya. Pengukuran cerdas merupakan langkah awal, tetapi teknologi sensor nirkabel dengan cepat dapat diterapkan dalam pengoperasian gedung dan untuk digunakan oleh penghuni. Langkah-langkah pengurangan energi saja dapat menyebabkan efek pantulan energi, tetapi jika dipertimbangkan bersama dengan penggunaan hunian, langkah-langkah tersebut dapat efektif: menurut Nadel (2012), efek pantulan dapat mengurangi efektivitas langkah-langkah energi hingga sekitar 20%.
- Sistem manajemen data yang koheren penting untuk memberikan umpan balik tentang kinerja berbagai ruang di dalam gedung. Gunakan proses evaluasi pascahunian yang berkelanjutan untuk memperoleh data umpan balik.
- Gunakan pendekatan nilai seumur hidup atau kinerja seumur hidup untuk memastikan bahwa kualitas serta biaya seumur hidup diperhitungkan.
- Bertujuan untuk kesederhanaan daripada kerumitan dalam pengoperasian.
- Pikirkan tentang kesejahteraan dan kesegaran serta kenyamanan, dan pertimbangkan

semua indra dan bagaimana udara, pemandangan, cahaya matahari, suara, warna, kehijauan, dan ruang memengaruhi kita di tempat kerja.

- Konektivitas penting, sehingga ada interoperabilitas tidak hanya antara sistem dan gedung tetapi juga antara penghuni dan gedung.
- Desain yang fleksibel dan adaptif.
- Bayangkan bangunan cerdas sebagai organisme yang menanggapi kebutuhan manusia dan lingkungan organisme yang perlu ‘bernapas’ melalui fasad antara lingkungan eksternal dan internal. Fasad menyalurkan cahaya, radiasi matahari, udara, kebisingan, dan kelembapan, tetapi juga menghubungkan penghuninya dengan dunia luar: fasad cerdas atau pintar memungkinkan aspek-aspek ini dikendalikan dengan cara yang fungsional tetapi juga menyenangkan bagi mereka yang bekerja dan tinggal di dalam gedung.
- Rencanakan pengelolaan fasilitas sehingga gedung dan penghuninya diperhatikan.
- Seimbangkan efisiensi dengan efektivitas. Sistem pasokan udara, misalnya, dapat mengalirkan jumlah udara yang tepat ke suatu ruang dan dianggap efisien tetapi mungkin tidak efektif di ruang tersebut karena udara tidak berdampak pada zona pernapasan tempat orang-orang berada.
- Desain di luar ekspektasi yang ditetapkan dalam Peraturan.
- Tetap mengikuti perkembangan bidang pengetahuan yang relevan.
- Belajar dari sektor dan disiplin ilmu lain.
- Melanjutkan pencarian pendidikan dan pelatihan yang lebih terpadu sehingga bahasa dan visi yang sama tertanam dalam benak siswa di awal karier mereka.
- Memperoleh pengetahuan dengan belajar secara mendalam tetapi juga secara luas, untuk melihat keterkaitan dengan bidang pengetahuan lain.
- Memformalkan pembelajaran di tempat kerja serta di universitas dan perguruan tinggi.

Banyak perusahaan saat ini menggambarkan kecerdasan bisnis dalam hal:

- Menjadi cerdas untuk memenuhi persyaratan perusahaan dan merangsang wawasan baru
- Menjadi tangkas dengan integrasi tingkat lanjut, yang memungkinkan fleksibilitas dan kemampuan beradaptasi
- Menggunakan kecerdasan yang luas untuk menghubungkan proses manajemen strategis, ekonomi, dan operasional.

Jadi, misalnya, produk perangkat lunak harus inovatif, tangkas, dan mudah beradaptasi, dan pendekatan terhadap kecerdasan bisnis ini memungkinkan tujuan ini tercapai. Bangunan cerdas, lama dan baru, membutuhkan jenis pemikiran ini sepanjang masa pakainya, dari perencanaan konsep hingga perawatan dalam penggunaan dan seterusnya.

## 1.9 MASA DEPAN

Penghuni gedung sering mengatakan bahwa mereka memiliki sedikit kendali atas lingkungan mereka. Saat ini sedang terjadi perdebatan tentang perlunya jejak karbon pribadi ditambah tren yang berkembang untuk menghormati kebutuhan dan tanggung jawab individu yang menempati dan menggunakan gedung. Munculnya sensor yang dapat disematkan ke dalam pakaian, material, dan peralatan, bersama dengan WSN, akan menghasilkan jaringan di mana-mana yang menyediakan data kinerja yang luas dan berharga secara real-time.

Data yang diambil tentang respons penghuni terhadap lingkungan yang berubah dapat dianalisis untuk mengungkap pola penting yang dapat digunakan untuk memberikan tingkat kendali pribadi. Ini akan menjadi praktik normal selama beberapa tahun ke depan. Elektronik yang dapat dikenakan pada pakaian dan aksesoris pribadi sudah sangat berkembang dalam industri tekstil, dan akan membantu orang untuk meningkatkan kesadaran mereka terhadap tindakan mereka sehubungan dengan konsumsi energi dan air, misalnya.

Pengukuran cerdas di gedung akan membantu kita memahami pengaruh perilaku hunian terhadap tingkat konsumsi dan membimbing orang ke cara-cara di mana mereka dapat mengurangi tingkat ini dan menjadi lebih berkelanjutan. Manfaat bagi konsumen domestik adalah mereka dapat menghemat uang dan, dalam kasus gedung komersial, organisasi dapat mendorong staf mereka untuk lebih menyadari langkah-langkah ramah lingkungan dengan menawarkan skema bonus ramah lingkungan. Selain itu, dengan membandingkan kinerja bangunan dan sistemnya dengan respons penghuninya, seseorang dapat dengan mudah menentukan area ketidakpuasan dan melihat apakah kriteria desain yang lebih tepat dapat digunakan.

Sudah terbukti dari pengukuran air bahwa penghematan konsumsi yang cukup besar dapat dilakukan. Kemajuan pesat dalam teknologi informasi dan komunikasi seperti chip hafnium akan meningkatkan daya dan kecepatan pengoperasian komputer. Layar elektronik lipat yang fleksibel akan membuat material elektronik dapat dibawa ke mana saja. Komputasi awan berarti penyimpanan data virtual tidak hanya akan mengurangi beban pendinginan energi komputer, ruang kantor, dan waktu administrasi, tetapi juga menawarkan sarana bagi perangkat seluler pintar untuk memanfaatkan internet guna mendapatkan data yang dibutuhkan.

Dunia jaringan membuka jalan baru untuk memahami dan memodelkan sistem dinamis nonlinier yang kompleks untuk proses desain dan manajemen. Pengembangan skenario realitas virtual akan memungkinkan klien untuk memiliki partisipasi yang jauh lebih besar dalam proses desain dan manajemen, serta memungkinkan integrasi yang lebih besar antara berbagai sistem. Penggunaan alat desain interkoneksi akan menghasilkan proses manajemen yang lebih efisien dan efektif. Penghematan waktu dan tenaga kerja serta penurunan pemborosan material akan meningkatkan efektivitas biaya proyek.

Analisis masalah dalam lingkungan binaan sering kali mengasumsikan untuk kesederhanaan bahwa tindakan terjadi dalam sistem non-linier, tetapi pada kenyataannya sistem non-linier dinamis mendominasi. Ilmu jaringan merupakan bagian dari bidang ilmu kompleksitas dan teori kekacauan. Ilmu ini memungkinkan untuk mempelajari bagaimana sistem berinteraksi dan memunculkan sifat dan perilaku yang muncul. Perkembangan dan ide

ini akan membuat pemodelan sistem lebih realistis di masa mendatang. Area pengembangan lain yang sangat signifikan adalah material pintar, yang akan merevolusi cara fasad bangunan dan material yang digunakan untuk peralatan dapat dirancang.

Teknologi nano sudah memiliki pengaruh besar pada cara sifat-sifat material dapat dipengaruhi dengan memungkinkan modifikasi pada tingkat molekuler, dan contoh-contoh praktis sudah terlihat, seperti beton yang lebih ringan tetapi berkali-kali lebih kuat daripada beton tradisional. Dapat diharapkan bahwa kaca pada akhirnya akan menjadi sama efisiennya secara termal seperti material lainnya. Nanotube tertanam dan akhirnya graphene dapat mengubah sifat-sifat material. Kulit bangunan yang dapat menyembuhkan diri sendiri seperti yang ditemukan di Alam dapat dilakukan. Berbeda dengan pendekatan teknologi canggih ini, rami industri adalah bahan tanaman terbarukan yang menawarkan energi terwujud rendah dan massa termal tinggi, higroskopis dan cukup kedap udara (konstruksi rami memungkinkan tetesan udara melewatinya).

Hewan dan tumbuhan dapat mengajarkan kita banyak hal tentang cara bersikap konservatif dengan penggunaan energi dan material. Dengan cepat kita belajar tentang bagaimana kita dapat menggunakan bakteri dalam banyak cara seperti menghasilkan listrik dari tanaman misalnya. Daun buatan pertama diproduksi pada tahun 2011 dan ini adalah cara untuk menghasilkan hidrogen melalui aksi sinar matahari pada katalis tertentu yang direndam dalam air. Biomimetika diharapkan dapat menawarkan pelajaran dari alam yang dapat diterapkan pada arsitektur. Selama beberapa waktu, bentuk struktural yang digunakan dalam konstruksi telah meniru bentuk yang terlihat pada tanaman dan pohon, tetapi masih banyak yang harus dipelajari.

Robotika menawarkan cara untuk meningkatkan pemeliharaan dan pembersihan sistem. Robot dapat diproduksi dalam skala manusia atau skala nano, dan dapat dimasukkan ke dalam sistem ventilasi dan pemanas untuk memberikan umpan balik untuk jadwal pemeliharaan dan untuk melakukan pemeliharaan internal dalam sistem yang aksesnya sulit. Dinding robotik dapat berarti ruang dapat diatur ulang secara fleksibel. Perhatian perlu diberikan pada pendidikan dan pelatihan tim desain dan manajemen. Untuk memenuhi persyaratan sosial, lingkungan, dan ekonomi, perlu untuk menyatukan disiplin ilmu ini tidak hanya dengan menghubungkan badan-badan profesional tetapi juga dengan mencerminkan hal ini dalam pendidikan dan pelatihan individu.

Di masa mendatang, kita dapat mengharapkan untuk melihat kursus dasar bagi arsitek, insinyur, sosiolog, ekonom, perencana, dan pengembang sebelum mereka mengkhususkan diri dalam disiplin ilmu yang sesuai. Tim desain dan manajemen tradisional dapat diperluas untuk mencakup spesialis keberlanjutan yang baru muncul. Platform Nasional Inggris untuk Lingkungan Buatan, yang dirumuskan oleh Constructing Excellence pada tahun 2006, menyoroti konsumsi sumber daya, sistem informasi dan komunikasi, desain berbasis pengetahuan yang digerakkan oleh klien, dan proses konstruksi sebagai isu-isu utama. Ini harus dilihat dalam skenario besar untuk masa depan yang dijelaskan dalam buku Kurzweil (2005) *The Singularity is Near*.

Singularitas adalah peristiwa yang tidak dapat kita lihat lebih jauh seperti 'Kapan orang-

orang akan menyatu dengan mesin cerdas?', yang menurut Kurzweil akan terjadi sekitar tahun 2045. Ia meramalkan bahwa kita akan dapat merekayasa ulang otak pada tahun 2029. Apa pun spekulasinya, masa depan akan penuh tantangan tetapi memberi kita peluang untuk meningkatkan kualitas hidup di seluruh dunia. Kaku (2011) dalam bukunya *Physics of the Future* melihat sekilas bagaimana sains akan membentuk takdir manusia pada tahun 2100 untuk anak cucu kita.



## BAB 2

### PELAJARAN DARI ALAM UNTUK ARSITEKTUR BERKELANJUTAN

Banyak penelitian yang diterbitkan menggambarkan aplikasi rekayasa yang terinspirasi oleh Alam: nacre cangkang moluska alami berkali-kali lebih kuat daripada kalsium karbonat yang menjadi bahan pembuatnya, sehingga menjadikannya paradigma untuk keluarga komposit baru; tubuh hagfish Atlantik ditutupi dengan kelenjar khusus yang dapat mengeluarkan lendir lengket, yang terdiri dari serat keratin dengan benang sekuat benang sutra laba-laba, sehingga memberikan alternatif untuk rompi antipeluru, kabel suspensi, atau ligamen buatan.

Daun buatan pertama yang menggunakan sinar matahari untuk memecah air menjadi oksigen dan hidrogen, yang dapat disimpan dalam sel bahan bakar dan digunakan untuk menghasilkan listrik. Ini hanyalah beberapa contoh yang menggambarkan esensi bab ini, yaitu meninjau bagaimana biomimetika dapat membawa kita ke arsitektur yang lebih berkelanjutan yang dapat beradaptasi dan belajar dari Alam.

#### 2.1 PENDAHULUAN

Meskipun kecerdikan manusia menghasilkan berbagai penemuan, ia tidak akan pernah menemukan penemuan yang lebih indah, lebih tepat, dan lebih langsung daripada di alam karena di alam tidak ada yang kurang dan tidak ada yang berlebihan.

##### **Leonardo da Vinci**

Biologi sintesis berpotensi mengubah sektor manufaktur, tetapi memerlukan cara berpikir baru tentang hubungan antara desain dan sains, antara Alam dan industri, dan bahkan antara pencipta (seperti perancang bangunan) dan produk (bangunan). Alexandra Daisy Ginsburg. Ada banyak hal yang dapat dikagumi dalam pembangunan habitat, misalnya: Keterampilan teknik yang digunakan untuk membangun bendungan berang-berang menyaingi perhitungan elegan yang membangun Piramida dan Terusan Panama.

##### **Gould dan Gould, 2007**

Biomimetika didefinisikan dalam Glosarium di akhir bab ini, tetapi ini tentang belajar dari Alam. Ini memperluas cakrawala kemungkinan kita, dan membantu serta menginspirasi kita untuk berpikir lebih lateral. Pawlyn menggunakan istilah 'biomimetika' dan 'biomimikri' secara sinonim, dan mendefinisikan disiplin ilmu ini sebagai 'meniru dasar fungsional dari bentuk, proses, dan sistem biologis untuk menghasilkan solusi berkelanjutan'.

Poole menggambarkan biomimetika 'sebagai abstraksi desain yang baik dari alam'. Biomimetika bukan hanya tentang peniruan, tetapi juga tentang desain yang menginspirasi. Sistem biologis yang terungkap di Alam dapat membuka pikiran manusia terhadap kemungkinan-kemungkinan lain. Biologi kuantum membantu kita memahami lebih rinci mekanisme kompleks yang mendasari perilaku hewan dan tumbuhan.

Benyus (2002) mencantumkan beberapa karakteristik Alam yang dapat kita pelajari:

- Berjalan dengan sinar matahari;
- Hanya menggunakan energi yang dibutuhkannya;
- Menyesuaikan bentuk dengan fungsi;
- Mendaur ulang;
- Memberikan penghargaan atas kerja sama;
- Bergantung pada keberagaman;
- Menuntut keahlian lokal;
- Menyadari kekuatan batas.

Terdapat penggunaan energi dan material secara ekonomi. Air dan udara sangat penting bagi tumbuhan dan hewan untuk hidup, dan sebagian besar arsitektur adalah tentang bagaimana sumber daya ini disalurkan dalam berbagai iklim untuk menyediakan lingkungan terbaik bagi kelangsungan hidup organisme. Sebagian besar estetika kita berasal dari bahasa organik dan cair yang ditemukan di Alam.

Ini melibatkan geometri tiga dimensi yang kompleks, tetapi selalu ada logika yang ketat di baliknya. Hewan, termasuk manusia, dan tumbuhan telah mengembangkan berbagai strategi untuk menghadapi kondisi lokal yang berubah, seperti isolasi termal, pendinginan melalui permukaan yang memancar dan aliran darah. Selain itu, tanaman memiliki keunikan karena mampu mengubah sinar matahari menjadi fungsi terpadu melalui proses fotosintesis.

Kata-kata optimasi dan integrasi sering digunakan oleh tim desain bangunan tetapi sering kali tanpa ide tentang bagaimana hal ini dapat dicapai, meskipun ada metode yang tersedia dalam penelitian operasional, seperti pemrograman dinamis, integer atau linier. Integrasi dan optimasi di Alam tampak sebagai proses yang sepenuhnya alami. Hewan membangun karena berbagai alasan, seperti: tempat berteduh dan aman; melindungi telur mereka; penyimpanan makanan; pembuangan limbah; hibernasi; atau, dalam kasus burung bowerbird, untuk pajangan.

Hewan juga membangun perangkap, contoh klasiknya adalah jaring laba-laba. Jadi kita belajar tentang bangunan hewan seperti sarang, liang, permukiman, sarang, sarang rayap, dan lainnya, baik di darat maupun di lautan. Bahan-bahannya sering kali berupa ranting, kayu, rumput, tanah, kotoran, lendir ludah dan, dalam kasus laba-laba dan ulat, sutra. Bahan yang diproduksi melalui sekresi sendiri sangat ekonomis. Sutra juga sekuat filamen baja dengan diameter yang sama. Metode konstruksi meliputi memahat, menumpuk, mencetak, menggulung, melipat, menempel, menenun, dan menjahit.

Ukuran hewan tidak menjadi panduan kemampuannya untuk membangun. Siput memiliki rumah dari cangkang, tetapi yang luar biasa adalah bahwa beberapa spesies amuba bersel tunggal memiliki rumah portabel dari butiran pasir. Ada sekitar 100.000 spesies vertebrata, tetapi sekitar 10 hingga 300 juta invertebrata, sehingga banyak contoh arsitektur hewan ditemukan di dunia artropoda, yang meliputi serangga, krustasea, dan laba-laba.

Pada tahun 2005, BBC menayangkan serial *Life in the Undergrowth*, dan fotografi jarak dekat yang canggih dan menakjubkan memungkinkan kita untuk berbagi habitat laba-laba, rayap, dan banyak hewan kecil lainnya secara diam-diam. Serangga sosial seperti lebah dan

semut membangun koloni. Hansell (2007) memperkirakan sarang lebah madu yang terbuat dari lilin dan terdiri dari sel-sel heksagonal dapat menampung 10.000 lebah. Bentuk heksagonal berevolusi menjadi bentuk yang paling ekonomis; bentuk ini memiliki keliling minimum dibandingkan dengan luasnya, dan merupakan contoh optimalisasi yang menghasilkan penghematan bahan.

Sarang lebah berukuran 37 cm × 22,5 cm dapat menampung lebih dari 2 kg madu, tetapi lebah hanya menggunakan 40 g lilin. Sarang tawon memiliki konstruksi yang serupa, tetapi dibuat dari kertas yang terbuat dari tanah dan air liur. Semut pemotong daun membuat terowongan labirin bawah tanah sedalam 6 m di bawah tanah, dan labirin ini dapat menampung 8 juta semut. Ada mekanisme aliran terinduksi ventilasi sarang yang bergantung pada perbedaan tekanan di atas tanah yang digali, yang membentuk gundukan di atas sarang, dengan berbagai menara dan lubang untuk udara masuk dan keluar; contoh lain dari banyak contoh di Alam tentang sistem ventilasi alami.

### **Hidung Unta**

Ini adalah contoh yang sangat relevan tentang bagaimana Alam menangani konservasi air pada unta. Pada tahun 1979, Schmidt-Nielsen, dari Universitas Duke, bekerja sama dengan Ahli Zoologi, Amiram Shkolnik, dari Universitas Tel Aviv, dan menemukan rahasia kemampuan unta dalam menghemat air. Mereka menemukan labirin rumit berupa lorong udara sempit dan berkelok-kelok di hidung unta yang meningkatkan luas permukaan untuk perpindahan panas dan kelembapan.

Biasanya, hidung manusia memiliki luas permukaan bagian dalam sekitar 160 cm<sup>2</sup>, sedangkan unta memiliki sekitar 1000 cm<sup>2</sup> selaput lendir di bagian dalam hidung. Hidung unta bertindak sebagai pelembap dan penurun kelembapan pada setiap siklus pernapasan: Udara panas dan kering yang dihirup melewati area membran lembap yang luas. Udara ini segera dilembapkan dengan mengambil uap air dari hidung dan didinginkan dalam proses tersebut. Udara yang lebih dingin ini masuk ke paru-paru dan tetap berada pada suhu tubuh.

Saat dihembuskan, udara tersebut didinginkan lebih lanjut dengan melewati membran hidung yang sama melalui proses dehumidifikasi membran hidung mengekstraksi uap air dari udara seperti kumparan pendingin dehumidifier. Penghematan bersih sebesar 68% dari air yang biasanya hilang melalui respirasi terjadi antara fase pendinginan dan pengeringan siklus pernapasan.

Menurut laporan dari Program Lingkungan Perserikatan Bangsa-Bangsa, kekurangan air yang parah akan memengaruhi 4 miliar orang pada tahun 2050. Hidung unta dapat menginspirasi solusi desain untuk membatasi penguapan dari kolam penyimpanan air, merancang sistem irigasi yang lebih efisien, dan mempelajari cara terbaik untuk meminimalkan kehilangan dan menangkap kembali air yang digunakan dalam proses industri.

## **2.2 POLA DI ALAM**

Hersey (1999) menunjukkan bagaimana arsitektur berakar pada berbagai bentuk yang membedakan habitat alami tumbuhan dan hewan. Iklim telah menjadi pendorong utama, tetapi demikian pula keanekaragaman hayati. Bentuk daun, bunga, kerang, serangga, dan

burung telah mengilhami arsitektur manusia dalam berbagai cara. Terkadang tampaknya hanya tentang estetika, tetapi saat ini aspek fungsional, seperti pengendalian lingkungan pasif, mendominasi desain kita.

Di atas segalanya, Alam memiliki respons bawaan terhadap perubahan yang tampaknya selalu mengoptimalkan skala ekonomi dan penggunaan atau penggunaan kembali bahan untuk memenuhi kebutuhan lingkungan. Angka Fibonacci 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, sering muncul di Alam. Biji bunga matahari dan bunga aster memiliki pola spiral; bunga aster memiliki 21 spiral searah jarum jam dan 34 spiral berlawanan arah jarum jam. Pola serupa muncul pada kerucut pinus dan nanas.

Iris, lili, dan pansy memiliki 3 kelopak, buttercup memiliki 5, delphinium 8, marigold 13, chicory dan aster 21, aster 34, 55 atau 89, dan bunga matahari 55, 89 atau 144. Fuchsia memiliki 4 kelopak, dan beberapa kaktus juga mengikuti deret angka Lucas (0, 2, 1, 3, 4, 7, 11, 18, 29, 47, 76, 123). Alasan pasti untuk pola matematika ini masih diperdebatkan. Filotaksis adalah susunan daun pada batang. Tunas dari batang utama banyak tanaman mengikuti pola heliks dan terbentuk pada sudut 135° satu arah atau 270° sebaliknya, dan sudut-sudut ini merupakan sebagian kecil dari 360° putaran penuh. Suku Fibonacci ke- $n$  diberikan oleh Stewart (2010) sebagai

$$F_n = \varphi^n - (1 - \varphi)^n / \sqrt{5}$$

Jika Anda mengambil angka Fibonacci sebagai rasio berurutan 8/5, 13/8, 21/13, maka nilai rasio mendekati 1,618, yang merupakan angka emas. Rasio emas adalah  $w : 1$ , yang dikaitkan dengan estetika dalam seni dan arsitektur. Le Corbusier mendasarkan Modulor-nya pada rasio ini, tetapi rasio ini juga terlihat dalam karya pelukis Vermeer, Mondrian, Seurat, dan lainnya. Angka Fibonacci juga muncul dalam ritme urutan musik. Stewart (2011) percaya bahwa phyllotaxis mungkin satu-satunya konteks di mana angka emas dapat dikaitkan dengan dunia alami. Meskipun demikian, angka ini terus memikat pikiran di banyak bidang.

Hersey (1999) menyebutkan arsitek Italia Piranesi (1720–1778) yang mengontraskan kerang laut dengan fitur ornamen arsitektur. Cangkang nautilus berbentuk spiral logaritmik atau ekui-angular, tetapi spiral Archimedean juga lazim di Alam. Namun, kedua jenis spiral tersebut terdapat dalam arsitektur. Matematika membantu kita mengungkap pola bentuk di Alam yang secara naluriah kita tanggap saat melihat objek, lukisan, dan bangunan.

Namun, apakah kita memiliki respons batin terhadap hal-hal yang tidak dapat kita lihat secara terperinci? Teori kekacauan, dan khususnya pola fraktal yang pertama kali dijelaskan oleh Mandelbrot pada tahun 1975, menunjukkan bahwa mungkin kita memilikinya. Contoh yang terkenal adalah kepingan salju, yang keindahannya terungkap sepenuhnya melalui analisis menggunakan kurva Koch yang pertama kali disebutkan pada tahun 1904 sebelum pola fraktal didefinisikan seperti itu. Sekali lagi, Alam tampaknya tersusun dari bentuk dan struktur secara acak, tetapi pemeriksaan yang lebih dekat mengungkap pola keteraturan.

Dimensi atau kerapatan fraktal  $D$  didefinisikan sebagai  $D = \log E / \log N$ , di mana  $E$  adalah perbesaran dan  $N$  adalah jumlah lapisan yang identik. Halsey menggambarkan sifat  $D$  karena  $D$

= 2 seperti hutan lebat, sedangkan  $D = 1$  adalah garis datar. Taylor telah melakukan serangkaian eksperimen persepsi menggunakan berbagai pola, dan menunjukkan bahwa orang menganggap dimensi fraktal  $D$  tengah sekitar 1,3 hingga 1,5 lebih menyenangkan secara estetika.

Selain itu, menggunakan uji konduktansi kulit dan pemindaian otak EEG, Taylor menemukan bahwa dimensi fraktal  $D$  tengah yang sama mengurangi stres hingga 60%. Alam tertata dengan baik pada tingkat molekuler dan kosmik. Rasa estetika kita mungkin melampaui apa yang terlihat, seperti yang disarankan oleh karya Taylor (2011). Seolah-olah objek memiliki lapisan detail yang saling terkait oleh rasa keteraturan yang mendasarinya. Contoh geometri yang mencolok dalam bentuk alami adalah kuntum kembang kol yang di dalamnya Anda dapat melihat spiral Fibonacci yang semakin kecil.

Geometri Alam telah mengilhami banyak arsitek. Gaudi menggunakan bentuk heliks atau heliks yang ditemukan di batang pohon untuk kolom di Sekolah Teresina-nya; hiperboloid adalah bentuk tulang paha yang membentuk kolom di Sagrada Familia; konoid adalah bentuk khas pada daun pohon, dan Gaudi menggunakan bentuk atap yang serupa di Sagrada Familia; kubah teras ruang bawah tanah gereja di Guell Estate didasarkan pada paraboloid hiperbolik yang menggambarkan tendon di jari dan tangan. Leslie (2003) telah menulis sebuah makalah tentang karya Nervi, yang menemukan semen ferro, berjudul 'Bentuk sebagai diagram gaya: spiral ekuiangular dalam karya Pier Luigi Nervi'.

### 2.3 GEOMETRI FRAKTAL DAN ARSITEKTUR

Relevansi teori chaos dengan arsitektur dan industri konstruksi dibahas oleh Lu dkk. Mereka menjelaskan bagaimana gagasan tentang bangunan yang selaras dengan Alam dapat ditelusuri kembali ke zaman kuno, dan memberikan contoh dari Mesir, Tiongkok, Yunani, dan Italia. Pada awal abad ke-21, meningkatnya perhatian tentang keberlanjutan bangunan telah menambah tantangan baru dalam desain arsitektur bangunan dan menyerukan respons desain baru. Sebagai bahasa Alam, wajar jika diasumsikan bahwa geometri fraktal dapat berperan dalam mengembangkan bentuk desain baru untuk arsitektur dan bangunan berkelanjutan.

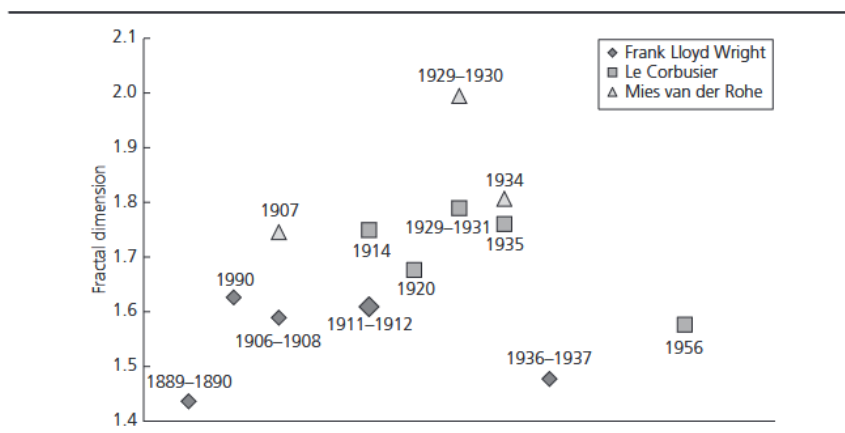
Fraktal adalah himpunan yang serupa dengan dirinya sendiri yang polanya tersusun dari salinan dirinya sendiri dalam skala yang lebih kecil, dan dengan demikian memiliki kesamaan diri di seluruh skala. Ini berarti bahwa fraktal mengulang pola hingga skala yang sangat kecil. Broll (2010) mengilustrasikan hal ini melalui gambar mikroskopis elektronik. Dalam banyak aplikasi praktis, analisis temporal dan spasial diperlukan untuk mengkarakterisasi dan mengukur keteraturan tersembunyi dalam pola yang kompleks. Keteraturan dalam pola yang tidak teratur penting dalam estetika, karena mencakup konsep gaya dinamis, yang menunjukkan fenomena alamiah dan bukan proses mekanis. Dalam istilah desain arsitektur, hal itu mewakili 'prinsip desain'. Oleh karena itu, geometri fraktal telah memainkan peran penting dalam desain arsitektur. Lu dkk. (2012) menjelaskan bagaimana pola fraktal ditemukan di pemukiman Maya dan bangunan Eropa abad ke-12, dan beberapa berbicara tentang Venesia fraktal, katedral Gotik, bentuk seni dekoratif Persia, dan banyak

contoh dalam arsitektur Timur. Fraktal telah mengilhami banyak desainer modern hebat, seperti Zaha Hadid, Daniel Libeskind, Frank Gehry, dan lainnya, termasuk Frank Lloyd Wright sebelumnya, yang bersama-sama telah merancang banyak arsitektur fraktal terkenal.

Yessios (1987) adalah salah satu orang pertama yang menggunakan fraktal dan desain geometri fraktal dalam arsitektur dengan mengembangkan program komputer untuk membantu desain arsitektur menggunakan generator fraktal. Wen dan Kao (2005) membuat analisis tabel matriks relasi dimensi fraktal untuk mengklasifikasikan pola gaya desain untuk karya agung tiga maestro arsitektur modern: Frank Lloyd Wright, Le Corbusier, dan Mies van der Rohe. Gambar 2.1 menunjukkan hasilnya. Dapat dilihat bahwa tren temporal individu bervariasi. Dimensi fraktal untuk Frank Lloyd Wright umumnya rata-rata, tetapi rendah pada awal dan akhir periode waktu.

Tren untuk Le Corbusier menurun, dengan kemiringan yang landai dari pertengahan 1900-an hingga pertengahan 1950-an. Untuk periode yang ditunjukkan, tren untuk Mies van der Rohe sama dengan tren untuk Frank Lloyd Wright dari awal 1900-an hingga pertengahan 1930-an. Tren rata-rata untuk ketiga maestro ini umumnya menurun mulai dari tahun 1930-an. Lu dkk. (2012) menyimpulkan bahwa geometri fraktal memiliki implikasi penting bagi bangunan. Tinjauan mereka menunjukkan bahwa desain arsitektur bukanlah entitas yang terisolasi, tetapi mengantisipasi perubahan lingkungan.

Akumulasi modernisasi teknologi, dan penghancuran, adaptasi, dan perubahan bangunan, telah menyebabkan keragaman temporal dan spasial desain menjadi lebih kompleks. Lebih khusus lagi, pembangunan berkelanjutan dalam sebuah bangunan dapat dipandang sebagai kemampuan beradaptasi dan fleksibilitas dari waktu ke waktu dalam menanggapi lingkungan yang berubah. Teori chaos dan banyak teori nonlinier lainnya telah menjelaskan bahwa proses yang sangat deterministik dan linier sangat rapuh dalam menjaga stabilitas pada berbagai kondisi, sedangkan sistem chaos dan fraktal dapat berfungsi secara efektif pada berbagai kondisi yang berbeda, sehingga menawarkan kemampuan beradaptasi dan fleksibilitas. Dalam konteks ini, teori geometri fraktal menawarkan paradigma baru untuk desain arsitektur.



**Gambar 2.1 Dimensi Fraktal Untuk Karya Tiga Arsitek Modern. Data Diambil Dari Wen Dan Kao (2005)**

## 2.4 STUDI PERILAKU

Bagaimana hewan belajar? Apakah melalui naluri? Apa peran genetika dan lingkungan? Etologi adalah studi tentang perilaku komparatif, dan pada tahun 1973 Penghargaan Nobel diberikan kepada Karl von Frisch, Konrad Lorenz, dan Nikolaas Tinbergen atas karya mereka di bidang ini. Mereka terutama menggunakan lebah, angsa, tawon, ikan, dan burung camar sebagai subjek untuk memperoleh kesimpulan tentang perilaku hewan.

Perilaku dipandu oleh kode genetik organisme dan pengaruh lingkungan terhadap organisme saat ia hidup. Hansell (2007) menunjukkan bahwa Darwin mengusulkan dua mekanisme evolusi, dan ini dijelaskan dalam risalahnya *On The Origin of the Species* (1859) dan *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex* (1871). Cara pasti terjadinya mutasi dan dengan demikian mengubah susunan gen masih terbuka untuk diperdebatkan.

## 2.5. BIOFILIA

Rasa bawaan kita terhadap Alam disebut biofilia. Heerwagen (2009) menyajikan bukti ekstensif tentang bagaimana Alam memengaruhi kesehatan dan kesejahteraan kita, dan Kellert dkk. (2008) menunjukkan desain biofilik dalam arsitektur dan teknik. Klien sering bertanya tentang keuntungan finansial apa yang dihasilkan lingkungan yang baik, meskipun mereka mengakui bahwa produktivitas biasanya lebih tinggi di lingkungan seperti itu. Terrapin LLC (2012) telah menerbitkan sebuah makalah tentang ekonomi biofilia.

Makalah tersebut berargumen dengan kuat bahwa dengan mengadopsi langkah-langkah biofilik, penghematan dapat mencapai Rp. 930 Miliar per tahun untuk rumah sakit, dan mereka juga memperkirakan tingkat pengembalian yang sangat signifikan di sekolah-sekolah New York. Keuntungan ritel dapat ditingkatkan sebesar Rp. 475 Miliar di California saja. Bangunan cerdas merupakan kombinasi dari bangunan itu sendiri dan lanskap di sekitarnya, yang tidak hanya menyediakan ruang terbuka tetapi juga memiliki efek pendinginan dan peneduh. Di samping itu, tanaman hijau tidak hanya memenuhi selera estetika kita tetapi juga semangat dan kesejahteraan kita.

## 2.6. ARSITEKTUR YANG TERINSPIRASI OLEH ALAM

Kami ingin bangunan cerdas generasi mendatang membuka jendelanya seperti kelopak mata saat fajar menyingsing, merasakan panas matahari terbit atau menanggapi dinginnya angin dengan mengangkat bulu-bulu di punggungnya untuk insulasi. John dkk. (2005) menjelaskan solusi berkelanjutan untuk arsitektur menggunakan pelajaran dari alam. Daya tarik biomimetika bagi perancang bangunan adalah bahwa hal itu meningkatkan prospek integrasi yang lebih erat antara bentuk dan fungsi. Arsitektur biomimetika dapat dilihat sebagai perluasan dari modernisme.

Arsitektur ini menjanjikan lebih banyak interaksi dengan pengguna dengan, misalnya, belajar dari sistem sensor canggih pada hewan, termasuk dunia serangga. Namun, ada hambatan, termasuk standar yang terus berubah, fragmentasi industri konstruksi di tingkat pendidikan dan profesional, dan budaya tradisional yang bertahan dalam hal-hal seperti inovasi dan mengorbankan nilai untuk biaya modal yang rendah. Biomimetika berada di antara biologi, teknik, ilmu material, dan kimia, serta mendorong dialog terbuka yang dapat



memberikan pencerahan terhadap berbagai masalah.

McDonough dan Braungart (2002) mengajukan pertanyaan yang menggoda, 'Mengapa sebuah bangunan tidak dapat dirancang seperti pohon?' Jika seseorang mempelajari karya arsitek eko-perkotaan perintis Ken Yeang atau kota teratai air karya Vincent Callebaut (2011), dapat dilihat bahwa gagasan ini tidak terlalu mengada-ada. Beberapa arsitek, seperti Frank Gehry dan Santiago Calatrava, terinspirasi oleh bentuk dan rupa ikan, burung, atau tubuh manusia, misalnya, untuk memahat beberapa bangunan mereka. Milwaukee Calatrava dianggap menyerupai elang; Pusat Pameran dan Konferensi Skotlandia milik Norman Foster di Glasgow disebut sebagai 'armadillo'; Auditorium Parco della Musica karya Renzo Piano dianggap berbentuk seperti kumbang.

Struktur tarik ringan Frei Otto awalnya terinspirasi oleh jaring laba-laba, tetapi juga identik dengan pohon karena integritas strukturalnya. Bagi Frank Lloyd Wright, arsitektur dan Alam adalah belahan jiwa: 'Bangunan juga merupakan anak-anak Bumi dan Matahari'. Hewan dan tumbuhan bergantung pada jaringan untuk mengalirkan darah, udara, dan air untuk hidup. Bagaimana jaringan ini dibuat seefektif yang kita ketahui, termasuk konsumsi energi minimumnya? Sebuah tim di Laboratorium Los Alamos telah menemukan bahwa geometri fraktal dapat menjelaskan hal ini, dan telah mengembangkan hukum skala alometrik yang mendefinisikan jaringan percabangan.

Model umum menggambarkan bagaimana cairan dan material diangkut melalui jaringan fraktal yang mengisi ruang dari tabung percabangan. Disipasi energi diminimalkan dan tabung terminal dibatasi ukurannya menjadi satu sel. Secara lebih umum, sifat struktural dan fungsional dapat diprediksi untuk sistem kardiovaskular dan pernapasan vertebrata, sistem vaskular tanaman, tabung trakea serangga, dan jaringan distribusi lainnya. Dengan menggunakan model ini, jaringan transpirasi pada tanaman dan darah pada hewan dapat dipahami secara lebih rinci.

Tabel 2.1 menunjukkan berbagai aspek Alam yang telah merangsang proses kreatif dalam desain arsitektur secara fungsional maupun gaya. Arsitek dan perencana David Pearson (2001) mengusulkan daftar aturan untuk desain arsitektur organik. Aturan-aturan ini dikenal sebagai 'Piagam Gaia' untuk arsitektur dan desain organik. Biarkan desain:

- Mengekspresikan irama musik dan kekuatan tari.
- Terinspirasi oleh alam dan berkelanjutan, sehat, lestari, dan beragam.
- Berkembang, seperti organisme, dari benih di dalamnya.
- Ada di 'masa kini yang berkelanjutan' dan 'mulai lagi dan lagi'.
- Mengikuti arus dan fleksibel serta mudah beradaptasi.
- Memenuhi kebutuhan sosial, fisik, dan spiritual.
- 'tumbuh dari tempat lain' dan menjadi unik.
- Rayakan semangat anak muda, bermain dan memberi kejutan.

**Tabel 2.1 Beberapa Contoh Bagaimana Alam Mempengaruhi Desain**



Sisi Alam	Fitur arsitektur
Tulang paha manusia	Dasar Menara Eiffel
Bunga lili air Amazon	Lompatan ke Crystal Palace
Kerangka radiolaria	Kubah geodesik
Benang byssus dari kerang	filamen perekat
Ikan kotak	Mobil Daimler–Chrysler
Spiral logaritmik pada kerang; koklea; pori-pori kulit	Kipas ventilasi oleh PAX Scientific
Burung merak; burung kolibri; kupu-kupu	Warna struktural (Vukusic, 2004)
Benih Maple Samara bersayap	Rumah Samara oleh Frank Lloyd Wright
Filamen spons laut (keranjang bunga Venus)	Panduan cahaya
Struktur mata ngengat yang menyerupai pilar	Permukaan anti-reflektif (film MARAG untuk sel surya dan layar)
Cumi-cumi	Sel kulit berubah warna
Fotosintesis	Sel surya peka warna
Kulit hiu	Pakaian renang berdaya hambat rendah
Kaki tokek	Pita perekat dan lem

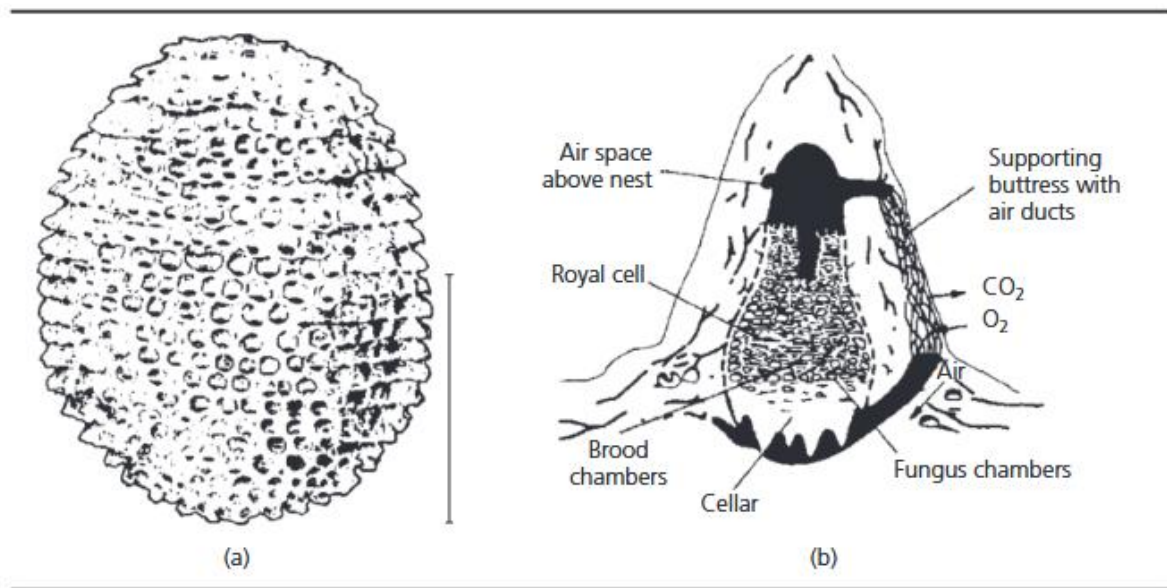
Contoh arsitektur organik yang terkenal adalah Fallingwater, tempat tinggal yang dirancang Frank Lloyd Wright untuk keluarga Kaufman di pedesaan Pennsylvania. Wright memiliki banyak pilihan lokasi untuk membangun rumah di lokasi yang luas ini, tetapi memilih untuk menempatkan rumah tepat di atas air terjun dan sungai, menciptakan lanskap suara dengan aliran air yang deras di tengah lingkungan alami. Garis-garis horizontal dari pasangan batu dengan kantilever beton berwarna krem menyatu dengan singkapan batu asli dan lingkungan hutan.

## 2.7. STUDI KASUS

Ada banyak contoh aplikasi biomimetik yang muncul, seperti cat Lotusan yang memungkinkan bangunan membersihkan diri (berdasarkan daun teratai); penemuan Velcro yang terkenal; pakaian renang cepat yang didasarkan pada hambatan permukaan rendah yang ditawarkan oleh fitur permukaan kulit hiu; dan masih banyak lagi. Tiga studi kasus diberikan di bawah ini yang relevan dengan arsitektur dan berkelanjutan dalam hal penghematan energi. Pawlyn menjelaskan lebih banyak lagi.

### Studi kasus 1: Rayap

Di era ketika keberlanjutan begitu penting, ventilasi alami bangunan dipandang sebagai sistem yang hemat energi dan tahan lama, dan rayap menunjukkan hal ini dengan sempurna. Buku-buku karya von Frisch, Gould dan Gould, Hansell dan Hersey semuanya berisi deskripsi terperinci. Gambar 2.2 (a) Sarang rayap jenis *Apicotermes gurgulifex*. Sarang tersebut, setinggi sekitar 20 cm, terletak di bawah tanah dan dikelilingi oleh rongga udara. Permukaannya ditembus oleh celah ventilasi, yang masing-masing dikelilingi oleh cincin yang menonjol. (b) Potongan melintang sarang *Macrotermes bellicosus* (dahulu, *natalensis*) dari Pantai Gading, Afrika.



Alasan untuk memberikan ventilasi pada ruangan dengan udara adalah:

- Oksigen dibutuhkan untuk proses kehidupan
- Udara bertindak sebagai pengencer jumlah udara yang dibutuhkan bergantung pada tingkat kontaminasi yang dapat diterima
- Ventilasi mendorong dan mengarahkan pergerakan udara melalui ruangan
- Ventilasi mengendalikan kontaminasi udara.

Sarang rayap spesies *Apicotermes gurgulifex* ditunjukkan pada Gambar 2.2 (a). Tertanam di dalam tanah tetapi diselubungi oleh mantel udara, sarang tersebut dibangun dari kotoran rayap, dan terisolasi dengan baik. Dinding luarnya memiliki pola konfigurasi berbentuk cincin yang menonjol yang mengelilingi serangkaian celah ventilasi yang diberi jarak dan bentuk yang tepat. Celah-celah ini menghubungkan ruang eksternal dan internal. Contoh lain ventilasi otomatis di tempat tinggal rayap ditunjukkan pada Gambar 2.2 (b).

Rayap spesies *Macrotermes bellicosus* dapat mencapai ketinggian 3 atau 4 m dan berisi lebih dari 2 juta rayap. Udara di ruang jamur dipanaskan oleh proses fermentasi dan panas diperoleh dari rayap itu sendiri. Udara panas naik dan memasuki sistem saluran di punggung bukit, yang dindingnya berpori dan dengan demikian memungkinkan karbon dioksida keluar dan oksigen masuk ke dalam tempat tinggal. Udara yang lebih dingin mengalir ke ruang bawah tanah dan menggantikan udara hangat yang naik. Rayap menunjukkan variasi dalam gaya membangun sarang mereka di berbagai daerah.

Bagaimana solusi yang berbeda untuk masalah yang sama ini telah dikembangkan selama sejarah evolusi spesies tersebut tidak diketahui. Pusat Eastgate di Harare, Zimbabwe, dirancang oleh arsitek Mike Pearce dengan insinyur Ove Arup and Partners. Pusat ini berisi kantor dan pusat perbelanjaan. Desainnya terinspirasi oleh gundukan rayap Afrika yang mendinginkan diri sendiri, dan mengadopsi ventilasi alami dengan teknik pendinginan pasif menggunakan massa yang berat untuk mencapai kenyamanan termal sepanjang tahun. Udara

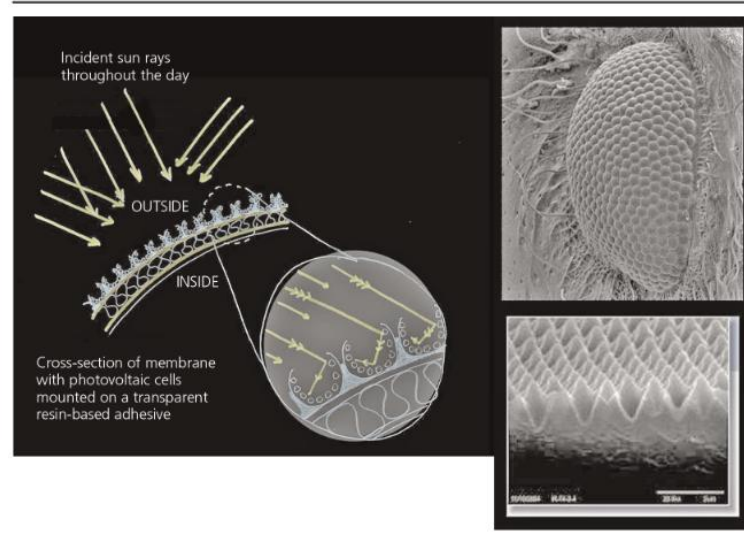
luar ruangan dihisap dan dihangatkan atau didinginkan oleh massa bangunan, dialirkan ke lantai blok berongga bangunan, dan kemudian ke kantor melalui saluran ventilasi sebelum keluar melalui cerobong asap di bagian atas.

Bagian tengah disegel untuk mencegah polusi suara. Bangunan ini memiliki kaca penyangkai cahaya, tirai yang dapat disesuaikan, atap yang menjorok dalam untuk menaungi jendela dan dinding dari sinar matahari musim panas langsung yang terik, sambil memanfaatkan sinar matahari musim dingin yang terik sehingga perolehan panas diminimalkan. Konsumsi energi Eastgate Centre 10% lebih rendah daripada bangunan konvensional, atau 35% lebih rendah daripada bangunan ber-AC. Ini juga memberikan penghematan sewa sebesar 20% bagi penyewa dibandingkan dengan penghuni di gedung-gedung di sekitarnya karena biaya perawatan yang berkurang.

### **Studi kasus 2: Sel fotovoltaik yang tertanam di atas membran elektroluminesensi – inspirasi yang berasal dari mata ngengat**

Ngengat telah mengembangkan mata yang luar biasa yang, alih-alih memantulkan cahaya, menyerapnya hampir seluruhnya. Insinyur telah meniru nanostrukturnya untuk merancang lapisan panel surya dan permukaan anti-reflektif yang lebih baik, dan para ilmuwan menggunakan prinsip yang sama untuk merancang lapisan tipis yang akan menyerap radiasi dari mesin sinar-X secara lebih efektif. Gambar 2.3 menunjukkan cara kerja ngengat. Sel fotovoltaik yang dipasang pada membran menyerap semua sinar matahari yang datang dari segala arah pada setiap saat sepanjang tahun tanpa perlu penggantian manual atau otomatis. Diagram menggambarkan bagaimana sinar yang masuk, setelah memasuki sel yang mirip mata ngengat, dipantulkan di dalam sel ke molekul fotovoltaik di sekitar permukaan bola, sehingga tidak ada yang meninggalkan sel lagi.

Penyerapan ini terjadi sepanjang tahun dalam kondisi yang bervariasi, dan menciptakan perbedaan potensial untuk pembangkitan listrik. Pola yang dibentuk oleh sel fotovoltaik tembus cahaya dan membran transparan memberikan efek kaca beku visual pada bagian dalam. Gambar 2.3 Sketsa penampang sel fotovoltaik yang diusulkan di atas membran yang menyerap sinar matahari dari segala arah. Inspirasi yang diperoleh struktur mata ngengat (kanan atas); tampilan mikroskopis membran skematik dengan impregnasi pada permukaan luarnya untuk meningkatkan luas permukaan yang terekspos (kanan bawah). Gambar milik Jonathan Gilder



Aplikasi terpadu membran elektroluminesensi (yang memperoleh energi listriknya dari energi tersimpan sel fotovoltaik) memungkinkan opsi untuk membuat seluruh membran bersinar pada malam hari. Demikian pula, bagian dalam membran juga dapat memiliki lapisan elektrokromik. Energi listrik yang dihasilkan pada siang hari dari sel fotovoltaik dapat mengisi lapisan elektrokromik untuk secara bervariasi menaungi bagian dalam struktur dari cahaya ultraviolet yang datang dari matahari. Ini pada akhirnya dapat menjadi fasad penyaringan energi nol dan sistem penerangan bangunan eksterior.

### Studi kasus 3: Pohon bioluminesensi

Kunang-kunang, ikan pemancing, dan beberapa makhluk lain serta beberapa jamur bersinar karena bioluminesensi. Hal ini terjadi pada vertebrata dan invertebrata laut serta mikroorganisme dan hewan darat. Kemungkinan merekayasa pohon bioluminesensi untuk menciptakan penerangan jalan yang tidak memerlukan listrik merupakan ide yang menarik. Aplikasi lain yang mungkin dari rekayasa bioluminesensi meliputi:

- Pohon Natal yang tidak memerlukan lampu, mengurangi bahaya kebakaran listrik
- Tanaman pertanian dan tanaman rumah tangga yang berpendar saat perlu disiram
- Metode baru untuk mendeteksi kontaminasi bakteri pada daging dan makanan lainnya
- Pengenal biologis untuk narapidana yang melarikan diri dan pasien kesehatan mental
- Mendeteksi spesies bakteri pada mayat dalam kasus kematian yang mencurigakan

## 2.8. KESIMPULAN

Dalam kerajaan hewan, penyediaan habitat merupakan tema umum, tetapi ada keragaman yang luas dalam cara habitat tersebut dibangun. Hewan dan tumbuhan telah mengembangkan strategi pembangunan untuk mengatasi berbagai kekuatan lingkungan. Manusia pertama kali menetap di gua, tetapi kini memiliki banyak variasi ekspresi arsitektur. Kebutuhan dasar akan keamanan, tempat berteduh, dan pengendalian lingkungan pasif merupakan kebutuhan umum bagi semua hewan. Manusia berbeda karena kita terus-menerus mencari perubahan. Setiap generasi mengekspresikan dirinya sedikit berbeda

menurut perubahan sosial dan teknologi.

Hewan lain lebih konstan dalam kebutuhan mereka karena mereka berfokus pada makanan dan prokreasi. Namun, benih rasa estetika mungkin dapat dilihat dalam ritual pacaran spesies seperti burung bowerbird. Burung bowerbird menunjukkan ritual pacaran yang luar biasa. Burung bowerbird jantan membangun jalan setapak yang diapit ranting yang mengarah ke area pacaran tempat burung jantan memamerkan diri kepada burung betina. Di lantai terdapat kerikil dan batu yang ditata menurut ukuran dengan yang terkecil di depan dan yang terbesar di belakang, sehingga menciptakan perspektif yang dipaksakan.

John Endler dan rekan-rekannya di Universitas Deakin di Australia membalik urutan ukuran, tetapi dalam waktu 3 hari burung bowerbird telah memulihkan tata letaknya. Ekspresi sebagian besar hewan sederhana, berfokus pada kebutuhan dasar mereka, sedangkan manusia jauh lebih rumit dan fokus ini hilang dalam banyaknya faktor yang membentuk masyarakat manusia. Alam menunjukkan kepada kita bagaimana optimalisasi alami dapat diterapkan, sedangkan bagi manusia hal ini tidak mudah dicapai dalam praktik.

Serangga sosial tampaknya bekerja dengan mudah dalam tim, sedangkan manusia merasa ini sulit. Sebagian besar dari kita hidup dalam masyarakat di mana uang menentukan pertumbuhan ekonomi, dan ini bertentangan dengan kebutuhan akan pembangunan berkelanjutan. Di Alam, kebutuhan dasar adalah nilai-nilai, tetapi nilai-nilai manusia dipandang dengan cara yang sangat berbeda, tidak hanya oleh budaya yang berbeda tetapi juga oleh individu-individu dalam budaya tersebut. Terlalu sering nilai-nilai dikorbankan untuk keuntungan finansial jangka pendek.

Biomimetika memberi kita kesempatan untuk memikirkan kembali beberapa strategi kita dalam arsitektur dan bagaimana kita dapat menangani pembangunan berkelanjutan, tetapi ini membutuhkan keterlibatan aktif publik dan swasta dari semua orang dan pendekatan yang berpikiran terbuka. Armstrong dan Spiller (2010) menjelaskan bagaimana biologi sintesis menawarkan cara-cara baru untuk menggabungkan keunggulan sistem kehidupan dengan kekokohan bahan-bahan tradisional untuk menghasilkan arsitektur yang berkelanjutan dan responsif terhadap lingkungan.

Printer bakteri yang menangani konstruksi; bakteri hasil rekayasa genetika yang menghasilkan bahan tahan lama, dan bakteri yang dikembangkan menjadi biosensor adalah contoh perkembangan terkini yang berpotensi mengubah wajah arsitektur. Tabel 2.2 merangkum beberapa fitur di Alam yang relevan dengan dunia buatan manusia, dan menghubungkan aplikasi melalui proses dan fungsi yang terjadi di Alam.

*Bioluminesensi*. Produksi dan emisi cahaya oleh organisme hidup. Istilah ini merupakan kata hibrida, yang berasal dari bahasa Yunani bios yang berarti 'hidup' dan bahasa Latin lumen yang berarti 'cahaya'. Bioluminesensi adalah bentuk kemiluminesensi yang terjadi secara alami di mana energi dilepaskan oleh reaksi kimia dalam bentuk emisi cahaya. Kunang-kunang, ikan pemancing, dan makhluk lainnya menghasilkan zat kimia luciferin (pigmen) dan luciferase (enzim). Luciferin bereaksi dengan oksigen untuk menghasilkan cahaya. Luciferase bertindak sebagai katalis untuk mempercepat reaksi, yang terkadang dimediasi oleh kofaktor seperti ion kalsium atau ATP. Reaksi kimia dapat terjadi di dalam atau di luar sel. Pada bakteri, ekspresi

gen yang terkait dengan bioluminesensi dikendalikan oleh operon yang disebut operon Lux. Berdasarkan keanekaragaman dan distribusi filogenetiknya, diperkirakan bahwa bioluminesensi telah muncul secara independen sebanyak 30 kali selama evolusi. Bioluminesensi terjadi pada vertebrata dan invertebrata laut, serta mikroorganisme dan hewan darat. Organisme simbiotik yang dibawa dalam organisme yang lebih besar juga diketahui dapat melakukan bioluminesensi.

*Biomimetika.* Biomimikri atau biomimetika adalah pemeriksaan alam beserta model, sistem, proses, dan elemennya, baik untuk menirunya atau menggunakannya sebagai inspirasi untuk memecahkan masalah manusia. Istilah tersebut berasal dari kata Yunani bios, yang berarti kehidupan, dan mimesis, yang berarti meniru. Istilah lain yang sering digunakan adalah bionik, bioinspirasi, dan biognosis. 'Bionik' adalah kata yang berasal dari elektronika biologis, dan berarti penerapan proses biologis untuk mengendalikan sistem dan kecerdasan buatan dalam mesin atau, dalam kasus kami, bangunan.

*Biofilia.* Hipotesis biofilia menyatakan bahwa ada ikatan naluriah antara manusia dan sistem kehidupan lainnya. Wilson memperkenalkan dan memopulerkan hipotesis tersebut dalam bukunya Biophilia. Istilah 'biofilia' secara harfiah berarti 'cinta kehidupan atau sistem kehidupan'. Istilah ini pertama kali digunakan oleh Fromm untuk menggambarkan orientasi psikologis yang menunjukkan ketertarikan pada semua yang hidup dan vital. Wilson menggunakan istilah tersebut dalam pengertian yang sama ketika ia menyatakan bahwa biofilia menggambarkan 'hubungan yang secara tidak sadar dicari manusia dengan kehidupan lainnya'. Ia mengusulkan kemungkinan bahwa afiliasi mendalam yang dimiliki manusia dengan Alam berakar pada biologi kita. Tidak seperti fobia, yang merupakan penolakan dan ketakutan yang dimiliki orang terhadap hal-hal di alam, filia adalah ketertarikan dan perasaan positif yang dimiliki orang terhadap habitat, aktivitas, dan objek tertentu di lingkungan alami mereka.

*Elektroluminesensi.* Fenomena optik dan listrik di mana suatu material memancarkan cahaya sebagai respons terhadap arus listrik yang melewatinya, atau terhadap medan listrik yang kuat. Hal ini berbeda dari emisi cahaya yang dihasilkan dari panas (pijar), reaksi kimia (kemiluminesensi), suara (sonoluminesensi) atau tindakan mekanis lainnya (mekanoluminesensi).

*Etologi.* Studi tentang perilaku hewan berdasarkan pengamatan, pencatatan, dan analisis sistematis tentang bagaimana hewan berfungsi, dengan perhatian khusus diberikan pada aspek fisiologis, ekologis, dan evolusi. Eksperimen laboratorium atau lapangan yang dirancang untuk menguji penjelasan yang diajukan harus ketat, dapat diulang, dan menunjukkan peran seleksi alam. Pemikiran saat ini menekankan interaksi kompleks antara lingkungan dan respons yang ditentukan secara genetik, terutama selama perkembangan awal. Ahli etologi awal termasuk Charles Darwin dan William James. Ahli zoologi Konrad Lorenz dan Nikolaas Tinbergen secara luas dianggap sebagai pendiri etologi modern.

*Naluri.* Istilah yang umumnya digunakan untuk menunjukkan kecenderungan bawaan untuk bertindak, atau pola perilaku, yang ditimbulkan oleh rangsangan tertentu dan memenuhi kebutuhan vital suatu organisme.

*Fotoluminesensi.* Proses di mana suatu zat menyerap foton (radiasi elektromagnetik)



dan kemudian memancarkannya kembali. Secara mekanika kuantum, ini dapat digambarkan sebagai eksitasi ke keadaan energi yang lebih tinggi dan kemudian kembali ke keadaan energi yang lebih rendah disertai dengan emisi foton. Ini adalah salah satu dari banyak bentuk luminesensi (emisi cahaya) dan dibedakan dengan fotoeksitasi (eksitasi oleh foton, maka ada awalan foto). Periode antara penyerapan dan emisi biasanya sangat singkat, sekitar 10 ns.

**Tabel 2.2 Berbagai persilangan yang berguna dari Nature**

Inspirasi Biologis	Kebutuhan Bangunan	Karakteristik yang Diperlukan	Bahan dan Teknologi Pintar Terkait
Kulit	Kontrol radiasi matahari melalui material selubung	Penyerapan atau transmivitas spektral kulit	<i>Bahan Pintar Inheren:</i> Bahan fotokromik
			<i>Sistem Rekayasa Aktif:</i> Penggabungan dua atau lebih teknologi ini untuk sistem pertukaran energi multiteral, misalnya sel fotovoltkaik dipasang di atas film fotokromik
Rambut Kepala	Posisi relatif layar terhadap kulit	Menggunakan tanaman hijau pada fasad eksterior dan atap yang terintegrasi dengan material fasad, misalnya tanaman merambat pada membran	<i>Sistem Rekayasa Aktif:</i> Sistem kisi-kisi dan panel dengan sensor tertanam dan mekanisme akuator
Berkeringat	Kontrol Panas Interior	Pendinginan evaporatif	<i>Bahan Pintar Inheren:</i> Bahan arsitektur tanah dan vernakular seperti lumpur, tanah liat, dan kotoran
			<i>Sistem Rekayasa Aktif:</i> Mekanisme berkeringat melalui dinding dengan mekanisme kapiler yang terdiri dari bahan peubahan fase dan bahan termoelektrik
Lemak Tubuh	Kontrol kehilangan panas dari area inti	Konduktivitas termal dari material selubung	<i>Bahan Pintar Inheren:</i> bahan perubahan fase digunakan sebagai resevisor energi
Pembuluh Darah	Penyampaian Energi: HVAC, listrik, pipa, dll.	Limbah energi minimal melalui konservasi energi dan penyampaian yang efisien	<i>Bahan Pintar Inheren:</i> Sistem tubular bercabang (misalnya kabel serat optik) yang mirip dengan yang ditemukan di alam (misalnya percabangan pohon) tertanam dalam kerangka struktural

			<i>Sistem Rekayasa Aktif:</i> Rekayasa perpipaan dan saluran dalam kerangka struktural bangunan sesuai dengan prinsip percabangan yang ditemukan di alam
Mekar bunga	Optimasi pencahayaan	Pengenalan keberadaan dan kebutuhan pencahayaan	<i>Sistem Rekayasa Aktif:</i> Rekayasa teknologi bahan pintar untuk sistem aktif responsif, misalnya: 1) sel fotovoltaik, 2) bahan fotoelektrik, 3) bahan piroelektrik
Mata ngengat	Penyerapan radiasi matahari melalui material selubung	Material dengan daya serap tinggi untuk menangkap radiasi matahari dan menghasilkan listrik	<i>Bahan Pintar Inheren:</i> 1) Sel fotovoltaik, 2) Bahan fotokromik, 3) Bahan elektrokromik
			<i>Sistem Rekayasa Aktif:</i> Penggabungan dua atau lebih teknologi ini untuk sistem pertukaran energi multilateral (misalnya, sel fotovoltaik dipasang di atas film fotokromik)
Jaring laba-laba	Kemampuan menyerap/mengalirkan/mengarahkan kelembaban dari udara (dalam/luar ruangan) serta memanen air	Serat protein berbentuk ekor sutra yang dapat berubah struktur sebagai respons terhadap air	<i>Bahan Pintar Inheren:</i> Nanofiber yang memberikan tekstur kasar dan berbonggol
			<i>Sistem Rekayasa Aktif:</i> Meniru arsitektur jaring laba-laba untuk menyalurkan air
Rayap	Ventilasi alami	Pendinginan evaporatif melalui membran berpori	<i>Bahan Pintar Inheren:</i> Bahan arsitektur tanah dan vernakular seperti tanah liat dan kotoran
			<i>Sistem Rekayasa Aktif:</i> Pembatasan mekanisme berkeringat melalui dinding dengan mekanisme kapiler yang terdiri dari: 1) Bahan perubahan fase, 2) Bahan termoelektrik, 3) Nanotube dengan mekanisme penutupan
Kulit hiu	Hambatan rendah terhadap angin, meningkatkan usia	Hambatan gesekan rendah	<i>Bahan Pintar Inheren:</i> Cat nanoteknologi dengan 'dentikel dermal' yang mirip dengan kulit hiu



	bangunan, dan mengurangi tekanan struktural		
Serangga	Optimasi pencahayaan	Ukuran, lokasi, warna, dan efisiensi	<i>Bahan Pintar Inheren:</i> 1) Dioda pemancar cahaya (LED), 2) Cat elektroluminesen, 3) Bahan kemoluminesen
			<i>Sistem Rekayasa Aktif:</i> Produk rekayasa menggunakan bahan fotovoltaiik untuk menghasilkan listrik bagi bahan elektroluminesen, yang secara teoritis dapat menciptakan sistem pencahayaan nol-energi dan pencahayaan sekitar
Mekanisme pertumbuhan dalam tumbuhan	Optimasi suhu dan kualitas udara	Sensor suhu, kelembaban, dan kualitas udara; sensor okupansi	<i>Sistem yang dikembangkan dari rekayasa:</i> 1) Bahan termoelektrik, 2) Bahan piroelektrik, 3) Biosensor, 4) Sensor kimia, 5) Optical MEMS
			<i>Sistem yang dikembangkan dari aplikasi:</i> 1) Bahan elektroeologi, 2) Bahan magneto reologi, 3) Paduan memori bentuk
Perbaikan/penyembuhan diri	Pemantauan kesehatan fasad	Pengecekan dan remediasi integritas struktural dan permukaan	<i>Bahan Pintar Inheren:</i> 1) Kabel serat optik, 2) Bahan piezoelektrik, 3) Bahan penyembuhan diri (polimer penyembuhan diri dan komposit polimer serat resin)
			<i>Sistem yang dikembangkan dari rekayasa:</i> 1) Paduan memori bentuk
Daun teratai	Penyelesaian permukaan	1) Pembersihan sendiri, 2) Refleksi panas dan radiasi, 3) Ketahanan	<i>Nanoteknologi yang terinspirasi dari daun teratai digunakan dalam:</i> 1) Cat dan pelapis pembersih sendiri, 2) Film dan membran pembersih sendiri, 3) Cat konduktif, 4) Cat berpendar
Pola di alam	Fungsi mengikuti bentuk	Algoritma desain adaptif yang terinspirasi dari pertumbuhan	Studi geometris untuk meminimalkan dan menyeimbangkan tekanan permukaan

## **BAB 3**

# **KESEHATAN DAN KESEJAHTERAAN LINGKUNGAN DALAM BANGUNAN**

Pembahasan dalam bab ini adalah bahwa lingkungan yang dibangun memengaruhi kesejahteraan kita dan ini pada gilirannya memengaruhi efektivitas kita di tempat kerja. Lingkungan yang buruk berkontribusi pada ketidakhadiran dan orang-orang tidak bekerja sebaik yang seharusnya. Ini merupakan biaya yang sangat besar bagi negara.

Desain lingkungan yang berkualitas tinggi merupakan sebuah investasi, karena penghuninya lebih sehat, tingkat retensi staf lebih tinggi, produktivitas lebih tinggi, dan cita-cita keberlanjutan lebih mungkin terpenuhi.

### **3.1. PENDAHULUAN**

Arsitektur lebih dari sekadar seni membangun bangunan individual. Arsitektur juga merupakan penciptaan lingkungan. Bangunan tidak berdiri sendiri. Bangunan tidak hanya memaksakan karakternya pada lingkungan sekitarnya, tetapi juga memiliki dampak yang tak terhitung pada kehidupan manusia yang menghuninya. Selama 20 tahun terakhir, telah dinilai secara empiris bahwa sebagian besar lingkungan bangunan memiliki efek langsung pada kesejahteraan dan kinerja pribadi penghuninya; namun, baru melalui studi yang lebih baru pemahaman yang lebih jelas tentang lingkungan yang ditempati telah ditemukan.

Bako'-Biro' dkk. (2008, 2012) telah menunjukkan bahwa konsentrasi anak-anak sekolah dasar dipengaruhi oleh kadar CO<sub>2</sub> antara 1000–5000 ppm, dan karenanya desain ventilasi udara segar yang efektif sangat penting. Satish dkk. (2011, 2012) menjelaskan bukti penelitian yang menunjukkan bahwa CO<sub>2</sub> memengaruhi pengambilan keputusan bahkan pada kadar serendah 600 ppm, yang berada di bawah kadar yang biasanya diterima yaitu 1000 ppm. Kebisingan, cahaya, dan suhu di Inggris, Pameran dan Konferensi Bangunan Sekolah menanyakan kepada kepala sekolah apakah mereka merasa bangunan modern memengaruhi pembelajaran.

Sekitar 78% mengatakan mereka merasa ada hubungan yang jelas antara kualitas desain sekolah dan tingkat pencapaian siswa. Williams melaporkan kesimpulan serupa untuk 12 sekolah dasar, yang dinilainya menggunakan metode penilaian kualitas bangunan (BQA) dan membandingkan skor BQA dengan hasil ujian. Ada korelasi yang jelas antara kualitas bangunan dan kinerja siswa. Ukuran kualitas bangunan lainnya termasuk indikator kualitas desain (DQI).

Miller dkk. (2009) mensurvei lebih dari 500 bangunan berperingkat LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) dan Energy Star, dan membuktikan hipotesis mereka bahwa bangunan yang sehat mengurangi jumlah hari sakit, meningkatkan produktivitas, dan mempermudah perekrutan dan mempertahankan staf. Bukti lain yang mendukung argumen ini adalah yang menunjukkan bahwa bangunan berkelanjutan menurunkan biaya bisnis dan

biaya energi, dan meningkatkan nilai aset yang dibangun karena meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap bangunan hijau memperdalam permintaan akan bangunan berkelanjutan dan undang-undang memaksa langkah tersebut.

Pertanyaannya sekarang adalah 'Bisakah seseorang tidak menjadi berkelanjutan?' Bernstein dan Russo (2010) menulis bahwa bangunan berlabel lingkungan disewakan dengan harga 2–3% lebih mahal dan memiliki tingkat hunian yang lebih tinggi dan biaya operasional yang menurun, dan pada tahun 2008 nilai bangunan ini meningkat sebesar 10%. Newell mengutip bukti yang menunjukkan bahwa bangunan berperingkat LEED menghabiskan biaya 6% lebih banyak untuk dibangun, memiliki tingkat hunian lebih dari 4% lebih tinggi, meminta sewa 2–6% lebih tinggi dan menghemat 10–50% dalam konsumsi energi.

Pada Bab 1, disarankan bahwa proses desain dan manajemen terpadu dapat mengurangi biaya pembangunan tambahan sekitar 6% hingga tidak ada biaya tambahan sama sekali. Tampaknya ada lingkaran baik yang menghubungkan kesehatan, keberlanjutan, dan kualitas lingkungan. Kinerja bangunan yang lebih baik cenderung mengarah pada kinerja manusia yang lebih baik. Tentu saja, faktor-faktor lain juga penting, seperti kepuasan kerja, suasana sosial di tempat kerja, dan masalah pribadi. Di sini, 'kesehatan' berhubungan dengan pikiran dan tubuh. Lingkungan sekitar kita dapat memengaruhi suasana hati, konsentrasi, dan meningkatkan atau mengurangi motivasi dasar kita untuk bekerja.

Beberapa orang lebih peka terhadap lingkungan sekitar daripada yang lain, tetapi kita harus berusaha memuaskan orang-orang yang paling peka daripada merancang berdasarkan preferensi rata-rata, yang mengabaikan perbedaan individu. Terlalu sering bangunan dilihat sebagai wadah statis yang mahal daripada sebagai investasi yang, jika sehat dan berkelanjutan, dapat menambah nilai. Boyden (1971) membedakan antara kebutuhan untuk bertahan hidup dan kebutuhan untuk kesejahteraan. Manusia memiliki kebutuhan fisiologis, psikologis, dan sosial. Heerwagen (1998) menunjukkan kebutuhan kesejahteraan yang relevan dengan desain bangunan sebagai:

- Lingkungan sosial
- Kebebasan untuk bekerja sendiri atau berkelompok g peluang untuk mengembangkan ekspresi diri g pemandangan visual yang menarik
- Kondisi akustik yang dapat diterima
- Kontras dan perubahan acak bagi indera untuk bereaksi
- Kesempatan untuk berolahraga atau beralih dari pekerjaan ke aktivitas yang merangsang lainnya
- Kebutuhan akan udara segar yang bersih.

Stokols (1992) menyatakan bahwa kondisi fisik, emosional, dan sosial bersama-sama merupakan syarat untuk kesehatan yang baik. Dalam praktiknya, investor, pengembang, dan klien sering kali setuju bahwa bangunan sehat yang berkelanjutan diinginkan tetapi menginginkan bukti ekonomi yang terukur untuk meyakinkan mereka untuk membiayai proyek tersebut. Kesadaran sosial berubah tentang perlunya bangunan hijau yang berkelanjutan. Dewan Bangunan Hijau menerbitkan sebuah laporan pada tahun 2003 berjudul Membuat Kasus Bisnis untuk Bangunan Hijau Berkinerja Tinggi dan beberapa kesimpulannya meliputi:

- Biaya modal yang lebih tinggi dapat diperoleh kembali dalam waktu yang relatif singkat
- Desain terpadu menurunkan biaya operasional
- Bangunan yang lebih baik berarti produktivitas karyawan yang lebih baik
- Teknologi baru yang tepat dapat meningkatkan kesehatan dan kesejahteraan
- Bangunan yang lebih sehat dapat mengurangi kewajiban
- Biaya penyewa dapat dikurangi secara signifikan
- Nilai properti akan meningkat
- Masyarakat akan memperhatikan upaya anda
- Penggunaan praktik terbaik menghasilkan hasil yang lebih dapat diprediksi, tetapi ingatlah bahwa perilaku penghuni memengaruhi kinerja
- Hormati lanskap dan ruang terbuka di dekat gedung.

### 3.2. FAKTOR LINGKUNGAN

Bagaimana perasaan orang tentang lingkungan fisik mereka, dapat memengaruhi tidak hanya kesehatan mental dan kesejahteraan, tetapi juga penyakit fisik. Dalam meneliti dampak lingkungan terhadap manusia, umum untuk membaca bahwa faktor lingkungan dapat bertindak sebagai pemicu stres. Bau, suara, kualitas udara, suhu, dan cahaya cenderung memengaruhi manusia melalui empat mekanisme berbeda: fisiologis, afektif, stres, dan psikosomatis.

Pemicu stres dapat menyebabkan peningkatan denyut jantung, muntah, napas pendek, dan ketegangan otot. Mereka dapat memengaruhi ritme otak dan mengubah pola alfa, beta, dan theta, yang berkorelasi dengan suasana hati dan afek. Keadaan afektif memengaruhi penilaian, produktivitas, hubungan interpersonal, citra diri, moral, dan agresi. Jadi, seseorang dapat melihat rangkaian reaksi fisiologis dan psikologis yang mungkin terjadi saat terpapar lingkungan. Ada petunjuk di sini juga tentang cara kita mengukur reaksi tersebut.

Kita mengalami kehidupan melalui indera kita, dan bangunan cerdas harus menjadi pengalaman multisensori. Secara umum, data evaluasi pascahunian menunjukkan bahwa orang sangat positif terhadap ruang yang lapang, segar, memiliki cahaya alami, dan pemandangan ke lanskap alam. Jika suatu lingkungan ingin mendukung kesehatan dan kesejahteraan, lingkungan tersebut harus menunjukkan karakteristik berikut:

- Lingkungan termal yang segar.
- Tingkat ventilasi yang cukup untuk menyediakan udara segar dengan distribusi yang baik dan kadar CO<sub>2</sub> yang dapat diterima.
- Pencahayaan alami yang baik.
- Tidak ada silau cahaya.
- Pengaturan spasial yang sesuai dengan berbagai jenis pekerjaan.
- Tempat kerja ergonomis yang telah dirancang untuk meminimalkan gangguan muskuloskeletal.
- Lingkungan lanskap harus dipertimbangkan dengan baik sebagai bagian dari desain.
- Polusi minimum dari sumber eksternal, termasuk kebisingan.

Kontrol pribadi terhadap faktor-faktor ini, jika memungkinkan, penting. Kontrol terpusat untuk hal-hal seperti keamanan baik-baik saja, tetapi orang lebih suka memiliki beberapa tingkat kontrol atas lingkungan fisik langsung mereka. Udara, kehangatan atau dingin, cahaya matahari, suara, ruang, dan ergonomi semuanya penting dalam mendesain tempat kerja.

Namun, di tengah musim dingin atau di puncak musim panas, suhu cenderung menjadi masalah yang paling sering dikomentari oleh para pekerja. Namun, agenda keberlanjutan saat ini menempatkan energi sebagai faktor yang sangat penting, dan ini terkait erat dengan suhu tempat kita memelihara gedung. Sebuah survei di Inggris yang dilakukan oleh Office Angels dan Union of Shop, Distributive and Allied Workers (USDAW) menarik kesimpulan berikut:

- Kelelahan akibat panas dimulai pada sekitar 258C.
- 248C adalah suhu udara maksimum yang direkomendasikan oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) untuk kenyamanan pekerja (tetapi perlu dicatat bahwa di Inggris tidak ada undang-undang yang mencakup suhu maksimum yang diizinkan).
- 168C adalah suhu minimum yang direkomendasikan oleh Peraturan Kesehatan, Keselamatan, dan Kesejahteraan Tempat Kerja Inggris 1992 (138C untuk pekerjaan fisik yang berat).
- 78% pekerja mengatakan lingkungan kerja mereka mengurangi kreativitas dan kemampuan mereka untuk menyelesaikan pekerjaan.
- 15% pekerja berdebat tentang seberapa panas atau seberapa dingin suhu yang seharusnya.
- 81% pekerja merasa sulit berkonsentrasi jika suhu kantor lebih tinggi dari biasanya.
- 62% pekerja menyatakan bahwa, ketika mereka terlalu panas, mereka membutuhkan waktu hingga 25% lebih lama dari biasanya untuk menyelesaikan suatu tugas.

Penelitian yang mapan tentang kenyamanan termal adaptif yang dilakukan oleh Nicol et al. (2012) menunjukkan bahwa suhu internal harus dipilih sesuai dengan suhu rata-rata bulanan. Lebih jauh, penelitian oleh Oh (2000) yang membandingkan kondisi di kantor-kantor Malaysia dengan yang ada di Inggris menunjukkan bahwa orang beradaptasi dengan suhu, tetapi tidak dengan kualitas udara. Reaksi penciuman terhadap polutan serupa di seluruh negara.

Perlu diingat bahwa orang dapat meninggal dalam kondisi yang sangat panas maupun sangat dingin. Di daerah lintang utara, perubahan iklim kini telah menimbulkan banyak keluhan terkait suhu di musim panas seperti di musim dingin, dan tren ini kemungkinan akan terus berlanjut seiring meningkatnya suhu musiman akibat pemanasan global. Pakaian penting, dan protokol untuk ini bervariasi di berbagai organisasi, tetapi beberapa pertimbangan perlu diberikan untuk ini, karena musim panas yang jauh lebih panas kini dialami di daerah lintang utara. Seseorang sering kali tidak dapat berbuat banyak tentang laju metabolismenya di tempat kerja.

Untuk udara segar, pilihannya adalah ventilasi alami, ventilasi mekanis, sistem hibrida, atau pendingin udara, tetapi implikasi suhu dari sistem ini perlu dijelaskan kepada klien sehingga mereka memahami dengan jelas berapa hari dalam setahun suhu akan berada di atas suhu yang direkomendasikan. Terkadang klien lupa bahwa pendingin udara hanya efektif di

antara suhu desain tertentu, dan di luar suhu tersebut pendingin udara tidak akan bekerja secara efektif. Tentu saja, pendingin udara memiliki kekurangan, yaitu konsumsi energinya jauh lebih tinggi daripada sistem ventilasi alami, perawatannya jauh lebih mahal, dan ada risiko sindrom penyakit bangunan yang sedikit lebih tinggi.

Kualitas udara dalam ruangan sama pentingnya dengan suhu. Udara segar, seperti air, sangat penting bagi kehidupan. Bahaya dari penyegelan bangunan untuk mengurangi konsumsi energi adalah udara tidak akan mencukupi, jadi penting untuk membangun pasokan udara terkendali seperti ventilasi tetes atau jendela bagus yang dapat dibuka sedikit atau banyak tergantung pada cuaca musiman. Hubungan antara bau dan aroma dengan kinerja kerja kurang dipahami, tetapi Fisk (1999) menyimpulkan bahwa literatur memberikan bukti substansial bahwa beberapa bau dapat memengaruhi beberapa aspek kinerja kognitif.

Esensi aroma telah digunakan dalam sistem pendingin udara di gedung kantor Tokyo milik Kajima Corporation. 'Kesegaran' adalah istilah yang kurang digunakan dalam desain, namun penghuni sering berbicara tentang perlunya lingkungan yang segar. Banyak faktor yang dapat berkontribusi, seperti warna, spasialitas dan, lebih sering, kualitas udara. Kualitas udara adalah kombinasi dari tingkat CO<sub>2</sub>, suhu, kelembapan relatif dan pergerakan udara.

Chrenko (1974) meneliti kesegaran termal menggunakan skala tujuh poin, di mana subjek menilai kesegaran dari 'terlalu pengap' hingga 'terlalu segar', dan menemukan bahwa kesegaran bergantung pada kecepatan udara dan suhu. Clements-Croome (2008) telah mengusulkan hubungan antara kebutuhan udara segar, FA (l/s per orang), dan suhu udara, Ta (8C), untuk rentang kelembapan relatif 40–60% dan kecepatan udara rata-rata 0,2 m/s:  $\ln(FA) = 0,2085Ta - 3,37$ .

Lingkungan yang 'cukup' segar, sebagaimana dinilai oleh sampel 223 pekerja kantor di Inggris, memerlukan laju udara segar 2,2 l/s per orang pada suhu 208C, 6,3 l/s pada suhu 258C, dan 17,9 l/s pada suhu 308C. Lingkungan yang dinilai 'sangat segar' akan membutuhkan jumlah udara segar yang lebih tinggi. Cahaya diulas dalam sebuah laporan oleh Veitch dan Galasiu (2012), yang membahas secara rinci dampaknya terhadap kesehatan. Cahaya memiliki dampak psikologis yang kuat terhadap orang, tetapi juga terkait dengan pemandangan ke luar gedung, warna, dan kelapangan.

Lokasi gedung yang berhubungan dengan alam itu penting. Ulrich (1984) menunjukkan bagaimana pemandangan ke luar jendela rumah sakit ke arah tanaman hijau meningkatkan tingkat pemulihan pasien. Alvarsson dkk. (2010) menunjukkan bahwa suara alam membantu pemulihan stres fisiologis. Tanaman hijau dan air yang tenang atau mengalir menyegarkan tubuh dan jiwa dalam iklim apa pun. Ada bukti yang berkembang tentang dampak lanskap di sekitarnya terhadap gedung yang dapat menghilangkan stress.

Pentingnya area yang tenang untuk lokasi gedung dan dampaknya terhadap kesehatan orang telah dipelajari oleh Shepherd dkk. (2013). Permukaan gedung menentukan batas suara. Bagaimana sebuah gedung berbunyi sama pentingnya dengan bagaimana gedung itu terlihat (Shields, 2003). Bentuk ruang interior dan tekstur permukaan menentukan pola sinar suara di seluruh ruang. Setiap bangunan memiliki karakteristik suaranya sendiri intim atau monumental, mengundang atau menolak, ramah atau bermusuhan.

Sebuah ruang dipahami dan diapresiasi melalui gaungnya dan juga melalui bentuk visualnya, tetapi konsep akustik biasanya tetap menjadi pengalaman latar belakang yang tidak disadari. Libeskind (2002) percaya bahwa bangunan yang baik seperti musik yang membeku; dinding bangunan itu hidup. Dalam kata-katanya: Bangunan menyediakan ruang untuk hidup, tetapi juga merupakan instrumen de facto. Memberikan bentuk pada suara dunia. Musik dan arsitektur tidak hanya terkait dengan metafora, tetapi juga melalui ruang konkret.

Dikatakan bahwa bangunan adalah 'arsitektur ruang', sedangkan musik mewakili 'arsitektur waktu'. Rasa suara dalam bangunan menggabungkan benang-benang gagasan ini. Tanpa manusia dan mesin, bangunan menjadi sunyi. Bangunan dapat menyediakan tempat perlindungan atau kedamaian, dan mengisolasi orang dari dunia yang bising dan bergerak cepat. Laju perubahan yang terus meningkat dapat diperlambat sementara oleh atmosfer yang tercipta dalam sebuah bangunan. Arsitektur membebaskan kita dari belenggu masa kini, dan memungkinkan kita mengalami aliran waktu yang lambat dan menyembuhkan. Sekali lagi, bangunan memberikan kontras antara berlalunya sejarah dan laju kehidupan saat ini.

Bangunan dan sistem perlu dirancang sedemikian rupa sehingga tingkat kebisingan tidak mengganggu aktivitas yang dilakukan di dalam ruangan. Fasad perlu meredam kebisingan luar yang masuk ke dalam gedung. Namun, ruangan bisa jadi terlalu sunyi, jadi orang harus menghubungkan tingkat kebisingan dengan jenis pekerjaan yang dilakukan di dalam gedung. Karena penggunaan ponsel, komputer, dan peralatan elektronik lainnya yang kini ada di mana-mana, polusi elektromagnetik meningkat. Namun, dampaknya terhadap kesehatan masih belum diketahui dengan baik. Komputer dapat menyebabkan ketegangan mata, cedera akibat regangan berulang, postur tubuh yang buruk, dan rasa sakit serta nyeri terkait, jadi pola kerja perlu mencakup 'istirahat' bagi pengguna untuk berjalan, berdiri, dan bergerak.

Meja dan kursi perlu disesuaikan agar sesuai dengan bentuk tubuh individu. Dampak ionisasi terhadap kesehatan manusia selalu diperdebatkan. Nedved (2011) memberikan penjelasan terkini tentang pengetahuan di bidang ini. Kata 'kenyamanan' mungkin terlalu sering digunakan. Kata ini memiliki kualitas yang netral. Cabanac (2006) menulis tentang kesenangan dan kegembiraan serta perannya dalam kehidupan manusia, dan menunjukkan betapa pentingnya hal-hal yang bersifat sementara dalam menyediakan variasi bagi sistem sensorik manusia untuk bereaksi. 'Kesejahteraan' adalah istilah yang lebih komprehensif. Ong (2013) menyajikan serangkaian esai berjudul *Beyond Environmental Comfort*, yang memperluas makna kenyamanan ke arah yang baru.

### **3.3. HAKIKAT PRODUKTIVITAS**

Agar suatu organisasi berhasil dan memenuhi target yang diperlukan, kinerja yang dinyatakan oleh produktivitas karyawannya sangatlah penting. Dalam banyak pekerjaan, orang bekerja erat dengan komputer dalam suatu organisasi yang bertempat di sebuah gedung. Saat ini, teknologi memungkinkan orang untuk bekerja saat mereka bepergian atau di rumah, dan ini dapat meningkatkan produktivitas. Akan tetapi, masih banyak orang yang memiliki tempat kerja tetap yang membatasi volume ruang untuk pekerjaan pribadi tetapi terhubung dengan tempat kerja lain dan ruang sosial dan publik.



Orang-orang akan kurang produktif jika mereka lelah, memiliki kekhawatiran pribadi, atau sedang mengalami stres karena ketidakpuasan terhadap pekerjaan atau organisasi. Lingkungan fisik dapat meningkatkan kinerja seseorang dan membuat orang-orang dalam suasana hati yang lebih baik, sedangkan lingkungan yang tidak memuaskan dapat menghambat hasil kerja. Konsentrasi mental sangat penting untuk kinerja kerja yang baik. Kewaspadaan dan perhatian mutlak sangat penting jika seseorang ingin berkonsentrasi.

Ada beberapa disiplin pribadi yang terlibat dalam mencapai dan mempertahankan konsentrasi, tetapi sekali lagi lingkungan dapat mendukung hal ini dengan memengaruhi suasana hati atau kerangka berpikir seseorang; namun, lingkungan juga dapat mengganggu dan dapat menyebabkan hilangnya konsentrasi. Sejumlah faktor pribadi, yang bergantung pada kesehatan fisik dan mental seseorang, dan sejumlah faktor eksternal, yang bergantung pada lingkungan dan sistem yang terkait dengan pekerjaan, memengaruhi tingkat produktivitas.

Penelitian eksperimental tentang kenyamanan sering kali melihat respons kelompok secara keseluruhan, dan hal ini cenderung menutupi kebutuhan individu akan lingkungan yang simpatik untuk bekerja dan tinggal. Perbedaan individu menunjukkan kepada kita rentang pengalaman sensorik manusia. Kita tahu beberapa orang hipersensitif sementara yang lain relatif tidak sensitif. Kita mungkin perlu berkonsentrasi pada kelompok sensitif untuk memastikan kita memahami pola rangsangan mana yang lebih disukai, karena kemungkinan besar kelompok yang tidak sensitif juga akan menganggap pola ini dapat diterima.

Jika kita merata-ratakan reaksi suatu kelompok, kita kehilangan informasi ini. Dalam praktiknya, orang sering kali meminta tingkat kendali pribadi yang wajar atas berbagai faktor di lingkungan mereka. Mereka bereaksi terhadap lingkungan secara keseluruhan, bukan terhadap bagian-bagian yang terpisah, kecuali jika aspek tertentu membebani sistem sensorik. Bab 4 membahas cara-cara baru desain sensorik lingkungan. Fisk (1999) telah meneliti hubungan antara penularan penyakit menular, penyakit pernapasan, alergi dan asma, gejala sindrom bangunan sakit (SBS), lingkungan termal, pencahayaan dan bau.

Ia menyimpulkan bahwa, di Amerika Serikat, total biaya tahunan infeksi pernapasan adalah sekitar Rp. 700 Triliun dan biaya alergi dan asma adalah Rp. 150 Triliun, dan bahwa pengurangan gejala SBS sebesar 20–50% sesuai dengan peningkatan produktivitas tahunan sebesar Rp. 150–380 Triliun dan, untuk pekerja kantoran, ada potensi kenaikan produktivitas tahunan sebesar Rp. 20–200 Triliun. Penyakit pernapasan menyebabkan hilangnya sekitar 176 juta hari kerja dan setara dengan 121 juta hari aktivitas yang sangat terbatas, di gedung perkantoran, gaji pekerja melebihi biaya energi dan pemeliharaan gedung serta biaya sewa konstruksi tahunan dengan faktor minimal 25.

Ini berarti bahwa peningkatan kecil dalam produktivitas, sebesar 1% atau kurang, sudah cukup untuk membenarkan pengeluaran modal tambahan untuk meningkatkan kualitas layanan gedung. Pada akhirnya, hal ini akan menghasilkan lingkungan kerja yang lebih sehat, serta mengurangi biaya energi dan pemeliharaan. Fisk (1999) berpendapat bahwa kualitas udara yang buruk dapat memengaruhi penularan penyakit menular dan kejadian penyakit pernapasan, alergi, dan asma, dan menyatakan bahwa kualitas udara merupakan masalah



utama dalam mengelola masalah ini, serta dalam pemberantasan bau. Efek langsung dari lingkungan yang berkinerja buruk dapat diringkas sebagai berikut:

- Jam kerja yang hilang karena sakit.
- Ketidakmampuan untuk mencapai potensi operasional yang sebenarnya.
- Pengurangan produk domestik bruto.
- Laba perusahaan berkurang.
- Tenaga kerja yang mengalami demoralisasi.
- Biaya operasional dan pemeliharaan yang meningkat.
- Peningkatan pergantian staf.

Oleh karena itu, masalahnya menjadi risiko kesehatan dan konsekuensi ekonomi. Jika kinerja organisasi merupakan faktor yang terkait dengan individu, maka desain bangunan harus berkonsentrasi pada prinsip desain yang berpusat pada pengguna dan pada kepuasan penghuni di tempat kerja. Fisk menyimpulkan bahwa ada bukti yang relatif kuat bahwa karakteristik bangunan dan lingkungan dalam ruangan secara signifikan memengaruhi terjadinya penyakit pernapasan, gejala alergi dan asma, SBS, dan kinerja pekerja.

Karya selanjutnya memberikan estimasi kuantitatif manfaat dan biaya penyediaan ventilasi udara luar ruangan dalam jumlah berbeda di kantor-kantor AS dan dampaknya terhadap gejala sindrom bangunan sakit (SBS), kinerja kerja, ketidakhadiran jangka pendek, dan konsumsi energi gedung. Beberapa manfaat ekonomi tahunan adalah Rp. 130 Triliun dengan meningkatkan laju ventilasi minimum dari 8 menjadi 10 L/dtk per orang; Rp. 380 Triliun dengan meningkatkan dari 8 menjadi 15 L/dtk per orang.

Manfaat peningkatan laju ventilasi minimum jauh melampaui peningkatan biaya energi karena manfaatnya menghasilkan peningkatan kesehatan dan kinerja, tetapi mengurangi ketidakhadiran. Roelofsen (2001) telah menjelaskan sebuah studi terhadap 61 kantor (7000 responden) di Belanda yang menunjukkan bahwa orang-orang tidak bekerja selama rata-rata 2,5 hari/tahun karena kondisi lingkungan dalam ruangan yang tidak memuaskan. Ini mewakili seperempat dari total ketidakhadiran rata-rata.

### **3.4. PENGUKURAN PRODUKTIVITAS**

Sering dikatakan bahwa produktivitas tidak dapat diukur, tetapi empat pendekatan berikut telah berhasil. Dalam karya mereka tentang pengaruh lingkungan terhadap produktivitas, Clements-Croome dan Li (2000) telah mengusulkan model holistik yang mempertimbangkan dampak suasana sosial, organisasi, kesejahteraan individu dan faktor lingkungan fisik, dan telah menyimpulkan hubungan antara produktivitas dan kepuasan kerja, stres, lingkungan fisik, SBS, dan faktor-faktor lainnya.

Pendekatan multifungsi ini merupakan alat diagnostik yang dapat digunakan dalam situasi kehidupan nyata. Pendekatan praktis lainnya diberikan oleh Wargocki dkk. (2006), yang telah mengusulkan metode untuk mengintegrasikan produktivitas ke dalam analisis biaya siklus hidup layanan bangunan. Rute praktis lain untuk mengevaluasi produktivitas telah menggunakan metodologi simulasi manajemen strategis (SMS) untuk mengukur proses berpikir dan dampak faktor lingkungan terhadap kinerja.

Penulis percaya bahwa produktivitas merupakan fungsi pengambilan keputusan di berbagai tingkatan. Dengan demikian, metodologi yang andal terus berkembang yang akan menghasilkan bukti yang kita butuhkan untuk meyakinkan klien agar berinvestasi pada bangunan yang lebih baik, yang akan membantu meningkatkan kinerja staf dan meningkatkan nilai uang mengingat bahwa sekitar 90% dari biaya menjalankan gedung perkantoran komersial pada umumnya adalah gaji staf.

### **3.5. SINDROM BANGUNAN SAKIT**

Sindrom bangunan sakit (SBS) didefinisikan sebagai 20% penghuni gedung mengeluhkan kondisi medis yang sama, saat berada di gedung tersebut, karena penyebab yang tidak diketahui selama periode minimal 2 minggu. Beberapa penelitian telah mempertanyakan apakah faktor-faktor yang mendasari SBS mungkin bias terhadap mereka yang lebih banyak mengeluh daripada yang lain, atau mereka yang lebih sensitif dan lebih rentan terhadap pengaruh lingkungan.

Namun, seperti yang disarankan di bagian sebelumnya, kelompok terakhir mungkin dapat digunakan sebagai indikator sensitivitas. Banyak survei telah menunjukkan bahwa orang dapat merasa tidak enak badan saat bekerja di gedung tetapi pulih saat meninggalkannya. Gejalanya biasanya berupa pernapasan atau otak (termasuk sakit kepala, kelelahan yang tidak biasa, kelesuan), yang berhubungan dengan mata atau kulit, atau ketidaknyamanan muskuloskeletal. Gejala dapat bermanifestasi sebagai iritasi ringan atau bahkan nyeri.

Kesehatan adalah hasil interaksi kompleks antara sumber daya fisiologis, psikologis, pribadi, dan organisasi yang tersedia bagi individu dan tekanan yang diberikan kepada mereka oleh lingkungan fisik dan sosial serta kehidupan kerja dan rumah. Kekurangan di area mana pun meningkatkan stres dan menurunkan kinerja manusia. Penelitian oleh Weiss (1997) di Universitas Rochester di New York menunjukkan bahwa pikiran dapat memengaruhi sistem kekebalan tubuh. Stres dapat menurunkan pertahanan tubuh dan meningkatkan kemungkinan penyakit, yang mengakibatkan penurunan kesejahteraan.

Stres muncul dari berbagai sumber: organisasi, pekerjaan, orang, dan kondisi lingkungan fisik. Stres dapat memengaruhi pikiran dan tubuh, melemahkan sistem kekebalan tubuh, dan membuat tubuh lebih rentan terhadap kondisi lingkungan. Secara biologis, hipotalamus bereaksi terhadap stres dengan melepaskan hormon adrenokortikotropik (ACTH), yang pada gilirannya meningkatkan jumlah hormon kortisol dalam darah ke tingkat yang dapat merusak dan memengaruhi sel-sel otak yang terlibat dalam memori. Rangkaian kejadian ini mengganggu kinerja manusia, dan akibatnya produktivitas menurun.

Hipotesis yang mendasarinya adalah bahwa SBS disebabkan oleh faktor-faktor yang berhubungan dengan bangunan. Berglund dan Gunnarsson (2000) mempertanyakan postulat ini, dan menanyakan apakah ada hubungan antara kepribadian penghuni dan SBS. Tentu saja beberapa orang lebih banyak mengeluh tentang berbagai masalah daripada yang lain; beberapa orang jauh lebih sensitif dan karenanya jauh lebih rentan terhadap pengaruh lingkungan daripada yang lain. Mereka menyimpulkan bahwa variabel kepribadian dapat menjelaskan sekitar 17% varian SBS. Orang menghabiskan sekitar 90% hidup mereka di dalam

bangunan, sehingga lingkungan internal harus dirancang untuk membatasi kemungkinan penyakit menular, alergi dan asma, dan gejala kesehatan yang berhubungan dengan bangunan, yang disebut sebagai 'gejala SBS'.

Bangunan harus memberikan pengalaman multisensori, dan karenanya apa pun di lingkungan yang menghalangi atau mengganggu sistem sensori dengan cara yang tidak diinginkan akan memengaruhi kesehatan dan kinerja kerja. Dengan demikian, pencahayaan, suara, kualitas udara, dan iklim termal adalah semua kondisi di sekitar kita yang memengaruhi persepsi kita secara keseluruhan terhadap lingkungan. Kualitas udara merupakan masalah utama karena hanya butuh sekitar 4 detik bagi udara untuk dihirup dan efeknya untuk disalurkan ke aliran darah dan selanjutnya ke otak. Udara bersih dan segar sangat penting untuk berpikir jernih, tetapi itu bukan satu-satunya masalah yang perlu dipertimbangkan.

### 3.6. KESEJAHTERAAN

WHO menyatakan: 'Kesehatan adalah keadaan kesejahteraan fisik, mental, dan sosial yang lengkap dan bukan hanya tidak adanya penyakit atau kelemahan'. Istilah 'kesejahteraan' mencerminkan perasaan seseorang tentang dirinya sendiri dalam hubungannya dengan dunia. Ada minat yang semakin meningkat terhadap kesejahteraan, dan di Inggris ada pusat penelitian di Universitas Warwick. Ada juga sejumlah besar penelitian tentang kesejahteraan yang dilakukan di Pusat Penelitian Manajemen Kesehatan di Universitas Michigan. Warr (1998a,b) telah mengusulkan pandangan tentang kesejahteraan yang terdiri dari tiga skala: kesenangan hingga ketidaksenangan, kenyamanan hingga kecemasan, dan antusiasme hingga depresi. Steemers dan Manchanda (2010) telah mengusulkan definisi lain yang mencakup kesehatan, kenyamanan, dan kebahagiaan. Ada atribut pekerjaan dan di luar pekerjaan yang mencirikan keadaan kesejahteraan seseorang pada suatu waktu, dan ini dapat saling tumpang tindih.

Kesejahteraan hanyalah salah satu aspek kesehatan mental; faktor-faktor lain termasuk perasaan pribadi tentang kompetensi, aspirasi, dan tingkat kendali pribadi seseorang. Ini adalah konsep yang jauh lebih komprehensif daripada kata 'kenyamanan' yang terlalu sering digunakan. 'Kesegaran' adalah kata yang jarang digunakan tetapi memiliki nuansa positif dalam hal kualitas udara, warna, suhu, cahaya matahari, dan ruang. Kurangnya produktivitas muncul dalam banyak hal, seperti ketidakhadiran, datang terlambat dan pulang lebih awal, istirahat makan siang yang terlalu lama, kesalahan yang ceroboh, terlalu banyak bekerja, kebosanan, dan frustrasi dengan manajemen dan lingkungan.

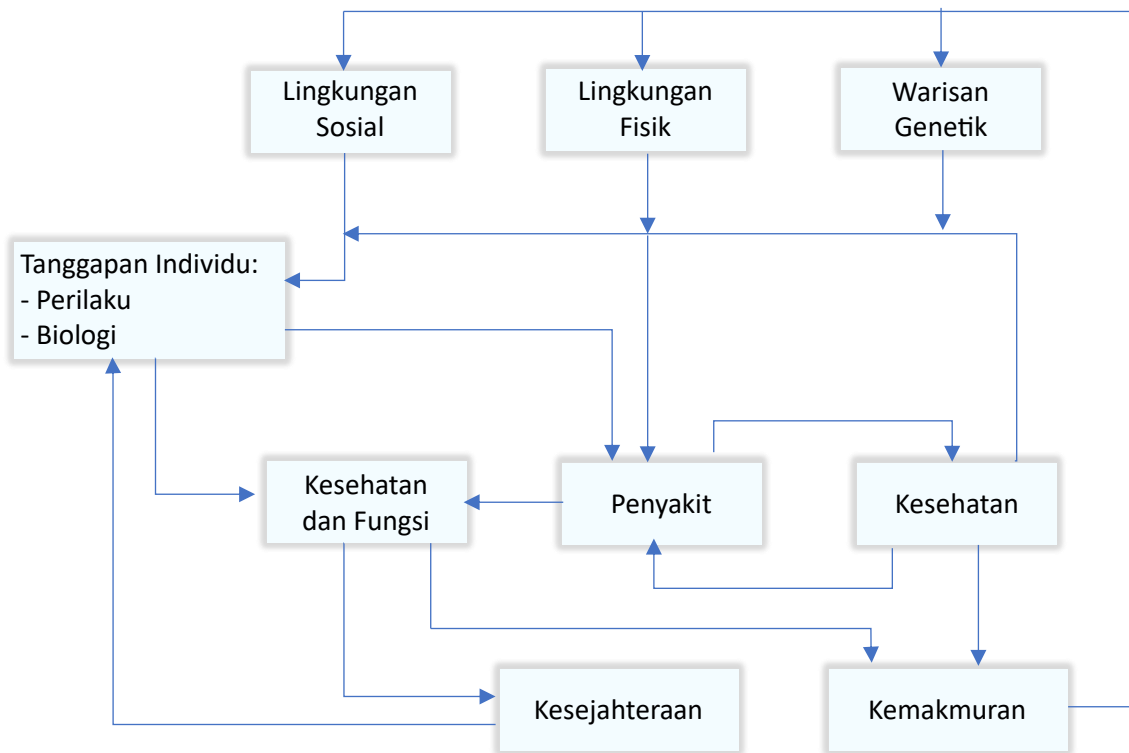
Kita mengalami kehidupan melalui indera kita, dan lingkungan yang kita sediakan bagi orang-orang untuk berinteraksi adalah penting. Sebuah bangunan dan lingkungannya dapat membantu orang menghasilkan pekerjaan yang lebih baik, karena mereka lebih bahagia dan lebih puas ketika pikiran mereka terkonsentrasi pada pekerjaan yang sedang dilakukan; desain bangunan yang baik dapat membantu mencapai hal ini. Pada tingkat gairah atau kewaspadaan yang rendah dan tinggi, kapasitas untuk melakukan pekerjaan rendah; pada tingkat optimal individu dapat berkonsentrasi pada pekerjaan sambil menyadari rangsangan perifer dari lingkungan fisik.

Berbagai jenis pekerjaan memerlukan pengaturan lingkungan yang berbeda untuk mencapai tingkat gairah yang optimal. Penting untuk menilai apakah lingkungan dalam ruangan yang lebih tajam atau lebih ramping diperlukan untuk kesehatan yang baik dan produktivitas yang tinggi bagi penghuninya, dan untuk mendefinisikan ulang kenyamanan dalam hal kesejahteraan. Pekerjaan yang dilaporkan dalam publikasi Inggris Times Higher Education meninjau dampak kesejahteraan pada kinerja staf dan penelitian. Dewan Pendanaan Pendidikan Tinggi untuk Inggris mendorong universitas untuk berinvestasi dalam kesejahteraan, yang dapat mengurangi ketidakhadiran dan pergantian staf. Sebuah laporan yang ditugaskan oleh Health Work Wellbeing Executive, Inggris, menyatakan bahwa untuk setiap Rp. 1.000 yang dibelanjakan, kesejahteraan mendatangkan keuntungan sebesar Rp. 4.170, dan Daly (2010) telah membuat kasus berbasis bukti serupa untuk rumah sakit. Kesejahteraan berhubungan dengan kepuasan, kebahagiaan, dan kualitas hidup secara keseluruhan, dan dengan demikian merupakan kata yang lebih luas daripada 'kenyamanan'.

Kesejahteraan bergantung pada etos manajemen organisasi, suasana sosial, dan faktor pribadi, tetapi lingkungan fisik juga memiliki peran utama. Anderson dan French (2010) telah membahas signifikansi kesejahteraan yang lebih dalam, dan Heschong (1979) telah melaporkan bahwa produktivitas cenderung meningkat ketika penghuni merasa puas dengan lingkungan mereka. Usulan di sini adalah bahwa kesejahteraan tercapai ketika semua faktor dalam piramida kebutuhan Maslow terpenuhi (Tabel 3.1). Dalam teori motivasi-higienisnya, membedakan antara faktor-faktor 'higienis' (misalnya gaji, kondisi kerja, tunjangan sampingan), yang dapat mencegah ketidakpuasan, dan faktor-faktor motivasional (misalnya prestasi, tanggung jawab, pengakuan), yang benar-benar mengarah pada peningkatan upaya dan kinerja. Usulan model kesehatan sosio-ekologis (Gambar 3.1) di mana sumber rangsangan lingkungan dan genetik mengarah pada respons dan perilaku individu yang berasal dari keadaan kesejahteraan kita.

**Tabel 3.1 Hierarki kebutuhan Maslow di tempat kerja**

Kebutuhan	Dicapai melalui
Fisiologis	Kondisi kerja yang baik, gaji yang menarik, perumahan bersubsidi, catering gratis
Keamanan	Perawatan kesehatan swasta, pensiun, kondisi kerja yang aman, keamanan kerja
Penghargaan sosial	Hubungan kelompok, semangat tim, olahraga perusahaan, pesta kantor, kegiatan informal, komunikasi terbuka Umpan balik positif yang teratur, jabatan bergengsi, tulisan di lembar berita perusahaan, promosi dan penghargaan
Aktualisasi diri	Pekerjaan yang menantang, keleluasaan dalam aktivitas kerja, peluang promosi, mendorong kreativitas, otonomi dan tanggung jawab

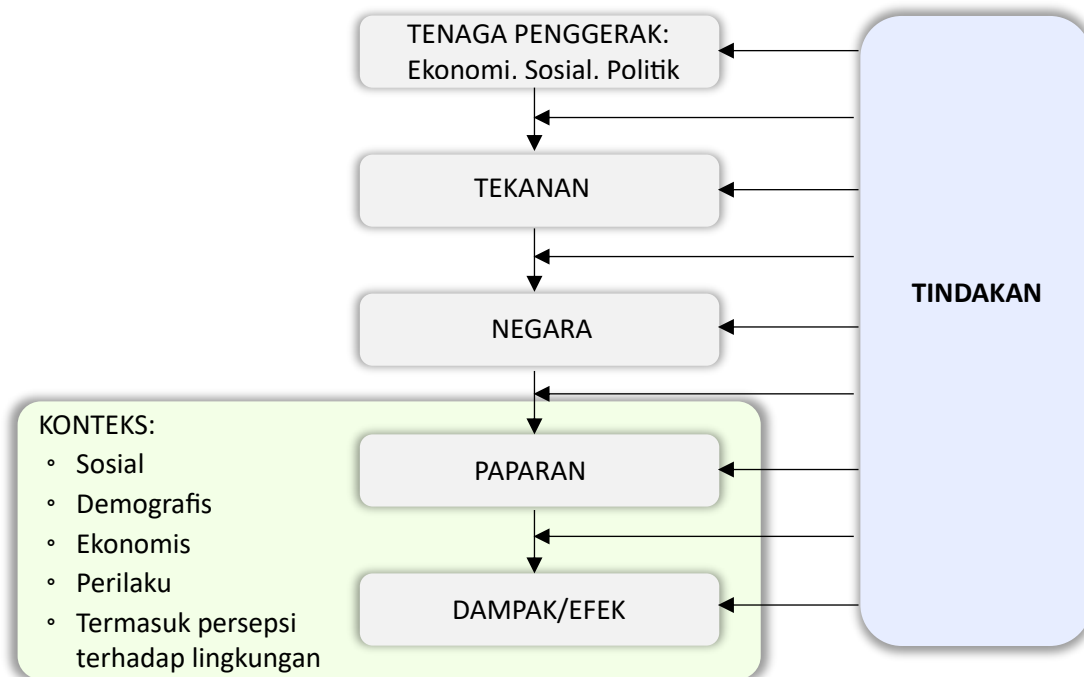


**Gambar 3.1 Model Kesehatan Sosio-Ekologis Evans Dan Stoddart**

Pengembangan model pemicu–tekanan–kondisi–paparan–dampak–tindakan–konteks (DPSEEA) (Tabel 3.2) yang didasarkan pada karya sebelumnya oleh WHO yang menggambarkan bagaimana pemicu sosial, ekonomi, lingkungan, dan politik menyebabkan dampak pada kesehatan dan kesejahteraan, dan memerlukan tindakan untuk memperbaikinya. Gambar 3.2 menunjukkan jalur dari pemicu yang bekerja pada sistem lingkungan dan menghasilkan tingkat atau kondisi kualitas suara, cahaya, panas, dan udara, misalnya, yang dialami manusia. Hal ini berdampak pada sistem fisiologis dan psikologis mereka, dan menyebabkan kondisi kesehatan dan kesejahteraan yang positif atau negatif. Pengukuran dapat dilakukan untuk membantu menentukan tindakan apa yang harus dilaksanakan.

**Tabel 3.2 Elemen model konteks DPSEEA yang dimodifikasi**

Elemen	Keterangan
Pengemudi	Tingkat masyarakat: pengaruh sosial, ekonomi, atau politik terhadap lingkungan
Tekanan	Faktor-faktor yang diakibatkan oleh faktor pendorong yang bertindak untuk mengubah atau memodifikasi kondisi lingkungan
Negara	Lingkungan yang dihasilkan yang telah dimodifikasi karena tekanan
Paparan	Interaksi manusia dengan lingkungan yang dimodifikasi
Dampak	Dampak kesehatan manusia
Tindakan	Kebijakan dan praktik yang dirancang untuk mengatasi faktor-faktor tertentu yang diidentifikasi dalam rantai
Konteks	Tingkat individu: faktor sosial, ekonomi, dan demografi yang memengaruhi paparan seseorang terhadap lingkungan yang dimodifikasi atau yang menyebabkan dampak kesehatan



Gambar 3.2 Model Konteks DPSEEA Yang Dimodifikasi

### 3.7. KESEJAHTERAAN DAN PRODUKTIVITAS

Uraian sepuluh fitur pekerjaan yang ditemukan terkait dengan kesejahteraan. Ia percaya bahwa karakteristik kepribadian yang stabil serta usia dan jenis kelamin juga penting. Penentu lingkungan kesejahteraan dijelaskan sebagai: peluang untuk kontrol pribadi; peluang untuk menggunakan keterampilan seseorang; tujuan yang dihasilkan secara eksternal; variasi; lingkungan; ketersediaan uang; keamanan fisik; supervisi yang mendukung; peluang untuk kontak interpersonal; dan status pekerjaan di masyarakat.

Tinjauan pekerjaan yang menunjukkan bahwa kesejahteraan yang lebih besar secara signifikan terkait dengan kinerja pekerjaan yang lebih baik, tingkat absensi yang lebih rendah, dan kemungkinan yang lebih rendah bagi karyawan untuk meninggalkan organisasi. Baik faktor organisasi maupun pribadi berperan. Heerwagen (1998) menarik perhatian pada pekerjaan dalam psikologi organisasi yang menunjukkan bahwa hubungan antara bangunan dan kinerja pekerja dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Kinerja} = \text{Motivasi} \times \text{Kemampuan} \times \text{Peluang}$$

Seseorang harus ingin melakukan tugas, dan kemudian harus mampu melakukannya; dan, yang terakhir, sumber daya dan fasilitas harus tersedia sehingga tugas tersebut dapat dilakukan. Lingkungan yang dibangun menyediakan suasana fisik dan sosial yang memengaruhi motivasi; penyediaan kendali individu dan lingkungan yang sehat dapat memungkinkan kemampuan untuk berkembang; sistem komunikasi, restoran, dan fasilitas lainnya membantu motivasi dan kemampuan pekerja lebih jauh, dengan menyediakan peluang untuk pelaksanaan tugas.

Penelitian sebelumnya menunjukkan hubungan antara rangsangan visual, sistem visual, komponen kognitif, visual, dan motorik dari kinerja tugas, kepribadian, motivasi, manajemen, dan faktor biaya yang mendasari keluaran. Model ini dapat diulang untuk indera manusia lainnya, dan kemudian ada kompleksitas interaksi yang besar di antara mereka. Sebelumnya telah dicatat usulan pandangan tentang kesejahteraan yang terdiri dari tiga skala: kesenangan hingga ketidaksenangan, kenyamanan hingga kecemasan, dan antusiasme hingga depresi.

Ada atribut kerja dan nonkerja yang mencirikan kondisi kesejahteraan seseorang setiap saat, dan atribut ini dapat saling tumpang tindih. Kesejahteraan hanyalah salah satu aspek kesehatan mental; faktor lainnya mencakup perasaan pribadi tentang kompetensi, aspirasi, dan tingkat kendali pribadi seseorang. Arsitektur yang baik memperluas dan meningkatkan kapasitas manusia. Bangunan menyeimbangkan iklim, yang membantu menjaga tubuh tetap sehat dan meningkatkan kesejahteraan. Beberapa bangunan menuntut lingkungan yang dikontrol ketat, dan berbagai sistem dapat dipasang untuk mencapainya, tetapi banyak bangunan dapat memanfaatkan kemampuan tubuh untuk beradaptasi dan berinteraksi secara kompensatif dengan indera lain.

Semakin banyak jaringan sensor nirkabel akan menghubungkan bangunan secara langsung dengan penghuninya melalui sensor yang tertanam dalam struktur bangunan dan pada pakaian yang dikenakan orang. Kita akan dapat memantau reaksi dan respons pribadi kita terhadap lingkungan. Jika kita ingin memahami bagaimana kita dapat membangun lingkungan yang lebih produktif, kita harus lebih memahami tentang hakikat pekerjaan dan bagaimana sistem manusia menangani pekerjaan. Pekerjaan yang berkualitas, dan karenanya produktif, berarti kita membutuhkan konsentrasi yang baik. Ketika kita akan melakukan tugas tertentu, kita perlu menenangkan diri, mendapatkan suasana hati, dan kemudian berkonsentrasi.

Rentang perhatian kita biasanya berlangsung selama sekitar 90–120 menit dan kemudian kelelahan alami mulai berperan dan konsentrasi kita menurun, tetapi dengan istirahat kreatif kita bangkit lagi, berkonsentrasi untuk jangka waktu yang lain, dan pola itu berulang sepanjang hari. Inilah yang disebut ritme ultradian. Individu membutuhkan waktu sekitar 15 menit untuk meningkatkan tingkat konsentrasi mereka.

Ketika seseorang berada dalam keadaan aliran, dia mungkin terganggu atau mungkin menjadi lelah secara alami, dan prosesnya kemudian berulang dengan sendirinya. Terdapat kehilangan produktivitas yang signifikan akibat gangguan, yang untuk kantor yang dikelola dengan baik telah diidentifikasi oleh Harvard Business Review sebagai sekitar 70 menit hilangnya produktivitas dalam 8 jam kerja sehari. Gangguan ini terutama disebabkan oleh percakapan umum. Sebuah studi penelitian di University of Wisconsin, Madison yang menunjukkan bahwa berpikir positif (suasana hati yang baik, optimisme) dapat meningkatkan kesehatan yang baik karena pertahanan tubuh (sistem kekebalan) lebih kuat.

Hal ini menunjukkan bahwa keseimbangan antara pikiran dan tubuh merupakan hal yang sensitif. Jadi, seberapa relevankah hal ini di tempat kerja? Berbagai pemicu stres dapat muncul dari konflik dalam lingkungan fisik, sosial, dan organisasi. Orang beradaptasi dengan pemicu stres ini dengan berbagai cara, tetapi beberapa akan melemah dan, jika kondisinya



sangat menegangkan, banyak yang akan terpengaruh. Ada bukti substansial, bahwa suasana hati yang positif dikaitkan dengan lingkungan fisik dan kejadian sehari-hari seperti interaksi sosial. Yang lebih penting lagi adalah penelitian yang menunjukkan bahwa suasana hati yang positif membantu strategi kognitif yang kompleks, sedangkan suasana hati yang negatif karena gangguan, ketidaknyamanan, risiko kesehatan atau iritasi yang timbul dari lingkungan fisik atau sosial membatasi perhatian dan karenanya memengaruhi kinerja kerja.

Karena suasana hati yang positif secara langsung memengaruhi proses otak, dapat disimpulkan bahwa banyak aspek desain lingkungan bangunan dapat meningkatkan kinerja tugas. Perbedaan antara efek langsung, seperti kepanasan, kebisingan atau silau, dan efek tidak langsung yang timbul dari suasana hati dan/atau faktor motivasi. Beberapa faktor pemicu suasana hati yang positif telah disebutkan - estetika, kesegaran, cahaya matahari, pemandangan, warna, kontrol pribadi, aspek spasial, dan alam.

Suasana hati, perasaan, dan emosi memengaruhi pengambilan keputusan seseorang. Suasana hati dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan, seperti 'efek Senin' atau kondisi cuaca. Sejumlah literatur psikologi menunjukkan bahwa suhu merupakan salah satu variabel meteorologi penting yang memengaruhi suasana hati seseorang, dan ini pada gilirannya memengaruhi perilaku. Imbal hasil pasar saham dikaitkan dengan variabel yang berhubungan dengan alam seperti jumlah sinar matahari, perubahan waktu musim panas, lamanya malam, dan fase bulan.

Paparan bukti yang menunjukkan bahwa suhu rendah cenderung menyebabkan agresi, dan suhu tinggi cenderung menyebabkan agresi, histeria, dan apatis. Pertanyaannya kemudian adalah 'Apakah variasi suhu menyebabkan investor mengubah perilaku investasi mereka?' Mereka berhipotesis bahwa suhu yang lebih rendah menyebabkan imbal hasil saham yang lebih tinggi karena pengambilan risiko yang agresif oleh investor, dan suhu yang lebih tinggi dapat menyebabkan imbal hasil saham yang lebih tinggi atau lebih rendah karena agresi dan apatis menjadi efek yang saling bersaing pada pengambilan risiko.

Bangunan yang sehat menghasilkan kinerja kerja yang lebih baik, Perkembangan teknologi yang pesat sangat membantu dalam beberapa hal, tetapi juga membawa serta beberapa masalah negatif. Masalah-masalah ini dijelaskan oleh van der Voordt (2003) dan mencakup membiasakan diri dengan teknologi, konsentrasi, masalah TIK, dan hilangnya waktu yang terkait dengan login ke sistem komputer dan mencari informasi. Produktivitas cenderung meningkat ketika penghuni merasa puas dengan kenyamanan lingkungan mereka secara keseluruhan.

### **3.8. KESIMPULAN**

Lingkungan penting dalam semua hal yang telah dijelaskan, dan merupakan bagian intrinsik dari keberadaan kita. Berikut ini beberapa kutipan dari Pidato Tahunan Royal Society Promotion of Health yang disampaikan John Sorrell, yang saat itu menjabat sebagai Ketua Komisi Arsitektur dan Lingkungan Binaan (CABE): Kita tahu bahwa desain yang baik memberikan banyak manfaat. Sekolah yang dirancang dengan baik mendorong anak-anak untuk belajar. Rumah sakit yang dirancang dengan baik membantu pasien memulihkan



kesehatan mereka.

Taman dan pusat kota yang dirancang dengan baik membantu menyatukan masyarakat. Namun, kesenangan sejati tidak hanya terbatas pada masalah keindahan, tetapi juga harus mempertimbangkan bagaimana bangunan tersebut berkontribusi pada pengalaman mereka yang menggunakannya, dan apakah bangunan tersebut juga memberikan kontribusi positif bagi masyarakat tempat bangunan tersebut berada. Desain tempat kerja kita juga dapat berdampak mendasar pada kesehatan kerja. 14 juta hari hilang setiap tahun di Inggris karena ketidakhadiran yang setidaknya 70 persennya terkait dengan masalah Kesehatan. Di sekolah-sekolah kita, ruang kelas dengan cahaya matahari yang baik, ventilasi alami, dan akustik yang baik telah terbukti berdampak signifikan pada prestasi Pendidikan. Namun, ketika pada tahun 2004, CABE meminta masyarakat untuk mengomentari pengalaman mereka di lingkungan rumah sakit, 83 persen komentarnya negatif.

Berikut ini adalah beberapa ungkapan yang digunakan untuk menggambarkan pengalaman tersebut: dingin, menyedihkan, tidak manusiawi, seperti Kafka, kotor, bau, menakutkan, impersonal, membingungkan, membosankan, lusuh, tidak berjendela, suram, terlalu padat, Gormenghast, tidak memiliki kepribadian, membuat stres, tidak menyenangkan, sedikit cahaya atau udara alami, kasar, membingungkan, dirancang untuk membingungkan, tidak ada privasi. Lingkungan memainkan peran penting dalam kehidupan pribadi dan pekerjaan kita. Desain perlu menyadari hal ini dan klien perlu diperlihatkan bahwa desain berkualitas tinggi merupakan investasi yang meningkatkan nilai bisnis.

## **BAB 4**

### **DESAIN SENSORIK LINGKUNGAN**

Desain sensori merupakan titik temu antara apa yang membuat penghuni terlibat dengan lingkungannya dan ini penting karena keterlibatan inilah yang memberikan nilai bagi gaya hidup, kesehatan, budaya, dan bahkan inovasi penghuninya. Namun, yang penting bagi desain sensori adalah pendekatan holistik untuk menyusun bentuk bangunan, di mana berbagai indra menyatu menjadi inti desain dan di mana seseorang mendekati desain fitur arsitektur sebagai sistem multimoda. Bab ini membedah pendekatan desain sensori holistik ini, mengungkap beberapa aspek penting dalam mendesain dengan cara ini, dan menjelaskan pentingnya pendekatan ini bagi desain lingkungan saat ini dan masa depan.

Sama seperti penghuni bangunan merasakan arsitektur, arsitektur juga dapat memahami penghuninya dengan caranya sendiri dan dialog dua arah antara arsitektur dan penghuni ini tidak hanya mengungkap peluang luar biasa bagi para desainer untuk meningkatkan desain secara inovatif, tetapi juga menghadirkan jendela baru yang memungkinkan desain berbicara kepada penghuni melalui teknologi penginderaan yang baru. Dengan memahami bagaimana indra bekerja sama untuk menghasilkan persepsi manusia, para desainer siap mempraktikkan metode desain sensorik holistik – yang dengannya bangunan dapat memberikan nilai lebih bagi penghuninya: secara intelektual, fisiologis, emosional, perilaku, dan bahkan spiritual.

#### **4.1. ARSITEKTUR SEBAGAI PERLUASAN PENGHUNI**

Bangunan hadir untuk memberikan nilai bagi penghuninya, tidak hanya karena manfaat fungsionalnya, tetapi juga karena keindahan estetika yang diberikannya. Seperti yang dibuktikan oleh desain sensorik, ada lebih banyak hubungan antara bangunan dan penghuninya daripada sekadar orang yang melakukan aktivitas sehari-hari mereka di dalam ruang bangunan di sekitarnya karena, sama seperti orang membentuk bangunan mereka, bangunan mereka pada gilirannya membentuk mereka.

Dalam buku *The Eyes of the Skin* karya Juhani Pallasmaa, bangunan digambarkan sebagai lingkungan yang lebih berorientasi pada tindakan yaitu, bangunan berinteraksi dengan cara menghubungkan, menyatukan, atau mengartikulasikan. Dengan demikian, bangunan tidak boleh dibangun hanya untuk berdiri; mereka juga harus dibangun untuk berperilaku. Dengan demikian, hubungan antara bangunan dan penghuninya bersifat simbiosis, lebih merupakan dialog sebab-akibat yang dinamis dan dua arah. Dan akar dari hubungan antara arsitektur dan penghuninya adalah desain sensorik, di mana pengalaman arsitektur bersifat multi-sensorik.

Dan, menurut Pallasmaa, fenomena multi-sensorik inilah yang berkontribusi besar pada setiap pengalaman arsitektur yang secara bermakna menyentuh penghuninya. Desain sensorik tidak hanya mengungkap apa yang membuat sebuah bangunan berharga bagi

penghuninya setelah digunakan, tetapi juga memberikan panduan penting tentang cara memahami dan merancang arsitektur yang benar-benar bermanfaat bagi penghuninya. Selain itu, dengan memahami desain lingkungan melalui lensa sensorik ini, seseorang dapat memperoleh wawasan yang lebih mendalam tentang mengapa fitur dan elemen arsitektur tertentu memiliki pengaruh terhadap penghuninya.

Dengan menelusuri ke belakang, seseorang dapat menyimpulkan bahwa bangunan yang dirancang dengan baik yang memberikan nilai bagi penghuninya akan menyentuh mereka, dan memicu respons dari mereka, pada lima tingkat utama secara fisiologis, intelektual, emosional, perilaku, dan bahkan spiritual. Dengan demikian, penting untuk mempelajari pendekatan desain lingkungan yang berpusat pada penghuni yang berasal dari tingkat-tingkat ini; oleh karena itu, pendekatan desain sensorik.

Inti dari desain sensorik adalah ilmu saraf studi tentang otak manusia dan sistem saraf. Ini penting karena dengan memahami bagaimana sistem sensorik manusia memandang lingkungan, wawasan hebat dapat diperoleh yang memaksimalkan dan memanfaatkan potensi lingkungan. Namun, kunci untuk hal ini, bagi para perancang lingkungan, adalah mewujudkan metode untuk mengambil pendekatan desain sensorik holistik. Yaitu, pendekatan yang melampaui, yang biasa disebut 'bias visual' yang ada saat ini, untuk merancang arsitektur yang menanggapi banyaknya modalitas sensorik yang saling berbicara yang melaluinya manusia merasakan sesuatu.

Mempertimbangkan bagaimana visual menyatu dengan indra pendengaran dalam desain arsitektur adalah langkah maju yang baik; namun, melampaui hal ini, untuk akhirnya mempertimbangkan desain lingkungan melalui lensa indra lain seperti haptik (sentuhan), penciuman (bau), rasa, dan bahkan proprioepsi (indra posisi relatif bagian tubuh yang berdekatan), sangat penting untuk membuat bangunan seefektif mungkin. Faktanya, sistem sensorik manusia berfungsi dengan membuat kesimpulan tentang pola yang dideteksinya dari rangsangan yang masuk.

Rangsangan ini dapat berupa visual, pendengaran, haptik, atau berbagai macam indra yang melaluinya tubuh merasakan sesuatu. Intinya di sini adalah bahwa otak manusia merasakan sesuatu dengan mendeteksi pola yang terdiri dari banyak indra bukan hanya satu indra. Misalnya, untuk merasakan semangkuk sup, seseorang akan merasakan aroma, rasa, tekstur, kelembapan, dan suhunya. Tidak ada 'neuron sup'. Dengan demikian, perancang lingkungan harus mempertimbangkan peluang yang dihadirkan oleh hal ini: untuk menginovasi pengalaman penghuni dengan melampaui sekadar visual.

Saat penghuni gedung mengalami sesuatu, otak mereka terlibat dalam proses pencitraan tempat persepsi, ingatan, dan rencana tercipta. Dan rangsangan lingkungan multisensorial yang memberi masukan pada pencitraan tersebut, sehingga memperkuat hubungan antara gedung dan penghuninya, tempat tindakan dan keterlibatan menghasilkan gedung yang merupakan perpanjangan sejati dari penghuninya. Faktanya, semua gedung memengaruhi penghuninya. Sebagian memberikan nilai, sementara sebagian lainnya mengurangi nilai terutama karena penghuni membentuk 'persepsi' yang dibentuk oleh lingkungan, dan ini menjadi 'pengalaman' saat penghuni terlibat, memfokuskan perhatian,

belajar, dan mengodekan memori baru atau membangun memori lama.

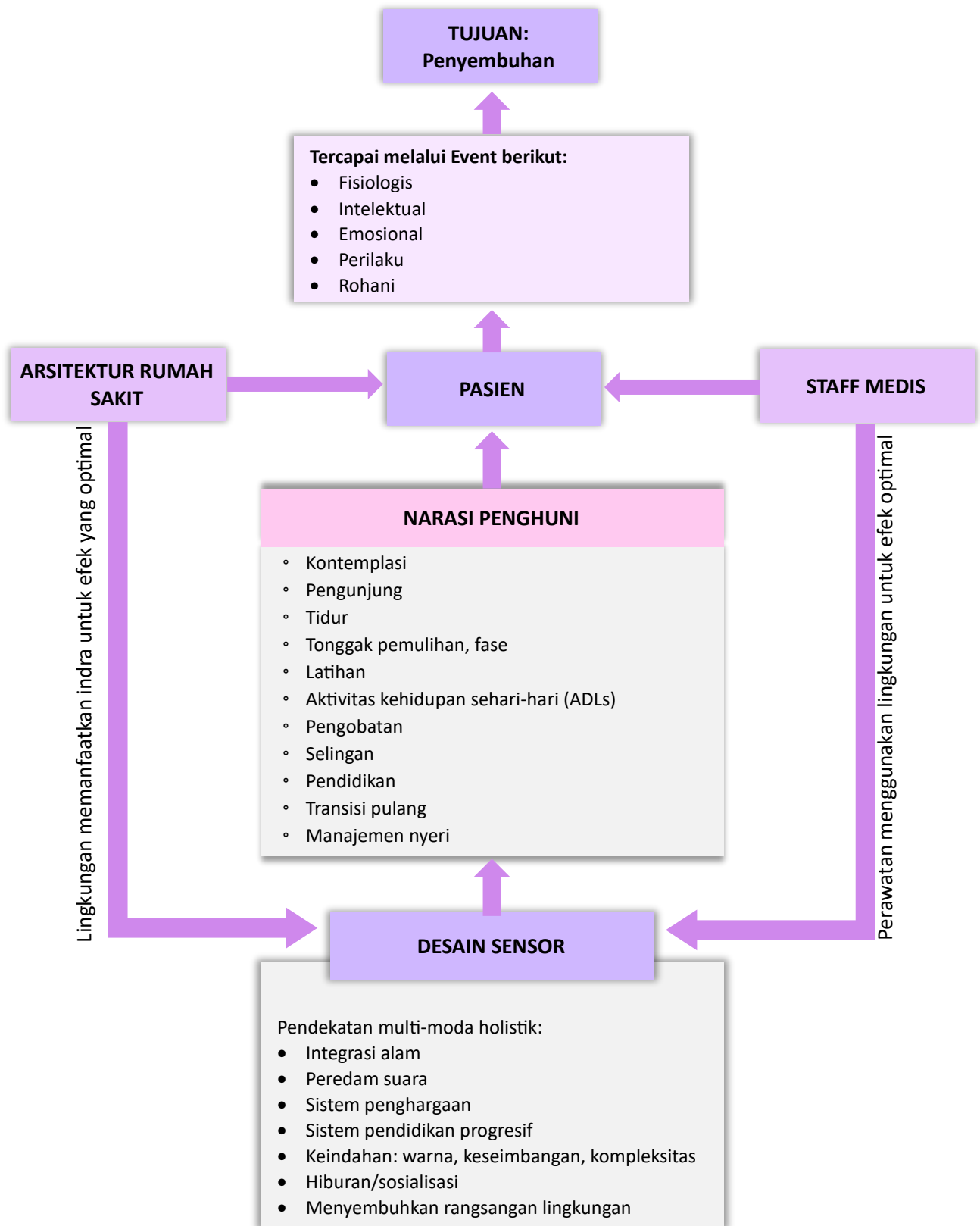
Jadi, meskipun semua bangunan memanfaatkan indera, kuncinya adalah mengetahui cara merancang elemen dan fitur arsitektur untuk memanfaatkan indera tersebut demi efek positif yang optimal. Dasar dari metode desain sensorik adalah pemahaman bahwa persepsi penghuni, untuk sebagian besar indera, bersifat seperti sentuhan, di mana persepsi penghuni terbentuk melalui eksplorasi dari waktu ke waktu, tidak semuanya diserap dalam satu momen cepat. Karena alasan ini, dengan pendekatan desain sensorik holistik, desain lingkungan memiliki kualitas yang lebih tinggi, karena mereka lebih mampu secara proaktif mengambil bagian dalam fungsi yang mereka bina di dalamnya.

'Eksplorasi' yang dijelaskan dalam buku *Action in Perception* menunjukkan bagaimana bangunan adalah tindakan, dan bagaimana tindakan itu memberikan peluang bagi solusi yang inovatif dan bermanfaat. Misalnya, rumah sakit tanpa desain sensorik yang tepat hanya menampung aktivitas penyembuhan di dalam dindingnya. Itu tidak mengambil bagian dalam penyembuhan, dan dapat mengurangi penyembuhan juga. Sebaliknya, rumah sakit yang dirancang dari pendekatan desain sensorik holistik sebenarnya mengambil bagian dalam membantu pasiennya untuk sembuh.

Dan banyak dari ini dapat dicapai dengan perhatian desain khusus pada narasi penghuni (dalam hal ini, pasien) bersama dengan perhatian pada hasil atau tujuan yang diinginkan. Karena rangsangan lingkungan bekerja sama untuk menghasilkan persepsi penghuni, penting untuk dicatat bahwa tidak semua orang memiliki persepsi yang sama. Karakteristik penghuni penting seperti usia, jenis kelamin, gaya belajar, dan kekuatan atau gangguan fisik dan/atau mental. Untuk merancang hal ini, kuncinya adalah memahami populasi penghuni yang akan dilayani oleh suatu bangunan, dan kemudian penting untuk menyelidiki narasi populasi tersebut.

Yaitu, narasi yang menyempurnakan pemahaman tentang apa yang mereka butuhkan, kapan mereka membutuhkannya, dan bagaimana mereka terlibat dengan solusi desain lingkungan yang disajikan kepada mereka, seperti yang diuraikan dalam Gambar 4.1. Untuk melakukan hal ini, isyarat perilaku penghuni sangat membantu, tetapi masih banyak lagi yang dibutuhkan. Misalnya, dalam buku *Emergence*, Johnson (2001) menjelaskan bagaimana tubuh manusia terdiri dari jaringan besar sistem umpan balik yang saling berhubungan di mana sistem ini bekerja sama sebagai sistem homeostatis yang mengatur tubuh sebagai reaksi terhadap perubahan dinamis.

Inilah inti dari pendekatan yang berpusat pada penghuni dalam desain arsitektur, di mana sebuah bangunan berfungsi untuk melibatkan penghuni secara fisiologis, intelektual, emosional, perilaku, dan spiritual semuanya dalam keseimbangan, untuk mempertahankan kondisi keseimbangan dan momen klimaks kapan dan di mana diperlukan, dan disesuaikan dengan karakteristik masing-masing penghuni.



**Gambar 4.1 Merancang Lingkungan Penyembuhan Dengan Desain Sensorik Holistik Yang Menargetkan Narasi Pasien Menuju Tujuan Penyembuhan**

#### 4.2. INTI DARI METODE DESAIN SENSORIK

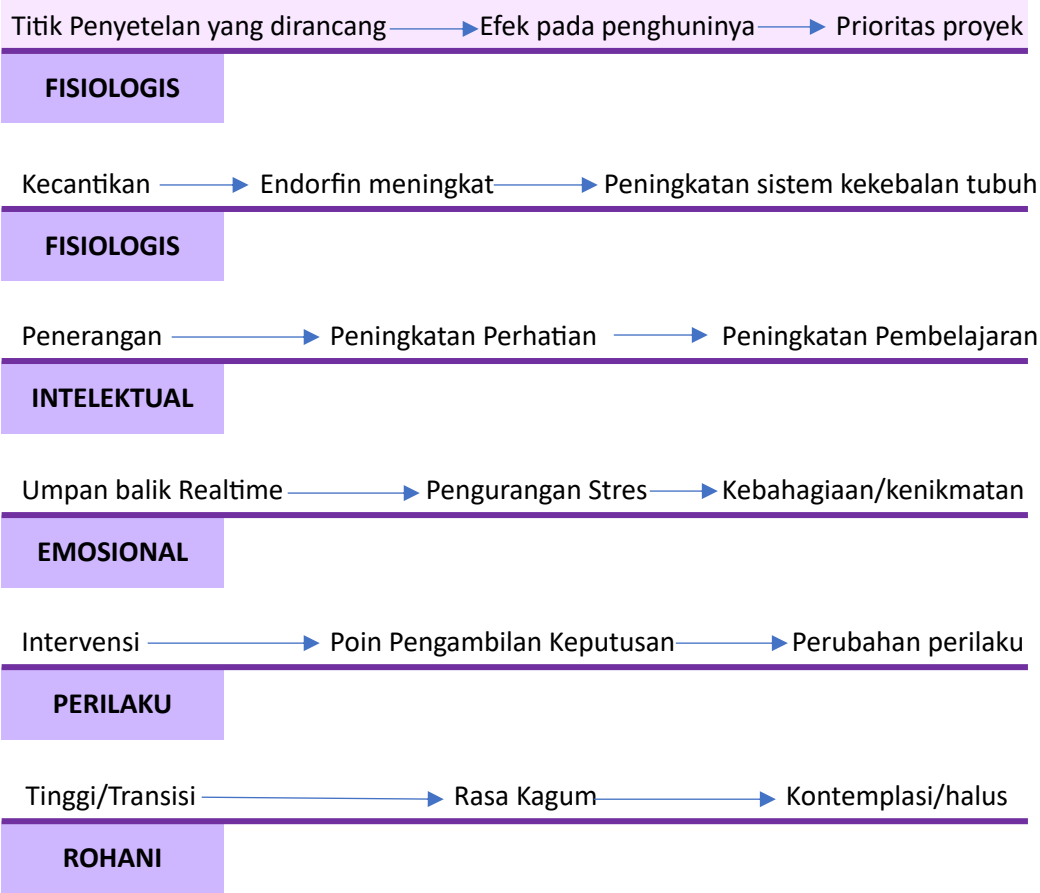
Saat mendesain lingkungan, penting untuk memahami narasi harian penghuni, seperti yang terlihat pada desain ruang pemulihan rumah sakit. Desain ini harus mencerminkan perjalanan pasien menuju pemulihan, dengan mempertimbangkan perubahan dan pertumbuhan kebutuhan mereka seiring waktu. Faktor desain sensorik tidak hanya fokus pada kebutuhan saat ini, tetapi juga pada perkembangan kebutuhan penghuni di masa depan. Untuk merancang narasi penghuni, isyarat dapat diperoleh dari perilaku penghuni atau data dari objek yang mereka gunakan.

Jadi, dalam contoh kamar pasien rumah sakit yang dirancang secara sensorik, berbagai elemen dari dalam ruangan dapat dirancang agar sinkron satu sama lain – misalnya, di mana pencahayaan berkoordinasi dengan tempat tidur pasien dan sudut pandang, di mana pemandangan alam dari jendela berkoordinasi dengan ruang untuk kontemplasi, dan di mana pintu yang dibuka dan ditutup (selama pemeriksaan pasien malam hari oleh staf medis) tidak mengganggu pola tidur pasien. Gagasan utama di sini adalah menggunakan narasi tentang bagaimana desain lingkungan Anda akan memengaruhi penghuni, untuk meningkatkan kualitas gaya hidup mereka, dan untuk membantu mereka mencapai tujuan penyembuhan mereka.

Untuk memberi Anda gambaran yang lebih baik tentang bagaimana narasi penghuni dapat disusun untuk menetapkan prioritas inti di balik desain sensorik yang sukses, Gambar 4.2 menunjukkan langkah-langkah menuju pembuatan, pemosisian, dan pelaksanaan narasi desain sensorik yang sukses. Kunci dari Gambar 4.2 adalah mencari pola dalam narasi penghuni, dan mengatur solusi untuk pola tersebut apakah itu kebutuhan dan keinginan penghuni, atau tujuan lainnya.

Saat melihat Gambar 4.2, Anda juga dapat membayangkan bagaimana fitur arsitektur dapat bersifat multisensorik, dan dengan demikian dapat digunakan untuk memenuhi berbagai kebutuhan penghuni tertentu. Misalnya, dalam buku mereka *Spaces Speak, Are You Listening?*, Blesser dan Salter menggambarkan jendela sebagai 'struktur akustik multisensorik' yang, sementara membiarkan cahaya dan udara masuk, juga secara bersamaan membiarkan kebisingan masuk. Oleh karena itu, penting untuk melihat fitur-fitur di luar fungsi atau efek utama dan tunggal, karena jika tidak, 'efek samping' yang merugikan mungkin diabaikan atau tidak dimanfaatkan.

Sebaliknya, sangat penting untuk melihat elemen arsitektur sebagai pemancar rangsangan yang menargetkan berbagai modalitas yang berdampak positif pada efek yang diinginkan penghuni. Misalnya, pencahayaan yang tepat tidak hanya membantu mahasiswa di ruang kuliah untuk melihat presentasi sambil mencatat, tetapi juga membantu mereka menjaga perhatian lebih terfokus, yang pada gilirannya meningkatkan daya ingat dan pembelajaran. Dengan demikian, elemen lingkungan memiliki konsekuensi yang mendalam, dan sebagian besar disebabkan oleh fakta bahwa elemen-elemen tersebut bersifat multisensori, dan karenanya perlu disinkronkan.



**Gambar 4.2 Memanfaatkan Lima Tingkat Pengalaman Menggunakan Desain Sensorik Holistik Untuk Menargetkan Dan Meningkatkan Prioritas Proyek Bagi Penghuni**

**4.3. HUBUNGAN NON-LINIER ANTARA DESAIN LINGKUNGAN DAN PERSEPSI**

Alasan mengapa desain sensorik berhasil, dari pendekatan desain holistik, adalah karena memungkinkan adanya peluang untuk menyinkronkan rangsangan lingkungan untuk berbagai macam modalitas yang digunakan penghuni untuk merasakan. Hubungan antara rangsangan lingkungan dan hasil efektif bagi penghuni tidak selalu merupakan manfaat linier artinya, satu perubahan yang tampaknya kecil di lingkungan dapat menghasilkan konsekuensi yang signifikan bagi penghuni tertentu.

Misalnya, penelitian sedang dilakukan untuk mengeksplorasi efek keindahan pada fisiologi tubuh manusia. Dalam satu penelitian, ditentukan bahwa ketika menghadirkan 'keindahan' kepada pengamat, endorfin mereka bereaksi positif, dan karena itu, sistem kekebalan tubuh mereka meningkat. Dengan demikian, orang dapat mulai melihat bahwa lingkungan memengaruhi tidak hanya fungsionalitas tingkat permukaan, tetapi juga berbagai lapisan fungsionalitas penghuni, seperti fisiologi, yang pada akhirnya memainkan peran besar dalam menentukan kondisi kesehatan penghuni.

Oleh karena itu, penting untuk memperhitungkan lebih dari sekadar indra visual saat merancang arsitektur karena indra manusia pada dasarnya menyerap lingkungan dari berbagai modalitas, dan ini bersatu untuk menghasilkan pengalaman, kesehatan, produktivitas, kreativitas, dan sebagainya bagi penghuni. Jadi, dalam upaya merancang berbagai pola

kehidupan penghuni, penting untuk 'mengedit' desain sensorik seseorang sehingga rangsangan lingkungan selaras satu sama lain untuk pada akhirnya menargetkan pencapaian tujuan penghuni. Harmonisasi rangsangan lingkungan ini dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai alat desain, mulai dari alat pemodelan media digital, hingga model realitas tertambah atau virtual, dan bahkan hingga pencetakan tiga dimensi model fisik.

Kuncinya adalah menggunakan alat desain yang memungkinkan seseorang untuk melihat melampaui sekadar visual untuk melihat lapisan modalitas sensorik lainnya dan bagaimana mereka berhubungan satu sama lain dalam ruang tertentu menggunakan alat tersebut untuk menyetel rangsangan dengan sebaik-baiknya demi nilai kinerja yang optimal dan hasil positif jangka panjang bagi penghuni. Faktanya, ketika rangsangan lingkungan diselaraskan dengan tepat bagi penghuni, rangsangan tersebut tidak hanya selaras dalam ruang, tetapi juga dalam waktu. Ini berarti bahwa elemen-elemen sensorik yang membentuk suatu ruang harus melibatkan penghuni pada waktu yang tepat dengan demikian, intervensi desain 'tepat waktu'.

Dengan melibatkan penghuni dengan solusi yang dirancang pada saat-saat yang tepat ketika mereka akan membuat perbedaan yang paling positif, terjadi efek berantai, di mana aspek-aspek seperti pengambilan keputusan penghuni, motivasi, dan bahkan kreativitas ditingkatkan. Misalnya, salah satu cara untuk mengakses data dan menyuntikkan solusi desain lingkungan bagi penghuni yang melibatkan mereka pada waktu yang tepat, adalah dengan memanfaatkan serangkaian teknologi komputasi yang semakin meluas di lingkungan, serta dalam banyak objek di dalamnya.

Dengan demikian, diprediksi bahwa komputer akan terintegrasi ke dalam hampir semua skala lingkungan dan objek. Dengan jaringan informasi real-time yang dikumpulkan oleh komputer tersebut, perancang lingkungan berada pada posisi utama untuk memahami narasi real-time penghuni dengan lebih baik, menemukan 'kantong' yang tepat untuk menyuntikkan intervensi sensorik yang bermanfaat, dan bahkan mengumpulkan data umpan balik untuk membantu mendidik penghuni lebih lanjut atau menyempurnakan solusi desain. Dengan demikian, penting untuk menggunakan desain sensorik guna menemukan pola dalam cara penghuni memandang ruang, serta menemukan pola dalam cara fitur spasial memanfaatkan hasil tertentu bagi penghuni tertentu.

Sering kali, apa yang tampak di permukaan sebagai lingkungan, situasi, atau narasi yang kacau akan mengungkapkan pola yang dapat digunakan dalam desain untuk mengisolasi momen tepat waktu ketika intervensi arsitektur akan memberikan manfaat paling besar. Dalam momen atau 'kantong' tersebut, mungkin ideal untuk merancang pilihan sensorik bagi penghuni, atau mungkin lebih baik mengarahkan mereka ke solusi terbaik yang memungkinkan untuk situasi mereka. Selain itu, sistem penghargaan dapat digunakan dalam proyek desain sensorik lingkungan untuk memperkuat respons, perilaku, dan/atau hasil tertentu dari penghuni.

Sistem semacam itu dapat mencakup aspek-aspek seperti sistem umpan balik yang membantu penghuni meningkatkan kinerja mereka dan melacak kemajuan mereka, sementara sistem lain dapat bekerja lebih halus untuk menciptakan kondisi lingkungan yang



tepat untuk membantu penghuni merasa lebih baik, berkinerja lebih baik, berkomunikasi lebih baik, dan sebagainya. Dalam hal ini, lingkungan yang dirancang sensorik dapat berkisar dari ruang yang dirancang dengan elemen sensorik statis, hingga elemen interaktif yang melibatkan penghuni pada waktu yang tepat kapan dan bagaimana mereka paling membutuhkannya.

Lebih jauh lagi, lingkungan yang dirancang sensorik dapat memanfaatkan polanya untuk penggunaan yang lebih adaptif, di mana lingkungan itu sendiri berubah secara real time untuk memenuhi kebutuhan penghuninya saat ini. Pada dasarnya, desain sensorik dapat diintegrasikan secara holistik ke dalam suatu lingkungan untuk membantu berbagai dimensi yang membentuk gaya hidup penghuni. Bila dirancang dengan benar, penghuninya akan menuai manfaat saat mereka tinggal di dalam, dan terlibat dengan, lingkungan yang secara proaktif membantu meningkatkan kehidupan mereka di mana pada akhirnya lingkungan tersebut dapat meningkatkan sistemnya sendiri secara langsung, mendefinisikan ulang narasi penghuninya yang terus berubah.

Lingkungan tersebut akan meningkatkan dirinya sendiri untuk memenuhi kebutuhan penghuninya di masa kini dan di masa depan. Kuncinya adalah memperkuat cara elemen sensorik dari berbagai modalitas bekerja sama untuk menghasilkan ruang arsitektur yang 'menggerakkan' penghuninya menjadi lebih baik.

#### **4.4. MEMPERKUAT HUBUNGAN MODALITAS SENSORIK DALAM DESAIN ARSITEKTUR**

Untuk merancang lingkungan yang dirancang secara holistik dan sensorik, penting untuk memahami seluk-beluk bagaimana rangsangan lingkungan memengaruhi sistem sensorik manusia secara lebih rinci. Ini berarti bahwa seseorang tidak boleh berhenti memahami persepsi arsitektur hanya pada bagaimana cahaya memengaruhi mata manusia, tetapi sebaliknya seseorang juga harus memahami bagaimana cahaya, tekstur, berat, dan suara bersama-sama memengaruhi persepsi penghuni. Lagi pula, dengan hanya mengubah salah satu sifat rangsangan lingkungan yang terakhir, menjadi mungkin untuk sepenuhnya mengubah cara ruang dipersepsikan oleh penghuni.

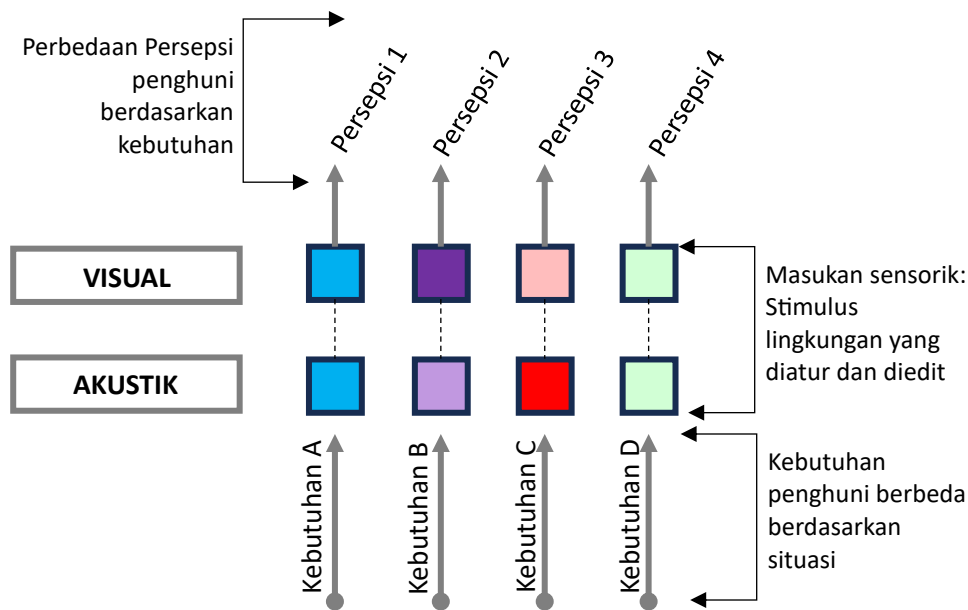
Demikian pula, berbagai indra juga dapat saling berhubungan, di mana getaran sentuhan dan frekuensi pendengaran, misalnya, dapat memengaruhi persepsi yang lain di mana suara dapat memengaruhi persepsi sentuhan. Dengan demikian, harmonisasi dalam arsitektur memiliki makna baru, karena elemen dan fitur harus bersatu tidak hanya untuk keseimbangan visual, tetapi juga untuk mencapai jenis sinergi desain di mana hubungan timbal balik antara berbagai rangsangan lingkungan bekerja sama untuk mencapai hasil yang diinginkan di mana harmonisasi desain menjadi paling efektif karena berasal dari metode desain sensorik holistik.

Misalnya, ketika rangsangan lingkungan saling berinteraksi di antara indra, asosiasi ditemukan lebih umum, di mana warna, misalnya, dapat memicu dan memengaruhi persepsi indra lain seperti persepsi penciuman, sentuhan, atau pendengaran. Dengan demikian, desain lingkungan multisensori dapat menjadi sangat rumit karena semua rangsangan harus berkoordinasi satu sama lain. Namun, penghuni hanya menyadari rangsangan tertentu yang mereka rasakan sebagai hasil dari kebutuhan situasional mereka sendiri. Seperti yang dapat

dilihat pada Gambar 4.3, persepsi yang berbeda dapat terjadi hanya dengan mengubah satu modalitas sensorik dari satu set pada satu waktu, atau dengan mengubah kebutuhan penghuni tertentu selama situasi tertentu.

Bagi perancang lingkungan, penting untuk dicatat bahwa, ketika perbedaan persepsi tersebut terjadi, penyesuaian lingkungan menjadi penting. Faktanya, ketika merancang lingkungan, muncul kemampuan tertentu untuk 'menyesuaikan' bangunan agar sesuai dengan tujuan penggunaan dan manfaat penghuni. Dengan demikian, penyempurnaan rangsangan lingkungan bagi penghuni kemungkinan akan meningkatkan dan mengoptimalkan jumlah nilai yang dapat diberikan oleh arsitektur.

Desain lingkungan dapat memengaruhi penghuninya dengan cara yang berbeda, seperti bagaimana suara keras bisa mempengaruhi persepsi warna. Dengan memahami hubungan antara indra dan rangsangan, perancang dapat menciptakan lingkungan yang optimal bagi penghuni secara neurologis. Desain sensorik holistik memastikan bahwa bangunan, penghuni, dan komunikasi antara keduanya bekerja bersama, menciptakan lingkungan yang mendukung kesehatan, kreativitas, dan efektivitas penghuni. Bangunan dan penghuni saling memengaruhi, dan desain yang baik akan meningkatkan pengalaman keduanya.



**Gambar 4.3 Perbedaan Dalam Hubungan Antar Modalitas Sensorik Dapat Mengubah Persepsi Penghuni, Terutama Ketika Kebutuhan Penghuni Juga Berubah.**

#### 4.5. MENGGABUNGKAN DESAIN SENSORIK KE DALAM PROSES PERANCANG

Seperti yang disebutkan sebelumnya dalam bab ini, penggunaan narasi sangat penting dalam upaya perancang untuk menghubungkan penghuni dengan bangunan mereka dengan sebaik-baiknya. Saat perancang berupaya untuk 'menyesuaikan' lingkungan dengan kebutuhan penghuni, narasilah yang akan memberikan dampak paling besar dengan meningkatkan tahap desain, dimulai sejak tahap desain terprogram. Namun, untuk membantu menentukan narasi terbaik, penting bagi perancang untuk terlibat dalam berbagai metode penggalan data

penghuni: misalnya, dengan mensurvei penghuni bangunan di masa mendatang, atau dengan melakukan kunjungan lokasi untuk mengamati penghuni di bangunan yang dirancang sebelumnya.

Kuncinya adalah memahami bagaimana penghuni memandang dan berinteraksi dengan arsitektur. Sejalan dengan hal ini, perancang lingkungan harus berlatih melihat lebih dari sekadar visual dalam proyek bangunan mereka. Dengan menggunakan alat desain yang memungkinkan hal ini, integrasi yang lebih baik dapat dilakukan antara apa yang dapat dilihat di dalam bangunan dan apa yang dapat didengar, disentuh, dicium, atau dirasakan secara emosional, misalnya. Untuk tujuan ini, beberapa arsitek sudah menggunakan alat yang menyediakan teknik simulasi imersif, di mana seseorang dapat berjalan secara virtual melalui ruang bangunan masa depan sementara data diekstrapolasi dari sinyal elektroensefalograf (EEG) otak yang menunjukkan bagaimana seseorang dapat merespons secara fisiologis dan kognitif terhadap ruang tersebut secara real time.

Bahkan, desainer tersebut mengikutsertakan klien mereka dalam walk-through virtual tersebut, di mana bersama-sama mereka membuat keputusan desain dengan cepat sambil secara bersamaan mengetahui konsekuensi yang berpusat pada penghuni. Ide lain untuk pendekatan serupa guna memahami efek yang kurang nyata dari desain tertentu adalah penggunaan neuro-headset, yang dapat merekam informasi tentang bagaimana suatu ruang memicu reaksi emosional dari pemakainya. Dengan demikian, calon penghuni gedung dapat mengenakan headset ini saat berjalan melalui gedung (virtual atau nyata), dan sinyal akan menunjukkan elemen dan konfigurasi bangunan apa yang memicu emosi dalam diri mereka emosi seperti kebahagiaan, kesedihan, ketakutan, kegembiraan, dan sebagainya.

Dengan demikian, informasi yang diekstrapolasi dapat digunakan untuk lebih meningkatkan desain. Sekali lagi, kuncinya adalah melihat melampaui visual selama proses desain dengan menemukan cara untuk memanfaatkan kelima tingkat pengalaman tersebut: intelektual, fisiologis, emosional, perilaku, dan spiritual. Sementara yang terakhir menjelaskan metode tertentu yang dapat digunakan untuk memanfaatkan apa yang mungkin dirasakan dan dipikirkan penghuni tentang desain secara langsung, akan bermanfaat juga ketika seorang desainer belajar melihat elemen arsitektur sebagai multimoda saat mereka menjalankan pemikiran desain mereka.

Dengan kata lain, ini adalah saat seorang arsitek melihat bahan dan elemen yang mereka tentukan memiliki dampak di luar visual. Untuk melakukan ini, perlu untuk mencari apa yang dapat disumbangkan oleh elemen tersebut, serta dari apa yang mereka kurangi. Cara berpikir ini akan mengarah pada pemahaman yang lebih baik tentang efek samping sensoriknya di mana, misalnya, sistem HVAC (pemanas, ventilasi, dan pendingin udara) menyediakan kontrol iklim tetapi juga dapat menimbulkan kebisingan yang mengganggu. Dengan selalu mencari efek samping sensorik tersebut, desain tertentu akan jauh lebih nyaman 'disesuaikan', terutama saat berbagai elemen arsitektur bersatu.

Selain itu, penting bagi desainer lingkungan untuk menggunakan desain sensorik untuk menyajikan ide-ide mereka. Dengan menyampaikan apa yang membuat suatu ruang berfungsi secara perseptual, dalam semua dimensi yang menyertainya, klien dan dewan peninjau akan

lebih cenderung memahami mengapa keputusan desain tertentu dibuat, dan akan lebih cenderung melestarikannya sehingga keputusan tersebut tidak diabaikan saat berbagai tahap proyek berlangsung. Lebih khusus lagi, hubungan arsitek-klien merupakan faktor penting untuk dipertimbangkan, karena dengan klienlah keputusan desain yang penting dibuat (terutama selama tahap awal proyek), dan dengan klienlah pemahaman harus dicapai mengenai kebutuhan dan karakteristik penghuni, yang keduanya merupakan faktor penting dalam desain sensorik.

Terakhir, sebagai sarana untuk meningkatkan pemahaman desain sensorik dalam disiplin desain lingkungan, desainer harus terus berupaya menciptakan ruang yang secara sengaja kaya akan fitur multi-moda. Dengan demikian, desain sensorik menjadi poros yang mendorong desainer yang lebih baik, lingkungan yang lebih baik, dan interkoneksi penghuni yang lebih baik, yang ketiganya berasal karena desain sensorik menargetkan pola bagaimana lingkungan dipersepsikan dan dialami. Seiring dengan peningkatan desain, pemahaman tentang desain sensorik pun akan meningkat di mana bangunan dan penghuninya memiliki hubungan yang sinergis, yang disesuaikan untuk mengoptimalkan kehidupan penghuninya yang lebih bahagia, lebih sehat, dan lebih bermakna.

## **BAB 5**

### **LINGKUNGAN CERDAS**

Meskipun arsitektur fisik tidak diragukan lagi merupakan aspek yang paling mencolok dari sebuah bangunan, dari perspektif yang lebih teknis, arsitektur fisik hanyalah satu dari sekian banyak arsitektur bangunan, yang beberapa di antaranya tersembunyi dari pandangan mata manusia. Salah satu arsitektur tak kasat mata tersebut adalah teknologi informasi (TI) yang terintegrasi ke dalam bangunan untuk mendukung aktivitas berbasis pengetahuan dan mengotomatiskan layanan bangunan. Selama setengah abad terakhir, telah terjadi kemajuan besar dalam penggunaan TI untuk mengelola dan mengendalikan layanan bangunan, beralih dari otomatisasi layanan sederhana hingga apa yang disebut lingkungan 'cerdas' saat ini.

Dalam bab ini, saya mengeksplorasi sifat lingkungan cerdas, menjelaskan apa itu dan bagaimana cara kerjanya. Secara khusus, bab ini mengkaji kontinum otonomi, dan menyajikan arsitektur yang memungkinkan penghuni bangunan untuk memvariasikan tingkat kecerdasan suatu bangunan. Akhirnya, saya melaporkan studi yang dilakukan di Essex iSpace yang telah mengeksplorasi sikap penghuni gedung terhadap teknologi cerdas, dan menggunakannya untuk membahas beberapa konsekuensi bagi perancang lingkungan cerdas.

#### **5.1. DEFINISI LINGKUNGAN CERDAS**

Lingkungan cerdas adalah lingkungan sehari-hari (misalnya gedung, kendaraan, pakaian, dll.) yang dilengkapi dengan sistem berbasis komputer jaringan canggih, yang dengannya aktivitas terkoordinasinya diatur oleh apa yang disebut 'agen cerdas' dengan tujuan memungkinkan gaya hidup yang lebih baik atau baru bagi manusia. Misalnya, teknologi tersebut dapat mengarah pada desain lingkungan hidup yang lebih nyaman, dapat digunakan, produktif, aman, peduli, sosial, menghibur, atau hemat energi. Salah satu contoh lingkungan cerdas tersebut adalah gedung cerdas.

#### **5.2. ASPEK KECERDASAN**

Karena bab ini membahas lingkungan cerdas, penting untuk memahami terlebih dahulu apa yang dimaksud dengan istilah 'cerdas'. Kecerdasan tampaknya merupakan sifat intrinsik dari sebagian besar bentuk kehidupan dan, dengan demikian, tampaknya merupakan istilah yang dapat dipahami dan didefinisikan oleh sebagian besar orang. Namun, ternyata kecerdasan dapat memiliki arti yang berbeda bagi orang yang berbeda, bervariasi antara konteks dan aplikasi yang berbeda.

Misalnya, dalam industri bangunan, istilah ini umumnya digunakan secara holistik yang berupaya untuk menangkap semua fase umur bangunan, dari desain, melalui konstruksi hingga manajemen, dengan menggunakan metode yang memastikan bahwa bangunan tersebut fleksibel dan dapat beradaptasi, dan karenanya sesuai dengan tujuannya dan menguntungkan, selama masa pakainya. Seperti yang dinyatakan: Umur bangunan terdiri dari

serangkaian proses yang saling terkait mulai dari desain arsitektur dan struktural awal hingga konstruksi aktual, lalu ke pemeliharaan dan pengendalian serta pembongkaran atau renovasi bangunan pada akhirnya.

Seolah-olah untuk menekankan aspek kecerdasan, ada berbagai metrik yang dikembangkan untuk mengukur 'kecerdasan' sebuah bangunan dalam berbagai fase kehidupannya, seperti BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency), BIQ (Building Intelligence Quotient) dan IBI (Intelligent Building Index). Sebagian besar metrik ini mengukur kinerja, yang mencakup aspek-aspek seperti kesehatan, keselamatan, produktivitas, efisiensi energi, dampak lingkungan, biaya siklus hidup, dan daya jual.

Manfaat kinerja umumnya terletak pada ekonomi dan fleksibilitas untuk memenuhi kebutuhan kerja dan keberlanjutan. Dalam hal ini, bangunan cerdas mencapai dan mempertahankan kinerja optimal dengan secara otomatis merespons dan beradaptasi dengan lingkungan operasional (iklim, hunian, jenis penggunaan, layanan) dan persyaratan pengguna (penghuni, pemilik, pengembang, agen), memfasilitasi adaptasi yang cepat dan hemat biaya terhadap perubahan persyaratan pengguna (misalnya, konfigurasi ulang ruang), dan penggunaan material, konsep, dan sistem terbaik untuk memenuhi kebutuhan pemilik, penghuni, dan masyarakat.

Berbeda sekali dengan industri bangunan, ilmuwan komputer memiliki pemahaman yang sama sekali berbeda tentang apa itu kecerdasan, menganggapnya terkait dengan proses berpikir manusia. Pandangan ini berasal dari para pendiri ilmu komputer (misalnya von Neumann), yang menciptakan komputer sebagian besar sebagai sarana untuk mengeksplorasi kecerdasan manusia, yang kemudian melahirkan disiplin ilmu seperti kecerdasan buatan dan kecerdasan komputasional. Jadi, dalam pandangan ini, bangunan cerdas dipandang sebagai bangunan yang berisi jenis proses tata kelola yang umumnya dikaitkan dengan kebutuhan pemikiran manusia, terutama penalaran, perencanaan, dan pembelajaran.

Dalam definisi ini, rujukan pada 'pemikiran manusia' sangat penting dan dapat dilihat sebagai penciptaan proses komputasional yang mirip dengan satu orang yang bertindak atas nama orang lain (yaitu agen) untuk memantau, menganalisis, merencanakan, dan mempelajari cara mengendalikan sebuah bangunan. Dengan cara ini (dengan asumsi orang tersebut cerdas!), proses yang meniru seseorang dianggap sebagai 'agen cerdas'. Jadi, dari perspektif ilmu komputer, agen cerdas adalah blok penyusun dasar lingkungan cerdas. Sebagian besar agen tertanam dalam pengontrol atau peralatan lain dan karenanya lebih sering disebut sebagai 'agen tertanam'.

Definisi yang agak lebih formal dari lingkungan cerdas adalah di mana fungsionalitas lingkungan berasal dari jaringan artefak berbasis komputer yang merasakan perilaku pengguna dan 'sengaja' mengoordinasikan tindakan mereka untuk memengaruhi fungsionalitas meta tingkat tinggi yang dibutuhkan oleh pengguna. Sebelum meninggalkan topik ini, mungkin ada baiknya menyoroti perbedaan antara 'otomatisasi' dan 'kecerdasan'. Secara sederhana, otomatisasi dapat dianggap sebagai pengontrol yang menjalankan aturan yang telah

diprogram sebelumnya secara terus-menerus, sedangkan sistem cerdas adalah sistem yang mengatur dirinya sendiri.

Yang saya maksud dengan 'mengatur dirinya sendiri' adalah sistem yang mampu menghasilkan aturan (atau hukum) sendiri, dengan cara yang sama seperti yang dilakukan oleh pemerintah suatu negara. Hukum (atau aturan) umumnya ditetapkan melalui penalaran dan pembelajaran, yang memiliki kesamaan langsung dengan agen tertanam. Nanti dalam bab ini, beberapa isu ini akan ditinjau kembali dan bagaimana agen tertanam yang sederhana dirancang akan dieksplorasi.

### **5.3. PERUBAHAN SIFAT PERALATAN BANGUNAN**

Ketika mempertimbangkan peran kecerdasan dalam bangunan dan lingkungan lain, penting untuk memahami bagaimana peralatan bangunan dapat berkembang di masa depan. Misalnya, ada aliran penelitian yang kredibel yang berpendapat bahwa peralatan masa depan tidak akan lagi bersifat monolitik (misalnya HVAC, TV) tetapi akan mengambil bentuk yang lebih terdistribusi atau terurai.

Misalnya, perusahaan seperti British Telecom telah menjajaki skenario di mana bangunan dilengkapi dengan seperangkat layanan TI dasar, seperti tampilan video, transduser audio, media streamer, prosesor digital, sensor mentah, efektor, dan perangkat interaksi, yang dapat saling terhubung secara dinamis untuk membuat peralatan bangunan biasa seperti televisi, sistem keamanan, dll. Pendekatan ini dikenal dengan berbagai nama seperti 'peralatan virtual' atau 'peralatan lunak', dan dianggap sebagai teknologi yang sangat mengganggu.

Jadi, untuk pendekatan ini, bangunan dapat diberikan seperangkat layanan TI dasar dan proses komisioning akan melibatkan menghubungkan semuanya bersama-sama untuk membentuk peralatan virtual yang mencerminkan peralatan saat ini seperti HVAC, akses bangunan, keamanan atau telepon, dll. Selain itu, karena perangkat virtual ini dibuat hanya dengan menghubungkan layanan jaringan, maka ada kemungkinan fungsi tertentu (atau perangkat virtual) dibuat oleh penghuni gedung. Jadi, jika pendekatan ini berhasil, pendekatan ini menjanjikan perubahan radikal dan mengubah praktik saat ini serta memperluas peran kecerdasan gedung, seperti yang akan terlihat di bagian berikut.

### **5.4. KONTINUM KECERDASAN**

Dalam ilmu komputer, sifat dan tingkat kecerdasan umumnya ditetapkan pada saat perancangan. Selama masa pakai agen, kinerjanya dapat meningkat karena mempelajari cara memodelkan tugas dengan lebih baik (yaitu saat memperoleh lebih banyak data tentang tugas), tetapi kuota kecerdasan agen dan, yang lebih penting, otonomi yang dinikmatinya, tetap tetap. Pertanyaan wajar yang perlu diajukan adalah 'Mengapa otonomi agen tetap?' Dilihat dari sudut pandang lain, orang dapat bertanya, 'Mengapa penghuni gedung tidak dapat mengubah jumlah dan jenis bantuan yang diterima dari teknologi cerdas?'

Ada berbagai alasan mengapa penghuni gedung mungkin ingin mengubah kecerdasan atau jumlah otonomi sistem kontrol gedung mereka. Misalnya, tergantung pada kondisi mental

atau fisik seseorang (yang dapat bervariasi menurut suasana hati, usia, kesehatan, kemampuan, dll.), ia mungkin lebih suka lebih banyak atau lebih sedikit bantuan dari teknologi. Argumen lain bagi orang yang ingin mampu mengelola tingkat bantuan dari teknologi adalah bahwa manusia pada hakikatnya adalah makhluk yang kreatif, dan terlalu banyak otomatisasi dapat merusak aspek kehidupan yang menyenangkan ini.

Misalnya, sebagian orang senang mendesain interior dan perabotan rumah mereka dan, meskipun ini dapat diotomatisasi, lebih suka mengerjakan desainnya sendiri. Mengonfigurasi peralatan virtual juga dapat dilihat sebagai proses kreatif (mirip dengan DIY rumah) yang mungkin dinikmati sebagian orang, tetapi tidak bagi yang lain. Oleh karena itu, dalam keadaan seperti itu, memiliki suara atas jumlah otonomi dalam sebuah gedung dapat menguntungkan. Alasan lain mengapa orang mungkin ingin memvariasikan tingkat kecerdasan adalah bahwa teknologi tidak dapat secara akurat memprediksi niat seseorang, dan ketika membuat kesalahan, itu dapat mengganggu.

Jumlah kesalahan yang dibuat agen prediktif terkait dengan jenis tugas (seberapa repetitifnya), persona orang tersebut (seberapa spontan dia) dan sifat penginderaan. Mengingat bahwa sensor tidak mungkin dapat membaca pikiran orang secara akurat dan bahwa aspek intrinsik dari keberadaan manusia adalah kehendak bebas (nondeterminisme), kemungkinan besar kinerja prediktif agen akan terus bervariasi sesuai dengan situasi, yang menghasilkan keuntungan bagi pengguna karena dapat mengurangi atau meningkatkan penggunaan kecerdasan agar sesuai dengan keadaan. Akhirnya, berbagai survei telah menyimpulkan bahwa hambatan untuk menerapkan solusi yang lebih cerdas adalah bahwa orang takut akan kecerdasan yang terlalu banyak dan memiliki keinginan yang kuat untuk tetap memegang kendali.

Mampu memengaruhi tingkat otonomi adalah salah satu cara orang dapat menjalankan kendali. Jadi, terkadang, orang mungkin ingin menjalankan kendali yang lebih eksplisit atas desain fungsionalitas bangunan, dan kecerdasan atau otonomi tidak boleh disajikan sebagai opsi biner (yaitu ada atau tidak). Melihat hal ini dari sudut pandang sistem manajemen gedung yang sederhana, jika seseorang melakukan tugas-tugas berulang yang sederhana yang dapat dengan cepat dimodelkan oleh agen, maka tindakan pencegahan dari agen cerdas dapat bekerja dengan baik (misalnya mengelola pemanas untuk efisiensi bahan bakar), tetapi jika perilaku penghuni tidak teratur atau rumit (misalnya tugas satu kali atau spontan) maka penghuni mungkin menemukan tindakan agen tersebut bertentangan dengan kebutuhan mereka dan mendapat manfaat dari pengurangan kendali agen terhadap lingkungan.

Dalam semua kasus ini, kemampuan untuk memvariasikan kecerdasan dapat diinginkan. Untuk memvariasikan jumlah bantuan yang diterima dari lingkungan cerdas dapat dilihat sebagai bergerak sepanjang kontinum di mana, pada satu ekstrem, pengguna melakukan semua pekerjaan, dan pada ekstrem lainnya agen cerdas melakukan semua pekerjaan. Pekerjaan Essex telah menyelidiki cara membuat kontrol kecerdasan (atau otonomi) yang dapat disesuaikan tersebut; ini seperti kontrol termostat di gedung yang dapat disesuaikan dari tidak ada otonomi (sepenuhnya manual, tidak ada tindakan pencegahan



agen) ke otonomi penuh (tindakan pencegahan agen maksimum). Hal ini dilakukan untuk setiap subsistem gedung, sehingga memungkinkan penghuni gedung untuk menjalankan kontrol yang cermat atas aspek fungsionalitas gedung yang diotomatisasi, dengan cara yang mirip dengan meja pencampur musik. Saya akan menguraikan hal ini nanti di bab ini, dan menjelaskan beberapa temuan pengguna sebagai bagian dari studi kasus.



**Gambar 5.1 Kontinum Kecerdasan**

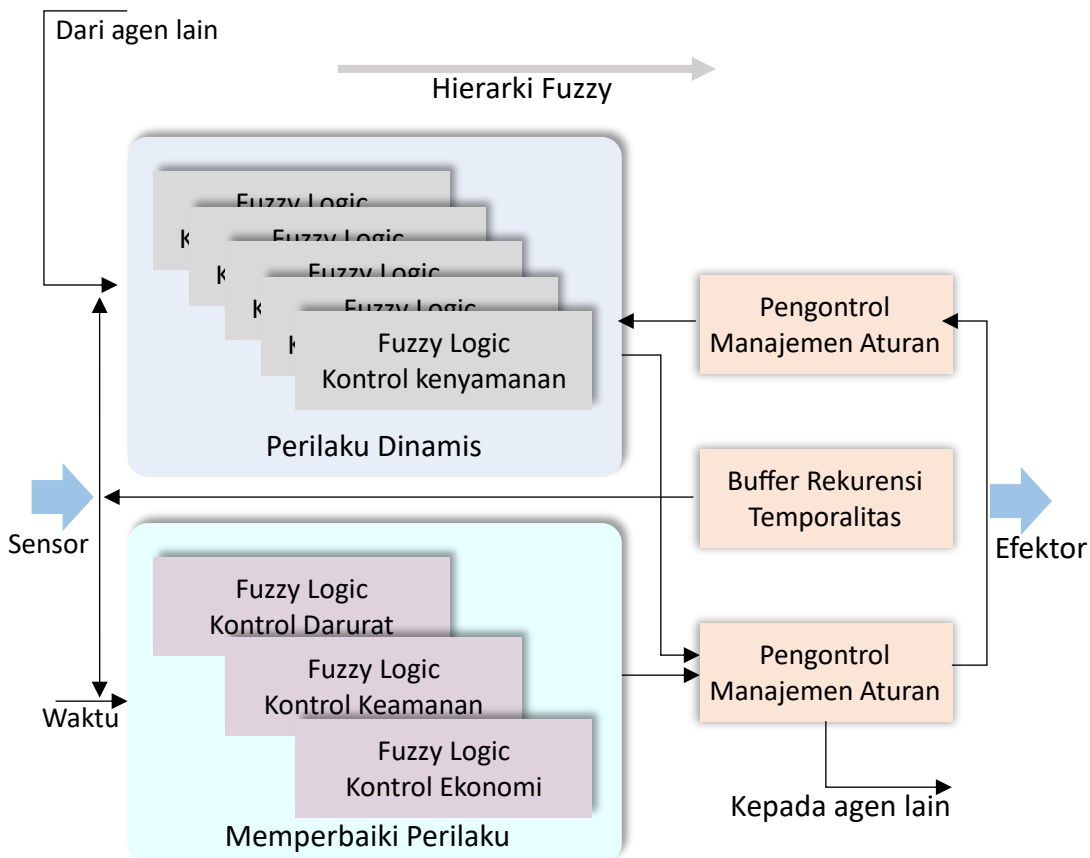
### 5.5. ARSITEKTUR AGEN TERTANAM YANG SEDERHANA

Sebagaimana dijelaskan dalam Bagian 5.2, agen tertanam (agen cerdas) merupakan blok penyusun dasar lingkungan cerdas. Jadi, pertanyaan pentingnya adalah 'Bagaimana cara kerjanya, dan bagaimana cara mendesainnya?' Tantangan yang dihadapi dalam mendesain agen tertanam untuk bangunan cerdas cukup signifikan. Pertama, ada pilihan pendekatan komputasional terpusat atau terdesentralisasi. Secara historis, sistem telah tersentralisasi, karena secara logis lebih mudah untuk didesain.

Namun, sistem tersentralisasi memiliki kekurangan yang umum diketahui, seperti kegagalan titik tunggal, yang dapat merobohkan seluruh bangunan. Selain itu, arsitektur tersentralisasi tidak mudah diskalakan, karena prosesor berukuran tetap dan perutean kembali koneksi untuk sensor dan aktuator lebih sulit. Di sisi lain, arsitektur terdistribusi lebih sulit didesain tetapi lebih dapat diskalakan dan mudah diubah sesuai dengan struktur bangunan. Untungnya, dalam arsitektur perilaku yang akan saya jelaskan di sini, membuat arsitektur terdistribusi relatif mudah.

Kedua, dengan mempertimbangkan agen itu sendiri, mereka pada dasarnya adalah pengendali waktu nyata yang menerima sejumlah besar data sensor yang bising dan relatif jarang. Selain itu, yang melekat pada agen-agen ini adalah efektor yang sifatnya elektromekanis, dan dengan demikian rentan terhadap malfungsi. Selain itu, prosesor yang tertanam relatif kecil secara komputasi dibandingkan dengan sistem terpusat, sehingga ada tantangan tambahan dalam mengembangkan skema kecerdasan komputasi yang sesuai dengan sumber daya kecil ini.

Kecerdasan buatan memiliki masalah komputasi tertentu, karena biasanya menggunakan setidaknya satu lapisan abstraksi (model dunia) yang terbukti sulit untuk tetap terkini dan menuntut komputasi. Masalah ketiga adalah bahwa lingkungan jarang ditempati oleh hanya satu orang, yang berarti bahwa setiap agen pengendali, selain mengatasi individu, perlu memodelkan dan mengelola beberapa hunian.



**Gambar 5.2 Implementasi Logika Fuzzy Dari Agen Berbasis Perilaku**

Dengan demikian, ketika mempertimbangkan semua masalah ini, tantangan untuk menciptakan arsitektur yang dapat bekerja dalam semua kendala ini cukup besar. Untungnya, meskipun tampak sangat rumit dalam menciptakan arsitektur agen cerdas yang terganggu yang mampu beroperasi dalam lingkungan yang penuh tantangan, ternyata ada solusi yang sangat sederhana. Bidang robot bergerak telah menghadapi tantangan yang sangat mirip dan telah mengembangkan sejumlah solusi, yang paling relevan adalah arsitektur berbasis perilaku yang dipopulerkan oleh Rodney Brookes di MIT. Prinsipnya sederhana karena, alih-alih beroperasi pada lapisan abstraksi data, seperti yang telah dilakukan sebagian besar kecerdasan buatan sebelumnya, Brookes membuang model abstrak yang biasa dan lebih memilih untuk beroperasi langsung pada dunia nyata, menciptakan frasa, 'dunia adalah model terbaiknya sendiri'.

Selain itu, ia mengusulkan arsitektur yang dipartisi secara horizontal di mana tugas keseluruhan didekomposisi menjadi kumpulan subtugas (disebut 'perilaku'), yang masing-masing menyediakan beberapa kontrol sensor ke efektor yang independen. Dengan mengatur perilaku-perilaku ini dengan cara ini, arsitektur mempertahankan sejumlah proses (perilaku) bersamaan yang bersaing untuk mengendalikan sistem. Interaksi antara perilaku-perilaku ini (yang permutasi perilakunya mengendalikan) menyediakan tingkat adaptasi lain dan memunculkan properti yang disebut 'perilaku yang muncul'. Singkatnya, ini setara dengan penalaran dan perencanaan dalam kecerdasan buatan (AI) yang lebih tradisional, karena dapat

ditunjukkan bahwa ia memecahkan masalah yang sama. Gambar 5.2 menunjukkan implementasi logika fuzzy hierarkis dari arsitektur berbasis perilaku Brookes. Dalam agen ini, perilaku dibagi menjadi perilaku tetap dan dinamis. Perilaku tetap mencerminkan kondisi 'harus terjadi', yang ditetapkan secara permanen oleh pemangku kepentingan bangunan, dan mungkin termasuk peraturan pemerintah tentang kesehatan dan keselamatan atau kebutuhan keamanan.

Aturan dinamis adalah aturan yang dipelajari dengan cepat dengan memantau perilaku kebiasaan penghuni bangunan, dan membuat seperangkat aturan yang sesuai dengan kebutuhan pengguna. Agen bekerja dengan beralih di antara perilaku menggunakan penengah (koordinator); ini memutuskan perilaku mana yang aktif berdasarkan konteks saat ini (lingkungan yang dirasakan). Dengan demikian, koordinator bertindak sebagai jenis sensor bernilai tambah, mengkodekan konteks semua masukan yang dirasakannya menjadi satu kata yang menggambarkan keadaan dunia yang diamatinya. Fakta inilah yang mengarah pada mekanisme untuk menciptakan mekanisme koordinasi agen terdistribusi yang disederhanakan, di mana agen lain hanya dianggap sebagai pseudo-sensor (tetapi bernilai tambah karena pemrosesan tambahan) yang, karena mereka terhubung ke masukan agen lain, menyediakan mekanisme koordinasi terdistribusi yang 'bebas semantik', yang disebut sebagai 'bahasa semiotik agen' (ASL).

Penggunaan skema semiotik agen untuk menyederhanakan pemrosesan agen terdistribusi merupakan keuntungan yang signifikan bagi penggunaan pendekatan berbasis perilaku untuk manajemen lingkungan yang cerdas. Dalam model ini, temporalitas (mendasarkan keputusan mendatang pada pengalaman masa lalu) dipenuhi oleh prinsip mesin status klasik yang mencakup loop umpan balik yang menghubungkan keputusan saat ini (waktu  $n$ ) dengan keputusan masa lalu (waktu  $n - 1$ ) dan oleh prinsip rekursi ke semua status sebelumnya. Mengenai hunian jamak sebuah gedung, ada berbagai cara untuk mengatasi masalah ini, dan pendekatan yang diadopsi dalam desain agen ini adalah apa yang disebut 'metode identitas korporat' di mana sekelompok orang dapat dilihat sebagai satu persona yang dimodelkan dan dikelola oleh agen. Seperti namanya, inspirasi untuk pendekatan ini datang dari sifat perusahaan yang, meskipun terdiri dari banyak orang, dianggap setara dengan satu orang dalam hukum.

Metodologi ini dibahas secara lebih rinci dalam makalah lain oleh penulis. Akhirnya, masalah dengan skema interkoneksi ad hoc adalah bahwa skema ini rentan terhadap ketidakstabilan siklus (misalnya kunci arus listrik), yang menimbulkan gejala seperti lampu berkedip yang tidak diinginkan. Secara sederhana, penyebab perilaku keliru ini dapat ditelusuri ke loop tertutup di mana tindakan agen tertentu didasarkan pada tindakan agen lain, yang pada gilirannya, bergantung pada yang pertama (yaitu saling ketergantungan agen dalam sistem multi-agen). Dalam praktiknya, loop interaktif ini terjadi di berbagai agen dan rute yang kompleks (baik secara spasial maupun temporal), yang bersekongkol untuk menutupi dan mempersulit identifikasi dan pemberantasannya. Faktanya, meskipun gejalanya telah diamati dan dilaporkan dalam berbagai proyek lingkungan cerdas, keadaan bidang ini yang relatif embrionik berarti bahwa, hingga saat ini, sedikit yang diketahui tentang penyebab atau

penyembuhannya.

Telah ditemukan bahwa perilaku keliru ini dapat diberantas dengan memutus loop, tetapi ini harus dilakukan dengan memperhatikan efek penonaktifan pada fungsionalitas sistem secara keseluruhan. Pembahasan yang lebih rinci disajikan dalam makalah lain oleh penulis. Aspek logika fuzzy dari operasi agen sangat matematis, dan pembaca yang tertarik dengan teori itu dirujuk ke makalah sebelumnya oleh penulis yang memberikan penjelasan matematis terperinci tentang agen-agen ini. Mengenai arsitektur berbasis perilaku, dalam dunia robotika proses ini mudah dipahami dengan korespondensinya dengan dunia fisik. Jadi, misalnya, ketika robot yang bergerak diberkahi dengan beberapa perilaku yang diaktifkan sederhana (baik aktif atau nonaktif) seperti

- (1) penghindaran rintangan
- (2) pencarian tujuan, ditambah beberapa skema prioritas, robot dapat dipahami berfungsi sebagai berikut.

Jika robot tidak berada di dekat rintangan dan tidak pada tujuannya, perilaku itu akan mati, dan perilaku pencarian tujuan akan aktif dan robot akan menuju tujuannya. Namun, jika menemui rintangan, perilaku itu akan menjadi dominan, mengaktifkan dan menonaktifkan perilaku pencarian tujuan. Melalui interaksi perilaku ini, dapat dikatakan bahwa robot bergerak dapat memecahkan masalah sulit seperti menavigasi ke tujuan melalui medan rintangan. Tentu saja ini hanya penjelasan sederhana untuk menyampaikan prinsip arsitektur berbasis perilaku, dan pengaturan yang jauh lebih canggih ada dalam arsitektur ini daripada dalam robot.

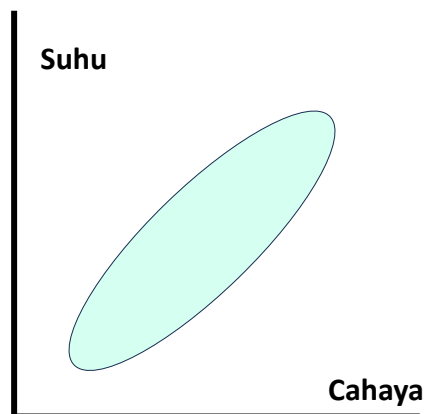
Dalam arsitektur berbasis perilaku, setiap perilaku adalah proses berbasis aturan sederhana seperti 'Jika rintangan di depan, mundur'. Aspek luar biasa dari arsitektur berbasis perilaku adalah, meskipun terdiri dari kumpulan proses interaksi berbasis aturan yang sangat sederhana, arsitektur ini memecahkan masalah yang sangat sulit yang sebelumnya memerlukan AI yang besar dan canggih. Ringannya aturan berarti bahwa arsitektur seperti itu dapat berjalan secara real time pada prosesor kecil. Munculnya arsitektur berbasis perilaku memecahkan kebuntuan yang ada dalam kemampuan AI untuk mengendalikan robot, dan merupakan terobosan yang signifikan.

Kemajuan dalam hal bangunan cerdas adalah pengamatan bahwa robot dan bangunan secara logis identik, yang mungkin paling baik ditangkap oleh frasa yang dicetuskan oleh penulis bahwa 'Sebuah bangunan adalah robot yang kita tinggali di dalamnya'. Ini adalah parodi dari kutipan yang agak lebih terkenal oleh arsitek Swiss abad kedua puluh yang terkenal dari gerakan modern, Le Corbusier, yang dilaporkan telah menyatakan 'Rumah adalah mesin untuk ditinggali'. Dalam kasus inspirasi penulis, itu datang dari fakta bahwa ia mendirikan laboratorium robot bergerak Universitas Essex (Laboratorium Brooker) dan sedang mengerjakan robot yang memiliki tampilan kotak persegi yang berisi berbagai sensor dan aktuator yang dikelola oleh prosesor perantara; kesamaan dengan ruangan (tempat robot berada) sangat mencolok, karena itu adalah kotak persegi lain yang berisi berbagai sensor dan aktuator yang dikelola oleh prosesor perantara.

Pikiran ini memunculkan gagasan bahwa robot dan bangunan memiliki kesamaan yang

penting. Selain hubungan empiris ini, penjelasan yang lebih masuk akal adalah bahwa bangunan sebenarnya bergerak melalui 'ruang data' dengan cara yang sama seperti robot bergerak melalui ruang fisik. Gambar 5.3 menggambarkan hal ini menggunakan abstraksi yang disebut sMap (peta sensorik). Contoh sMap menunjukkan korelasi antara suhu dan cahaya dalam sebuah bangunan, dan menggambarkan situasi bahwa, saat matahari terbit, tingkat cahaya dan suhu meningkat, tetapi saat matahari terbenam, tingkat cahaya dan suhu turun, tetapi tertinggal karena penyerapan termal.

Jelas bahwa entitas lain seperti jendela, pintu, atau HVAC dapat 'memasuki' ruang ini dan secara efektif bergerak di sekitarnya dengan mengubah keseimbangan suhu-cahaya (dengan cara yang sama seperti robot bergerak di sekitar ruang fisiknya). Jadi, dalam ruang abstrak ini, objek serupa ada, seperti jendela terbuka yang menyebabkan 'objek suhu' dinamis bergerak dan menghalangi pergerakan sistem kontrol iklim (mirip dengan robot bergerak). Beberapa karakteristik termal bangunan mewakili objek yang lebih tetap. Dengan cara ini, teori yang sama berlaku untuk pemecahan masalah di domain robot bergerak dan bangunan. Bagian terakhir dari teka-teki yang menghubungkan prinsip-prinsip kontrol robotik dengan bangunan adalah mengidentifikasi perilaku tetap untuk arsitektur bangunan cerdas berbasis perilaku, yang diidentifikasi sebagai pencarian tujuan, keselamatan, kontrol manual, dan kenyamanan.



**Gambar 5.3 sMap yang Disederhanakan**

Kombinasi perilaku lainnya dimungkinkan; kriteria yang digunakan untuk menghasilkannya adalah dengan mengidentifikasi terlebih dahulu 'perilaku yang harus dijamin' dan menetapkannya sebagai perilaku tetap, lalu membiarkan perilaku yang kurang penting untuk dipelajari atau muncul dari interaksi perilaku. Pembelajaran diperkenalkan melalui penggunaan perilaku dinamis di mana agen mempelajari aturan baru melalui mekanisme yang dijuluki 'pembelajaran berbasis bukti'.

Singkatnya, ini bekerja dengan merekam nilai sensor semua perangkat setiap kali terjadi peristiwa penting (misalnya pengguna mengubah pengaturan kontrol bangunan); dengan cara ini, aturan disusun. Meskipun prinsip dasarnya sangat sederhana, untuk membuat agen lebih tangguh, arsitekturnya biasanya disempurnakan dengan berbagai cara seperti

penambahan logika fuzzy, inersia pembelajaran (mekanisme untuk memastikan bahwa hanya aturan penting yang dipelajari) dan sistem manajemen aturan (lihat Gambar 5.3). Inersia pembelajaran dapat direpresentasikan secara lebih formal sebagai berikut:

$$w_1 li(x_1) \frac{\Delta x_1}{\Delta f_1} + w_2 li(x_2) \frac{\Delta x_2}{\Delta f_2} + \dots + w_i li(x_i) \frac{\Delta x_i}{\Delta f_i}$$

Dalam persamaan ini, jumlah kejadian pola perilaku atau siklus yang terjadi selama fase pembelajaran dimodelkan oleh fungsi diferensial sederhana  $li(x)$ , di mana  $x$  adalah set lengkap kejadian yang diamati selama fase pembelajaran,  $i$  adalah jumlah fase pembelajaran dengan durasi yang berbeda,  $\Delta f_i$  sesuai dengan durasi fase pembelajaran individu,  $\Delta x_i$  adalah jumlah kejadian yang diamati dalam durasi fase pembelajaran yang sesuai, dan  $x_i$  adalah set kejadian yang diamati dalam durasi fase pembelajaran yang sesuai.

Konstanta  $w_i$  memberi bobot seberapa besar diferensial individu (yang mewakili durasi fase pembelajaran yang berbeda) memengaruhi proses pembelajaran. Dengan menetapkan  $D_i$  ke nilai tetap, setiap suku diferensial dapat menangkap perilaku dengan periodisitas siklus yang berbeda (misalnya per jam, harian, mingguan, tahunan). Atau, dengan menetapkan  $D_i$  ke nilai tetap, setiap suku diferensial dapat menangkap perilaku dengan kejadian yang berbeda (misalnya 1, 2, 3).

Dalam contoh yang disajikan di sini, sistem pembelajaran mengadopsi pendekatan terakhir, dengan menggunakan parameter kejadian (kelembaman pembelajaran) sebesar 3 sebagai angka minimum untuk memicu pembelajaran. Jelas persamaan ini dapat diterapkan dalam berbagai cara untuk merancang agen guna mengelola berbagai jenis perilaku manusia dan lingkungan. Terakhir, sebagian besar agen saat ini merasakan parameter yang terkait dengan lingkungan fisik, dengan menggunakan perubahan tersebut untuk memicu adaptasi lingkungan.

Mengingat bahwa lingkungan tersebut diadaptasi untuk mencerminkan perubahan kebutuhan penghuni, ada minat untuk merasakan lebih banyak sifat pribadi penghuni, seperti suasana hati atau kondisi fisik mereka, sebagai sarana untuk meningkatkan keakuratan kontrol lingkungan yang dikelola agen. Peneliti lain tertarik untuk mengumpulkan data pribadi tersebut sebagai cara mengevaluasi konsep lingkungan cerdas (misalnya, mengumpulkan respons emosional secara otomatis terhadap aspek eksperimental dari desain lingkungan cerdas). Ini adalah bidang kompleks yang layak dibahas dalam bab tersendiri, dan pembaca yang tertarik dirujuk ke pemaparan yang lebih rinci tentang hal ini oleh penulis dalam publikasi lain. Demikian pula, pembahasan lebih rinci tentang operasi agen tertanam diberikan dalam makalah lain oleh penulis.

## 5.6. PEMROGRAMAN PENGGUNA AKHIR

Agen berbasis perilaku yang dijelaskan di bagian sebelumnya bekerja secara efektif, membutuhkan waktu sekitar 2 hari untuk mempelajari sekitar 200 aturan yang tampaknya menjadi ciri khas pengguna di satu ruangan. Namun, arsitekturnya, sebagaimana disajikan,

secara efektif merupakan sistem otonomi penuh yang tetap. Pekerjaan lain telah mengeksplorasi ekstrem yang berlawanan, pemrograman pengguna akhir, di mana penghuni gedung memegang kendali penuh, memprogram semua fungsi gedung.

Masalah dengan melibatkan pengguna dalam pemrograman sistem gedung ada dua. Pertama, pengguna, secara umum, bukanlah teknolog, dan biasanya tidak dapat memanfaatkan jenis alat pemrograman yang digunakan ilmuwan dan insinyur. Kedua, ada aspek sistem gedung yang perlu dijauhkan dari penghuni umum baik karena alasan keselamatan atau karena alasan kebutuhan pemangku kepentingan lainnya (misalnya penghuni mungkin bukan pemilik, atau manajer yang berwenang, karena gedung dapat memiliki banyak pemangku kepentingan). Untuk mengatasi tantangan pertama, solusi umumnya adalah menyediakan penghuni dengan serangkaian objek grafis atau fisik yang familiar yang memiliki hubungan metaforis dengan kemungkinan pemrograman bangunan atau lingkungan cerdas.

Misalnya, salah satu metafora yang populer adalah teka-teki jigsaw puzzle, di mana penghuni bangunan disajikan dengan kumpulan potongan yang dapat mereka gabungkan kembali menjadi sejumlah gambar yang berbeda, setiap gambar merupakan fungsi bangunan terprogram tertentu. Biasanya potongan-potongan ini secara langsung analog dengan konstruksi pemrograman. Dengan demikian, potongan-potongan jigsaw puzzle adalah jembatan antara bangunan nyata dan sistem komputer yang mendasarinya. Di Essex, kami telah mengadopsi mekanisme pemrograman-dengan-contoh. Dalam pendekatan ini, penghuni bangunan menempatkan sistem ke dalam mode pembelajaran dan kemudian hanya menunjukkan perilaku yang diinginkan pada sistem.

Jadi, misalnya, jika pemilik ruang bioskop rumah ingin memprogram ruangan untuk 'Saat menerima panggilan telepon masuk, hentikan film, nyalakan lampu, dan alihkan panggilan ke sistem audiovisual (AV)', mereka cukup mendemonstrasikan ini ke sistem dengan terlebih dahulu menempatkan sistem dalam mode pembelajaran, lalu menggunakan ponsel mereka untuk menelepon rumah; saat mendengar dering, mereka akan menyalakan lampu secara manual dan mengalihkan panggilan ke sistem AV. Mode pembelajaran akan dihentikan dan hasilnya disimpan sebagai deskripsi berbasis ontologi portabel yang disebut MAp (meta-appliance/application).

Sistem kemudian akan mengingatkannya, dan saat konteks yang sama ini terulang lagi, tindakan yang sama akan diputar ulang. Sistem melampaui pengaturan makro sederhana, karena informasinya tidak bergantung pada urutan dan mengodekan tugas menggunakan ontologi untuk membuat objek lunak portabel yang dapat dibawa antar lingkungan oleh pengguna (atau bahkan diperdagangkan).

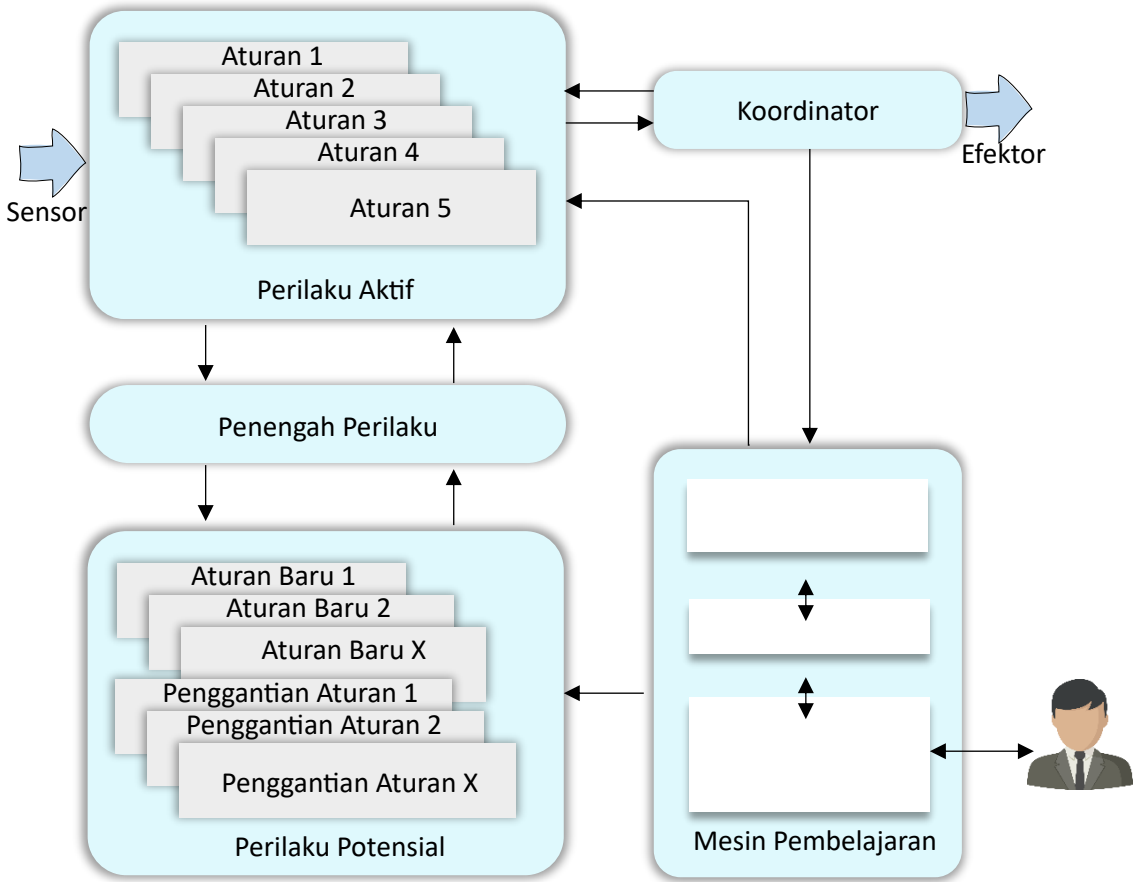
### **5.7. AGEN OTONOMI YANG DAPAT DISESUAIKAN**

Setelah menjelaskan bagaimana agen di kedua ujung skala otonomi dapat beroperasi, pertanyaannya adalah 'Bagaimana pendekatan ini dapat dikombinasikan untuk menghasilkan sistem otonomi yang dapat disesuaikan yang memungkinkan pengguna menemukan "titik manis" antara ekstrem "dikendalikan oleh sistem" dan "mengendalikan sistem"?'

Untuk mencapai ini, ada sejumlah opsi yang berkisar dari memvariasikan berapa banyak agen yang aktif dalam suatu sistem, melalui skema untuk mengganti agen di antara tingkat otonomi diskret, hingga menciptakan mekanisme pembelajaran yang dapat dikontrol. Di Essex, kami telah mengeksplorasi dua pendekatan terakhir. Pendekatan pertama melibatkan sistem diskret yang diaktifkan yang memungkinkan pengguna memilih satu dari empat status otonomi diskret.

- Otonomi penuh: agen belajar dari perilaku pengguna, dan secara otomatis membuat/mempertahankan aturan sebagaimana yang dianggap perlu.
- Otonomi tinggi: agen mempelajari aturan dari perilaku pengguna, dan aturan ini hanya dapat menjadi aktif ketika dikonfirmasi oleh pengguna (kerja tim agen).
- Otonomi rendah: pengguna membuat/mengelola aturan dengan bantuan agen yang memberikan saran (kerja sama tim agen).

Tidak ada otonomi: pengguna membuat/mengelola aturan tanpa bantuan dari agen. Pendekatan kedua didasarkan pada pengelolaan mekanisme pembelajaran agen berbasis perilaku. Prinsip umumnya adalah bahwa ada dua set perilaku (set aturan), satu aktif dan yang lainnya berpotensi aktif. Setiap aturan (atau set aturan) memiliki parameter 'kegunaan', yang merupakan kuantifikasi numerik tentang seberapa sering dan akurat aturan tersebut terbukti.



**Gambar 5.4 Agen Berbasis Perilaku Otonomi Yang Dapat Disesuaikan**



Otonomi yang dapat disesuaikan dicapai dengan membandingkannya dengan ambang batas yang dapat disesuaikan yang menentukan apakah aturan tertentu dapat aktif atau tidak. Persamaan pembelajaran yang disajikan dalam Bagian 5.5 merangkum keumuman fungsionalitas operasional yang tersedia untuk arsitektur ini.

Jadi, misalnya, pendekatan yang sederhana mungkin adalah dengan menetapkan  $D_{ti}$  menjadi 24 jam,  $w$  menjadi 1 (dan  $w$  dalam istilah lain menjadi 0) dan menggunakan  $D_{xi}$  sebagai variabel otonomi yang dapat disesuaikan. Jelas bahwa pilihan parameter merupakan isu utama dalam desain sistem otonomi yang dapat disesuaikan, dan pembaca yang ingin memiliki wawasan yang lebih rinci tentang isu-isu tersebut.

### 5.8. LINGKUNGAN DAN ORANG-ORANG CERDAS

Salah satu manfaat insidental dari penggunaan agen otonomi yang dapat disesuaikan adalah, selain menyediakan cara yang lebih efektif bagi pengguna akhir untuk mengendalikan lingkungan cerdas mereka, agen tersebut juga dapat digunakan untuk menilai sikap pengguna terhadap kecerdasan dan otonomi. Dengan memberikan sejumlah pengguna kemampuan untuk memvariasikan tingkat otonomi untuk setiap fungsi di lingkungan mereka, statistik dapat dikumpulkan tentang sikap orang-orang terhadap penggunaan otonomi di lingkungan cerdas.

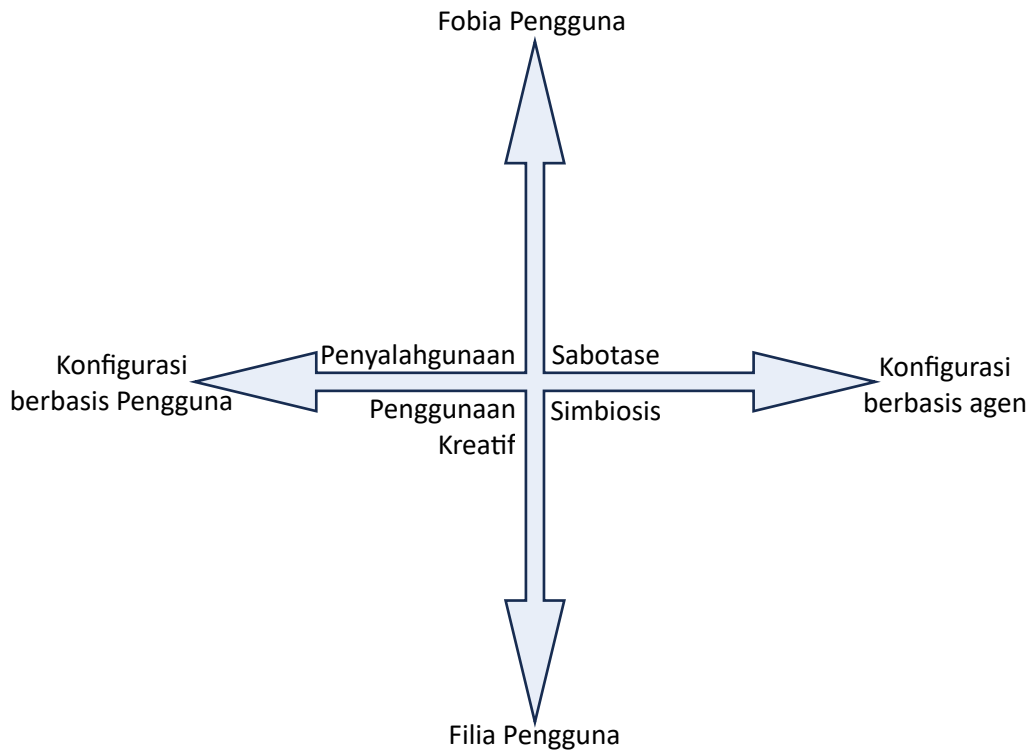
Memahami kekhawatiran pengguna terkait teknologi lingkungan cerdas penting bagi perusahaan yang ingin mengatasi hambatan pasar dan bagi pengguna untuk mendapatkan sistem yang benar-benar mereka butuhkan. Berbagai penelitian telah dilakukan terhadap sikap pengguna terhadap teknologi berbasis bangunan, yang utama adalah penelitian Universitas California tentang sikap terhadap teknologi rumah pintar, penelitian oleh Samsung Corporation dan American Institute for Research tentang persyaratan rumah pintar di AS dan Korea Selatan, Universitas Kopenhagen tentang kesadaran konteks, penelitian Institut Fraunhofer.

Philips Research dan France Telecom tentang harapan lintas budaya terhadap rumah pintar (di beberapa negara Eropa), penelitian laboratorium Hypermedia Universitas Tampere tentang harapan rumah digital, penelitian Universitas Goteborg tentang sikap terhadap rumah pintar, penyelidikan Universitas Carnegie-Mellon tentang jenis kontrol rumah digital, evaluasi Universitas Munich tentang interaksi dengan teknologi di rumah digital, studi Universitas Essex tentang masalah kontrol pengguna di rumah pintar, dan investigasi persepsi otonomi.

Temuan umum dari studi ini adalah bahwa pengguna merasa mempertahankan kontrol merupakan perhatian utama. Masalah tambahan termasuk kemampuan beradaptasi, personalisasi, privasi, dan kepercayaan terhadap teknologi lingkungan cerdas. Hasil bersih dari agregasi masalah ini adalah bahwa, secara ekstrem, pengguna tertarik atau menolak sistem ini. Sikap ini digambarkan dalam Gambar 5.5, yang merangkum reaksi utama terhadap berbagai tingkat otonomi agen. Setiap kuadran mewakili jenis penggunaan ekstrem yang mungkin ditemui saat sistem bergerak antara menjadi otonom secara eksklusif atau digerakkan oleh pengguna akhir.

Pengguna memiliki pandangan yang berbeda tentang teknologi, dan diagram ini memungkinkan perasaan fobia (takut) atau philia (cinta) untuk digambarkan. Idealnya, desain

teknologi lingkungan cerdas harus bertujuan untuk menghindari penyalahgunaan dan sabotase sistem, dan menimbulkan penggunaan kreatif atau simbiosis antara pengguna dan sistem. Di bagian berikutnya saya menyajikan studi kasus yang memberikan wawasan yang lebih rinci dan berbasis bukti terhadap pandangan pengguna tentang teknologi cerdas dalam lingkungan kehidupan sehari-hari. Gambar 5.5 Model sikap pengguna 3C terhadap lingkungan cerdas



**Gambar 5.5 Model Sikap Pengguna 3C Terhadap Lingkungan Cerdas**

### 5.9. STUDI KASUS: ESSEX ISPACE

Dalam studi kasus ini, saya menjelaskan Essex iSpace, lingkungan cerdas eksperimental yang dibangun khusus dalam bentuk apartemen dua kamar tidur (Gambar 5.6). Bagian ini juga melaporkan penggunaan model diskrit Essex dari otonomi agen yang dapat disesuaikan, yang menyediakan empat pengaturan yang dapat diubah bagi pengguna.

- Otonomi penuh di mana agen belajar dari perilaku pengguna dan secara otomatis membuat dan mengaktifkan aturan sebagaimana yang dianggap perlu oleh agen.
- Otonomi tinggi, di mana agen mempelajari aturan dari perilaku pengguna, dan aturan hanya menjadi aktif ketika dikonfirmasi oleh pengguna (bentuk kerja sama tim agen yang kuat).
- Otonomi rendah, di mana pengguna membuat dan mengaktifkan aturan dibantu oleh agen yang memberikan saran (bentuk kerja sama tim agen yang lebih lemah).
- Tidak ada otonomi, di mana pengguna membuat dan mengaktifkan aturan tanpa bantuan dari agen.

Agan yang dapat disesuaikan dibuat dan digunakan di University of Essex iSpace. Tujuan dari

penelitian ini adalah untuk memperoleh pemahaman tentang pendapat orang-orang yang berkaitan dengan penggunaan agen otonom di lingkungan cerdas. Dua puluh peserta menyelesaikan tiga tugas singkat menggunakan agen otonomi yang dapat disesuaikan dan diminta untuk memberikan umpan balik tentang pengalaman mereka.



**Gambar 5.6 iSpace Essex**

Para peserta berinteraksi dengan sistem menggunakan iPad Apple™, yang menyediakan Pembuat Aturan, Penampil Aturan, layar Pengaturan Otonomi, dan Kontrol Ruangan (Gambar 5.7). Tugas pertama melibatkan pembuatan skema sederhana untuk mengelola pembukaan/penutupan tirai, tingkat cahaya, dan pengaturan AC serta AV (misalnya TV). Tugas kedua memperluas kompleksitas dengan memperkenalkan kondisi keadaan yang berkorelasi, termasuk waktu. Jadi, misalnya, seseorang mungkin menetapkan kondisi bahwa lampu tidak akan dinyalakan pada siang hari.

Tugas ketiga menambahkan dinamika tambahan ke campuran kondisional; misalnya, membuat pengaturan yang berkaitan dengan aktivitas atau lokasi pengguna. Setelah fase instruksi awal, di mana peserta diberi kesempatan untuk mencoba sistem, para peserta menyelesaikan ketiga tugas ini, diikuti dengan wawancara pembekalan. Wawancara tersebut menggunakan pendekatan semi-terstruktur, yang mencakup isu-isu seperti tingkat otonomi apa yang mereka pilih dan mengapa, mengeksplorasi bagaimana pilihan/preferensi mereka berubah selama tugas berlangsung, apakah ada tingkat otonomi yang menimbulkan kekhawatiran, dan memahami apakah pilihan mereka bergantung pada waktu atau fungsi.

Para peserta terbagi rata antara pria dan wanita, berusia antara 20 dan 45 tahun dan

sebagian besar memiliki pendidikan tingkat universitas. Rata-rata, 40% menggunakan komputer selama lebih dari 40 jam/minggu, 40% menggunakan komputer selama 20–40 jam/minggu, dan 20% menggunakan komputer selama 2–20 jam/minggu. Delapan puluh persen peserta tidak memiliki pengalaman dalam pemrograman komputer, dan 75% belum pernah mendengar tentang rumah pintar atau lingkungan cerdas.

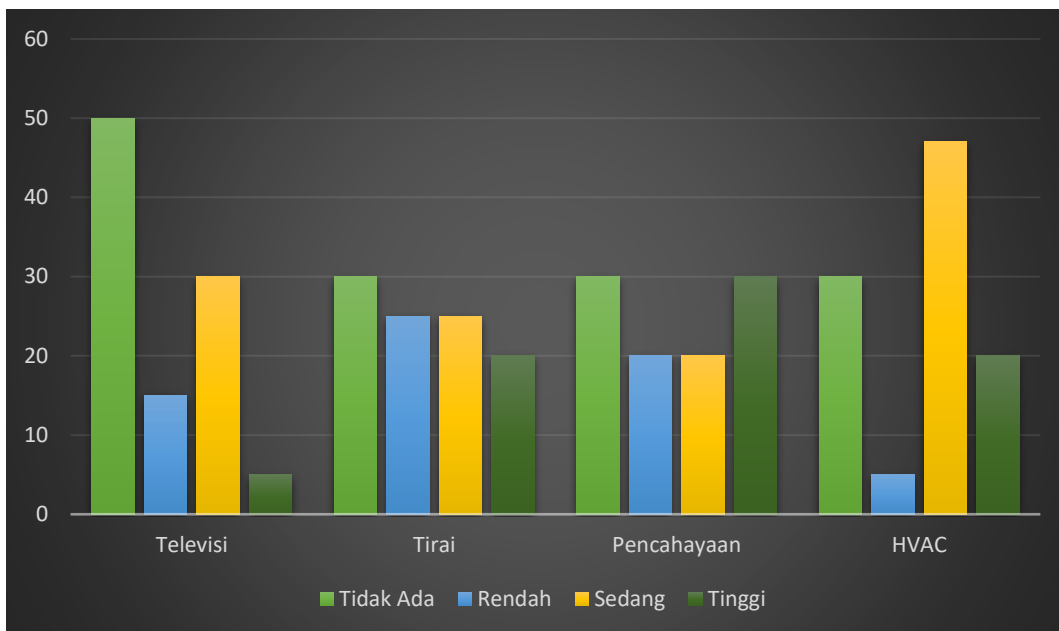


**Gambar 5.7** Layar Pengaturan Otonomi Pada Ipad Appletm

Hasilnya menghasilkan beberapa temuan menarik, yang dirangkum dalam Gambar 5.8. Secara sepintas hasilnya intuitif karena, semakin ‘pribadi’ suatu fungsi, semakin banyak peserta membutuhkan kontrol langsung atasnya, sedangkan semakin ‘dibagi’ suatu fungsi, semakin sedikit kontrol yang mereka butuhkan. Jadi, misalnya, peserta menginginkan kontrol eksplisit atas sistem hiburan mereka, tetapi senang mendelegasikan kontrol HVAC kepada agen. Namun, diskusi dengan peserta menunjukkan bahwa penalaran orang bisa lebih kompleks, dengan beberapa peserta menunjukkan perhitungan risiko versus manfaat yang berkaitan dengan keputusan mereka tentang apakah akan menggunakan fungsi tertentu.

Seperti yang dijelaskan sebelumnya dalam bab ini, teknologi ini tidaklah sempurna dan rawan kesalahan. Biaya kesalahan bervariasi dari sekadar gangguan ringan, dalam kasus suhu yang sedikit salah, hingga sangat mengganggu, di mana agen telah membuat pilihan musik

yang salah. Jelas bahwa masing-masing domain ini mewakili tingkat kesulitan yang berbeda bagi agen untuk membuat prediksi yang benar terkait dengan kebutuhan pengguna. Jadi, meskipun dapat menangani masalah kontrol iklim dengan relatif akurat, kemampuannya untuk menangani jiwa manusia untuk masalah selera media berada di luar kapasitasnya.



**Gambar 5.8 Preferensi Otonomi Peserta Terhadap Fungsi Yang Berbeda**

Oleh karena itu, kinerja sistem perubahan iklim yang dikendalikan agen pasti akan jauh lebih baik daripada sistem kontrol AV yang dikendalikan agen, yang pada gilirannya memengaruhi pendapat orang. Meskipun demikian, temuan tersebut mewakili keadaan terkini dalam teknologi ini, dan karenanya memiliki implikasi bagi orang yang merancang lingkungan dan bangunan cerdas saat ini. Dalam hal memahami pertanyaan yang lebih luas tentang pandangan umum masyarakat terhadap otonomi dalam lingkungan cerdas, penelitian tersebut mengungkapkan bahwa masyarakat lebih suka memegang kendali, daripada dikendalikan, yang konsisten dengan semua survei yang dilaporkan sebelumnya dalam bab ini.

Dari penelitian Essex, dan berbagai penelitian yang dilakukan oleh organisasi lain, jelas bahwa perancang bangunan cerdas perlu memikirkan dengan saksama di mana dan bagaimana otonomi dimasukkan dalam bangunan jika teknologi ini ingin berhasil dan benar-benar bermanfaat bagi masyarakat. Jelas ini adalah topik yang kompleks, dan isu-isu tersebut tidak dapat dibahas secara memadai dalam bab yang sesingkat itu; oleh karena itu, pembaca yang tertarik dapat membaca makalah kami yang lain yang menjelaskan arsitektur dan evaluasi dengan lebih rinci.

### 5.10. RINGKASAN

Dalam bab ini, penulis membahas konsep lingkungan cerdas, yang dibandingkan dengan "robot yang dihuni manusia." Analogi ini memungkinkan penerapan teknik desain agen dari robotika, khususnya desain berbasis perilaku, dalam bangunan cerdas dan sistem

ambien lainnya. Desain berbasis perilaku memungkinkan agen cerdas dibangun dengan prinsip sederhana, menggunakan aturan yang saling berinteraksi untuk menghasilkan penalaran dan perencanaan, baik melalui penerapan aturan secara langsung maupun interaksi antar aturan, yang menghasilkan "perilaku yang muncul."

Penulis juga menunjukkan bagaimana agen sederhana ini dapat menyelesaikan masalah kompleks, serta bagaimana skema ini menyederhanakan koordinasi dalam arsitektur agen terdistribusi, yang memberikan keuntungan dalam hal skalabilitas dan keandalan untuk bangunan cerdas. Selain itu, penulis menjelaskan bagaimana agen dapat menangani hunian jamak dengan menggunakan 'metode identitas perusahaan.'

Penulis membahas fenomena yang sering muncul tetapi kurang dipahami dalam sistem agen cerdas terdistribusi, yaitu ketidakstabilan siklus, dan bagaimana perancang bangunan cerdas dapat mengatasi masalah ini. Bab ini juga menyoroti pentingnya memperhatikan isu sosial-teknis dalam desain lingkungan cerdas, dengan mengusulkan model kerangka sosio-teknis 3C untuk memfasilitasi diskusi interdisipliner. Dalam konteks ini, penulis membahas teknologi pada dua ekstrem dari 'kontinum kecerdasan': pemrograman pengguna akhir dan agen otonom.

Selanjutnya, penulis memperkenalkan Essex iSpace sebagai tempat uji coba untuk penelitian lingkungan cerdas. Dalam studi kasus ini, penulis menggambarkan konsep otonomi yang dapat disesuaikan, memungkinkan pengguna untuk menjelajahi berbagai titik dalam kontinum kecerdasan. Beberapa evaluasi pengguna mengungkapkan bahwa penghuni memiliki pandangan yang kompleks tentang penggunaan teknologi agen dalam lingkungan cerdas, dengan temuan yang mengonfirmasi bahwa pengguna lebih memilih kendali pribadi daripada dikendalikan. Hal ini menjadi pertimbangan penting dalam merancang bangunan dan lingkungan cerdas.

Akhirnya, meskipun otonomi yang dapat disesuaikan diperkenalkan untuk mengeksplorasi masalah pengguna, hal ini juga membuka opsi menarik untuk desain agen dan lingkungan cerdas di masa depan, memungkinkan setiap individu memilih tingkat kendali yang paling sesuai dengan kebutuhan mereka. Penulis berharap bab ini mendorong pembaca untuk menciptakan teknologi lingkungan cerdas yang memberikan lebih banyak kendali kepada penghuninya.

## **BAB 6**

### **DESAIN BANGUNAN CERDAS UNTUK KESEJAHTERAAN MANUSIA**

Tujuan dari bab ini adalah untuk menyajikan bagaimana kecerdasan buatan (AI) dapat digunakan dalam bangunan cerdas. Gagasan teoritis dasar mengenai teknik AI didukung dengan contoh-contoh praktis tentang bagaimana sistem pakar, logika fuzzy, jaringan saraf buatan, dan komputasi evolusioner dapat digunakan dalam desain bangunan cerdas, untuk mencapai tujuan utama: kesejahteraan manusia dan efisiensi energi bangunan.

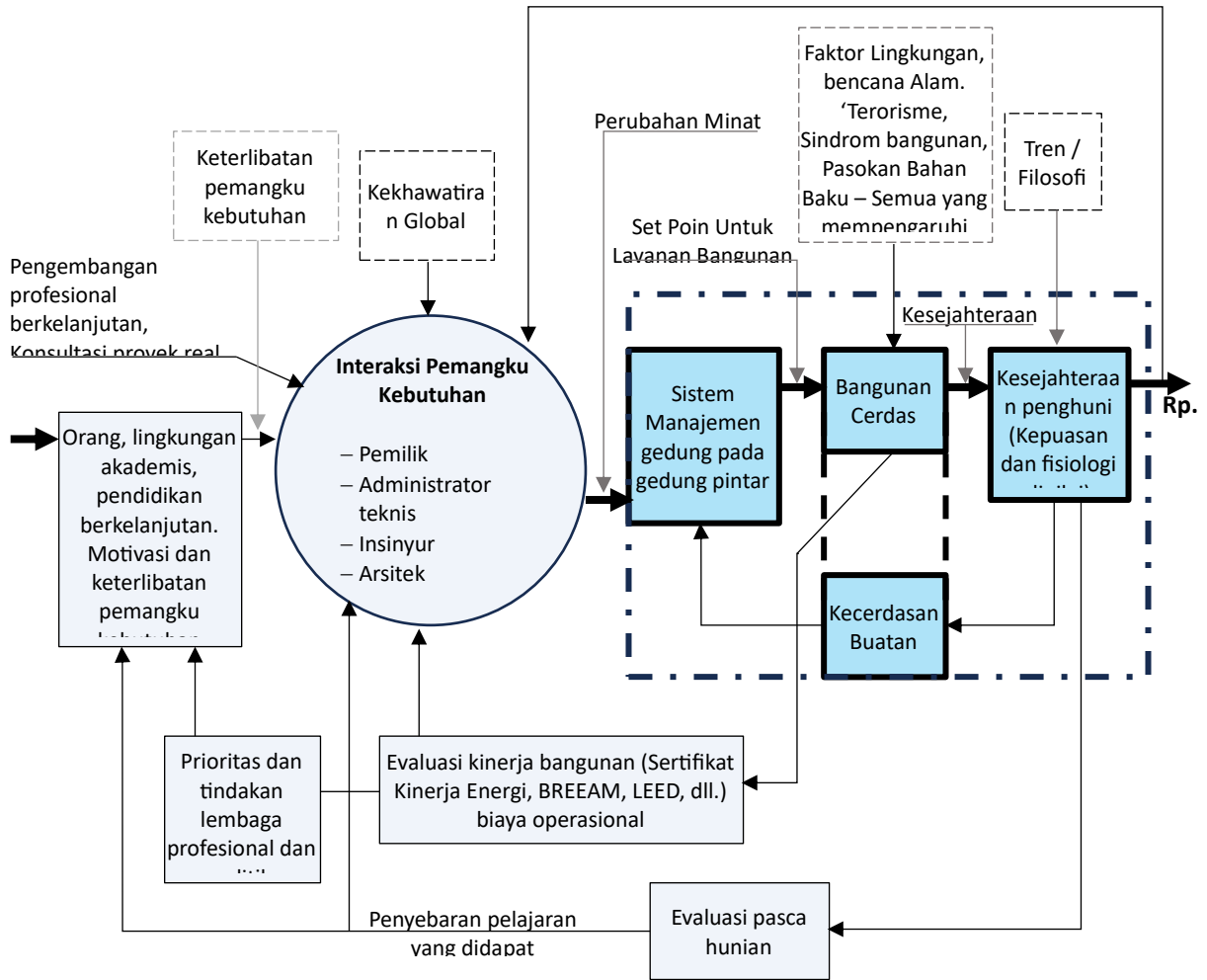
#### **6.1. PENDAHULUAN**

Teknologi selalu memengaruhi cara bangunan dibangun. Teknologi juga akan memengaruhi cara bangunan cerdas dibangun, karena keberhasilan pengembangan teknologi komputasi, perangkat keras, dan perangkat lunak selama beberapa dekade terakhir telah merambah ke area kontrol dan peralatan bangunan. Dari sudut pandang perangkat keras, miniaturisasi teknologi telah menghasilkan daya pemrosesan yang lebih besar pada area permukaan chip yang sama, sementara peningkatan jumlah unit yang terjual telah membuat teknologi menjadi lebih terjangkau.

Situasinya sedikit berbeda terkait perangkat lunak yang digunakan dalam bangunan, karena seorang insinyur perangkat lunak perlu memiliki gelar dalam sistem layanan bangunan untuk dapat mengabstraksikan cara kerja bangunan dan membuat perangkat lunak untuk kontrol bangunan. Oleh karena itu, masih ada jalan panjang yang harus ditempuh hingga potensi penuh teknologi komputasi canggih digunakan dalam skala besar dalam kontrol bangunan cerdas, sebagian karena teknologinya sendiri dan sebagian karena kepentingan para pemangku kepentingan.

Sampai saat ini, para pemangku kepentingan telah berfokus pada peningkatan efisiensi energi melalui isolasi termal yang lebih baik dan sistem otomasi bangunan yang menggunakan teknologi komputasi biasa. Namun, kini terjadi pergeseran dalam cara pandang terhadap manusia dan bangunan, dari sekadar 'budak' menjadi sumber daya terpenting suatu organisasi. Selain itu, manusia dianggap sebagai faktor terpenting berikutnya dalam meningkatkan efisiensi energi suatu bangunan.

Yang dibutuhkan adalah teknologi yang menghubungkan dan menyesuaikan bangunan dengan kebutuhan penghuninya, teknologi yang membuat bangunan belajar dari tindakan penghuninya, teknologi yang membantu perancang bangunan dengan pengetahuan dari para ahli dan kode bangunan, teknologi yang mengoptimalkan bentuk dan cara pengoperasian bangunan, dan bahkan teknologi yang menerjemahkan bahasa alami penghuni menjadi bahasa/sinyal yang dapat digunakan oleh sistem kontrol bangunan. Teknologi perangkat lunak semacam itu ada kecerdasan buatan (AI).



**Gambar 6.1 Model Konseptual Umum Untuk Proses Antara Manusia Dan Bangunan Cerdas.**

Bab ini membahas AI dan memberikan contoh bagaimana setiap teknik AI dapat digunakan saat merancang bangunan cerdas yang dapat mengoptimalkan kesejahteraan manusia dan efisiensi energi bangunan. Karena tiga konsep besar dalam judul (AI, bangunan cerdas, dan kesejahteraan) tidak dapat dibahas secara mendalam dalam bab singkat ini, pembaca didorong untuk mempertimbangkan teks ini sebagai titik awal untuk studi individualnya sendiri.

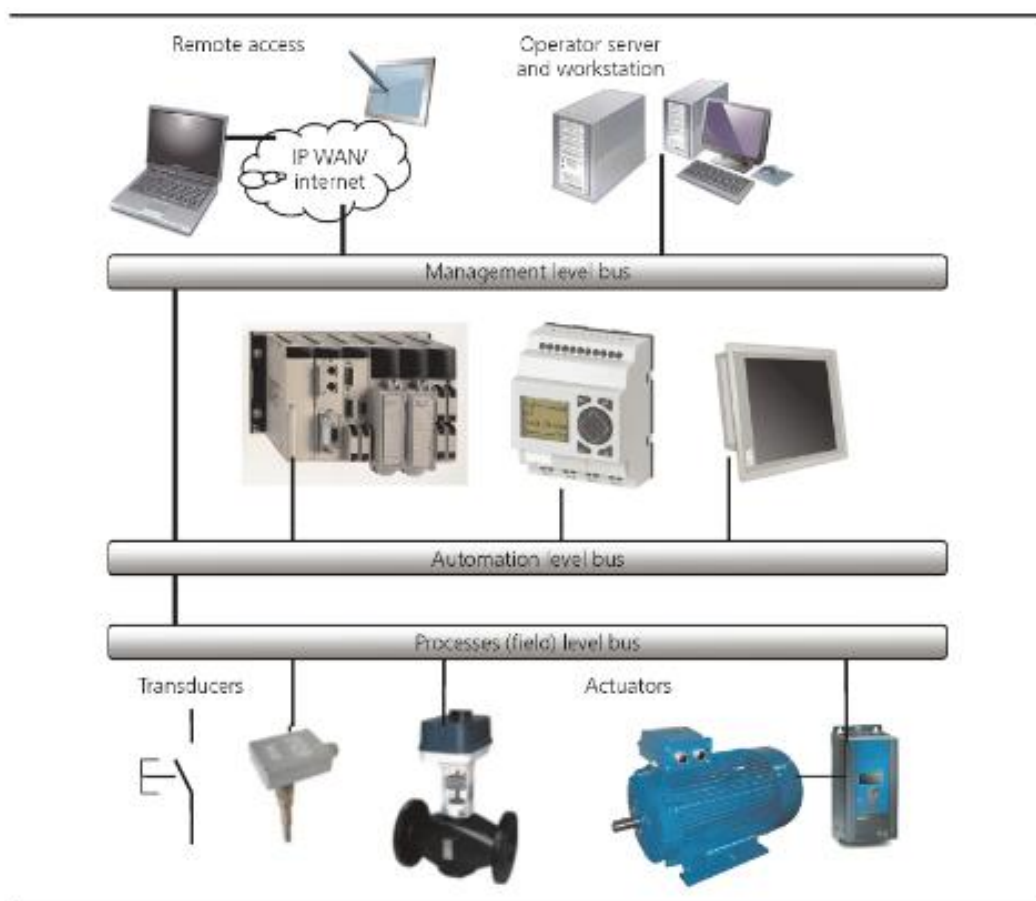
Tujuan bab ini adalah untuk menyajikan bagaimana AI dapat digunakan dalam bangunan cerdas sebagai sarana untuk mencapai kesejahteraan bagi penghuninya. Pembaca diberikan gambaran umum tentang proses interaksi yang kompleks antara bangunan cerdas dan manusia, dan di mana AI dapat digunakan dalam interaksi ini. Gambar 6.1 menunjukkan interaksi ini secara skematis. Skema ini memiliki beberapa putaran umpan balik untuk menggambarkan fakta bahwa penyesuaian dan pembelajaran sistem dicapai melalui koneksi umpan balik antara output (uang yang dihasilkan oleh manusia dan aktivitas mereka di dalam bangunan) dari sistem dan keragaman input dan gangguan yang memengaruhi kesejahteraan penghuni dengan satu atau lain cara.

Saat ini, kualitas bangunan dinilai melalui evaluasi pascahunian, Sertifikat Kinerja



Energi, LEED, BREEAM, dan skema penilaian lainnya. Para pemangku kepentingan dan peneliti akademis menerima hasil dari skema penilaian ini dan dengan demikian mereka mempelajari apa yang berjalan dengan baik dan apa yang harus ditingkatkan saat merancang bangunan. Cara paling sederhana bagi para pemangku kepentingan untuk mengubah cara kerja bangunan adalah dengan bertindak pada sistem manajemen bangunan. Dapat dikatakan bahwa ini adalah cara bangunan belajar, tetapi rute ini membutuhkan waktu yang lama, mungkin bertahun-tahun, untuk membuat perubahan pada kualitas bangunan.

Oleh karena itu, untuk memperbaiki situasi saat ini, umpan balik yang lebih cepat untuk pembelajaran dan penyesuaian kualitas lingkungan dalam ruangan dirancang sebagai umpan balik kecil yang berisi AI. Blok di sisi kanan pada Gambar 6.1 digambarkan sebagai blok individual (AI, sistem manajemen bangunan, bangunan cerdas, dan status kesejahteraan) hanya untuk menggarisbawahi fungsionalitasnya. Nilai parameter lingkungan dalam ruangan diukur dan diproses menggunakan logika fuzzy, dipelajari oleh jaringan saraf tiruan, dan akhirnya digunakan sebagai masukan ke dalam sistem manajemen bangunan.



**Gambar 6.2 Struktur sistem otomatis dan terdistribusi hierarkis**

Menurut standar yang dikeluarkan oleh CEN/TC 247 Building Automation, Controls and Building Management, sistem manajemen gedung terdiri dari tiga lapisan: tingkat manajemen

atas, tingkat otomatisasi menengah, dan tingkat bawah yang disebut tingkat lapangan atau proses. Informasi pada tingkat manajemen diproses oleh komputer, disimpan dalam basis data, dan diteruskan ke tingkat otomatisasi yang berisi komputer logika terprogram. Titik setel untuk berbagai sistem layanan gedung ditetapkan pada tingkat ini, dan perangkat pada tingkat otomatisasi bertindak pada perangkat dari tingkat lapangan (proses).

Perangkat pada tingkat lapangan (relai, perlengkapan penerangan, transduser, motor untuk pompa, katup, kipas, dll.) menghasilkan perubahan pada parameter lingkungan gedung. Karena peningkatan daya pemrosesan, AI dapat ditanamkan pada setiap tingkat sistem manajemen gedung. Karena ada banyak faktor pengganggu yang bekerja pada gedung, algoritma genetika harus mengoptimalkan kombinasi titik setel untuk faktor lingkungan dalam ruangan sehingga efisiensi energi tercapai. Karena sistem ini bekerja secara berulang, mengadaptasi bangunan dengan preferensi penghuninya melalui penggunaan AI, sistem ini dianggap adaptif, dan bangunan yang menggunakan sistem kontrol dengan AI dapat dianggap sebagai bangunan cerdas.

Definisi bangunan cerdas, dari sudut pandang teknologi yang digunakannya dan layanan yang ditawarkannya, adalah: Bangunan cerdas adalah bangunan yang menggunakan kecerdasan buatan untuk mengontrol sistem dan peralatannya, untuk menawarkan lingkungan yang sehat bagi penghuninya yang mendukung kesejahteraan dan peningkatan produktivitas, sekaligus hemat energi dan rendah polusi. Sekarang setelah kita memperkenalkan AI dan mengusulkan definisi untuk bangunan cerdas yang menekankan penggunaan AI, kita perlu membuat sedikit perbedaan antara karakteristik kedua jenis bangunan cerdas yang muncul dari penggunaan AI dengan memperkenalkan istilah baru bangunan cerdas yang terus berkembang.

Istilah ini harus digunakan untuk bangunan yang berfungsi lebih baik seiring berjalannya waktu dan bangunan tersebut digunakan, dibandingkan dengan bangunan cerdas yang relatif sederhana, yang memiliki tingkat kecerdasan yang konstan yang disertakan di dalamnya sejak tahap desain. Kedua jenis bangunan cerdas (yang berkembang dan yang sederhana) menggunakan AI, tetapi yang berkembang menggunakan teknik komputasi evolusioner (selain teknik AI lainnya) yang meningkatkan solusi yang ditemukan untuk menjalankan sistem layanan gedung. Kesimpulannya, tujuan penggunaan semua teknologi ini adalah untuk membuat gedung belajar dan beradaptasi dengan kebutuhan penghuninya, dan untuk memaksimalkan kesejahteraan penghuni dan efisiensi energi gedung.

## **6.2. KECERDASAN BUATAN**

AI merupakan teknik dari ilmu komputer yang mencoba meniru kecerdasan manusia. Pada awalnya, tujuan AI adalah membuat komputer melakukan hal-hal yang, jika dilakukan oleh manusia, akan dianggap cerdas dan, lebih khusus lagi, meniru perilaku manusia. Pada periode pengembangan kedua, otak buatan dibuat untuk memungkinkan AI berevolusi sendiri. Saat ini, AI digunakan untuk aplikasi waktu nyata dan otak buatan memiliki tubuhnya sendiri sehingga dapat bergerak di dalam dan memahami dunia dengan caranya sendiri (misalnya mobil tanpa pengemudi, kendaraan militer tanpa awak). Cara terbaik untuk memperkenalkan

teknik-teknik yang termasuk dalam istilah umum AI adalah dengan memikirkan atribut-atribut yang menggambarkan kecerdasan manusia (alami).

Kemampuan beradaptasi dengan situasi baru. Kemampuan untuk bernalar dengan ketidakpastian (sistem pakar dan logika fuzzy), memahami hubungan antara fakta. Memahami makna-makna baru, mengenali kebenaran, belajar (jaringan saraf tiruan), meningkatkan kinerja berdasarkan pengalaman sebelumnya (algoritma genetik). Beberapa atribut ini dapat dicapai melalui AI, jadi jika suatu sistem memiliki beberapa atribut ini, maka sistem tersebut dianggap cerdas. Kecerdasan suatu sistem (dalam hal ini komputer, tetapi maknanya dapat diperluas ke sebuah bangunan) diuji menggunakan uji Turing yang terkenal, yang diusulkan oleh matematikawan Alan Murchison Turing pada tahun 1947.

Dalam uji ini, komputer dan manusia berkomunikasi dengan hakim manusia, yang tidak dapat melihat apakah yang menjawab pertanyaan adalah manusia atau komputer. Jika komputer berhasil, melalui jawaban yang diberikannya, untuk mengelabui hakim agar percaya bahwa yang menjawab adalah manusia, maka komputer tersebut dianggap cerdas. Namun, pencipta logika fuzzy, Lotfi Zadeh, menganggap bahwa uji Turing tidak relevan karena, jika seseorang meminta komputer untuk membuat ringkasan diskusi selama 5 menit terakhir, komputer tidak akan dapat melakukannya, karena tidak memiliki satu bentuk kecerdasan pemahaman akan arti kata-kata.

Pembahasan terperinci tentang AI dan atribut kecerdasan berada di luar cakupan bab ini. Namun, tujuannya adalah untuk membuat pembaca menyadari keberadaan AI dan manfaat yang ditawarkannya jika digunakan dalam desain bangunan cerdas. Empat teknik AI akan disajikan secara singkat: sistem pakar, logika fuzzy, jaringan saraf tiruan, dan komputasi evolusioner.

### **Sistem pakar**

*Jika saya melihat lebih jauh, itu karena saya berdiri di atas bahu para raksasa.*

*Isaac Newton*

Orang yang bekerja di bidang aktivitas apa pun tidak terlahir sebagai pakar alami, tetapi, seperti yang dikatakan Sir Isaac Newton, mereka meningkatkan pengetahuan mereka dengan belajar dari karya para pendahulu mereka. Sistem pakar adalah perangkat lunak pada komputer yang mencoba meniru proses penalaran manusia, berdasarkan pengetahuan mendalam tentang pemecahan masalah, bukan langkah-langkah yang diperlukan untuk menyelesaikannya. Pengetahuan ini diperoleh dengan mewawancarai sejumlah besar pakar manusia dalam domain tertentu.

Sistem seperti itu disebut 'sistem berbasis aturan', 'sistem berbasis pengetahuan' atau, secara lebih umum, 'sistem pakar'. Sistem pakar berguna dalam domain di mana pengetahuan dan kualifikasi yang dibutuhkan oleh pakar manusia untuk memecahkan masalah meningkat secara eksponensial, atau ketika keahlian sangat langka dan karenanya mahal untuk menggunakan pakar secara langsung. Hal ini berlaku dalam akuntansi, manajemen, diagnosis dalam kedokteran, pemilihan komponen PC/elektronik yang kompatibel, pemecahan masalah teknik, perancangan bangunan cerdas, dll. Mengenai perancangan sistem layanan bangunan,

seorang insinyur berpengalaman mungkin memiliki pengetahuan yang luas dan mendalam tentang semua norma dan peraturan untuk layanan bangunan.

Seorang insinyur pemula mungkin hanya mengkhususkan diri dalam satu jenis sistem, misalnya listrik, dan hanya memiliki pengetahuan dasar tentang yang lain. Oleh karena itu, akan berguna bagi pemula untuk dibantu oleh komputer yang menjalankan sistem pakar, untuk mengimbangi kurangnya pengalamannya sehubungan dengan bangunan cerdas, karena sistem pakar akan berkinerja lebih baik daripada pemula, dan akan sama baiknya dengan beberapa pakar manusia dalam bidang pengetahuan tertentu. Bagian dari sistem tempat pengetahuan disimpan disebut basis pengetahuan dan direpresentasikan dalam bentuk aturan produksi, yang sering disebut aturan if-then, dengan struktur sebagai berikut:

***IF (kondisi) THEN (kesimpulan).***

Misalnya, aturan dalam sistem pakar dapat berupa:

***Jika lampu lalu lintas berwarna merah  
Maka hentikan mobilnya***

Rincian masalah yang harus dipecahkan dimuat ke dalam memori kerja. Berdasarkan data masukan ini, mesin inferensi melakukan pekerjaan untuk mengeksplorasi aturan dalam basis pengetahuan dan mengaktifkan aturan yang sesuai untuk sampai pada kesimpulan tentang masalah yang sedang dipertimbangkan. Terkadang, sistem pakar berhenti dan, untuk melanjutkan proses penalaran, memerlukan data masukan baru dari pengguna.

Modul eksplikatif digunakan untuk berkomunikasi dengan pengguna dan untuk menyajikan (dengan cara yang agak seperti pohon pencarian) justifikasi untuk proses penalaran yang digunakan oleh mesin inferensi. Strategi kontrol merupakan elemen penting dari siklus inferensi, dan dalam sistem berbasis aturan, ia memiliki dua tugas: (1) untuk menetapkan kriteria pemilihan aturan, dan (2) untuk mengatur arah yang akan diterapkan pada rantai aturan: (maju atau mundur).

Ketika proses penalaran menggunakan forward chaining, sisi kiri aturan diidentifikasi dengan fakta-fakta dalam memori kerja, sedangkan dalam backward chaining sisi kanan aturan diidentifikasi dengan fakta-fakta dalam memori kerja dan sisi kiri aturan perlu dipenuhi. Berikut adalah contoh lain untuk klarifikasi. Bayangkan kita sedang membangun sistem pakar untuk merancang gedung pencakar langit. Setelah mewawancarai para ahli di domain ini, kami telah memperoleh pengetahuan yang mengarah ke ribuan aturan produksi, tiga di antaranya (yang sepenuhnya dibuat-buat) adalah:

Aturan 1008

- Jika bangunan ditempatkan di pusat kota
- Dan tidak ada tempat parkir umum di dekatnya
- Maka parkir berada di ruang bawah tanah

Aturan 1127

- Jika parkir berada di ruang bawah tanah
- Dan jumlah mobil di bawah 80
- Maka parkir berada di satu lantai

#### Aturan 1129

- Jika parkir berada di ruang bawah tanah
- Dan jumlah mobil per lantai di atas 80
- Dan hanya satu lantai untuk parkir
- Maka gunakan lift mobil untuk parkir

Dalam kasus ini, forward chaining adalah cara alami dalam melakukan sesuatu – fakta bahwa bangunan akan dibangun di pusat kota akan memicu aturan 1008, dan kesimpulannya dapat memicu aturan 1127 dan 1129. Jika jumlah mobil ditentukan, hanya satu aturan yang akan dipicu; jika jumlah mobil tidak ditentukan, sistem akan berhenti dan menanyakan kepada pengguna tentang jumlah mobil. Tujuan dari forward chaining adalah untuk menemukan semua hal yang dapat disimpulkan dari serangkaian fakta yang diberikan.

Dalam mode backward-chaining, sistem pakar digunakan untuk melakukan diagnosis atau memverifikasi desain. Dalam contoh kita, kita dapat menggunakan sistem pakar untuk memverifikasi apakah desain bangunan sudah benar. Misalnya, diberikan gedung pencakar langit dengan tempat parkir di ruang bawah tanah pada satu lantai, inferensi backward-chaining akan menarik semua aturan yang memiliki konsekuensi ini. Sistem pakar kemudian akan beralasan bahwa kedua kondisi tersebut harus benar agar desain ini valid.

Proses penalaran akan berlanjut, dengan menggunakan aturan lebih lanjut, dan hasil akhirnya akan menunjukkan, antara lain, bahwa bangunan tersebut diharapkan dibangun di pusat kota, di area yang tidak tersedia tempat parkir umum. Forward and backward chaining dapat direpresentasikan secara grafis (bayangkan pohon pencarian), sehingga sistem pakar memiliki keunggulan, dibandingkan dengan bentuk AI lainnya, yaitu dapat menyajikan proses penalaran dengan sangat jelas. Selain itu, karena struktur sistem pakar terpisah dari data, struktur sistem pakar yang sama dapat digunakan dalam domain yang sangat berbeda.

Yang akan berbeda hanyalah aturannya sendiri dan bagaimana aturan tersebut digabungkan. Sistem pakar untuk merancang bangunan cerdas harus berisi pengetahuan tentang bangunan cerdas dalam basis pengetahuannya. Kerugian utama sistem pakar muncul dari fakta bahwa sistem tersebut didasarkan pada pengetahuan yang diperoleh dari pakar manusia. Pengetahuan ini, dalam sebagian besar kasus, tidak lengkap dan mengandung tingkat ketidakpastian, baik karena sebagian pengetahuan tersirat bagi pakar manusia dan dengan demikian inputnya ke komputer dihilangkan, atau karena pengetahuan tersebut sulit dirumuskan dan disusun menjadi aturan produksi. Untuk mengatasi ketidakpastian yang disebabkan oleh input manusia, diperlukan teknik baru, dan ini disediakan dalam bentuk logika fuzzy.

#### Logika fuzzy

*Lebih baik mendekati benar daripada salah persis.*

*Warren Buffet*

Di bagian ini, pertama-tama kita akan melihat alasan mengapa logika fuzzy diperlukan untuk mengoperasikan kontrol bangunan, lalu memberikan contoh untuk mengilustrasikan teori di baliknya. Dalam sistem pakar, aturan dipicu atau tidak, tergantung pada apakah kondisinya benar atau salah. Dalam kehidupan nyata, jawaban tidak hanya benar atau salah, warna tidak hanya putih atau hitam, tetapi juga abu-abu. Di sebuah gedung, misalnya, seorang penghuni mungkin berkata, 'Rasanya agak dingin', atau 'Saya ingin lingkungan yang lebih hangat', bukan 'Saya merasa suhu udara  $10,5^{\circ}\text{C}$ ' atau 'Saya ingin  $27,5^{\circ}\text{C}$ '.

Ini karena orang tidak dapat mengukur suhu secara akurat, dan proses penalaran kita bekerja sangat baik dengan ketidakpastian. Namun, jika menyangkut kontrol sistem pemanas di sebuah gedung, perintah 'dingin' atau 'hangat' dari penghuni harus diubah menjadi nilai numerik agar dapat digunakan oleh sistem kontrol elektronik gedung. Logika fuzzy juga digunakan dalam sistem kontrol, karena sinyal listrik dapat terpengaruh oleh derau, akibat masalah kompatibilitas elektromagnetik, sehingga nilai pengukuran menjadi tidak pasti. Banyak sistem nyata yang melibatkan ketidakpastian, non-linieritas, dan variasi dalam mode operasi dan lingkungannya.

Inilah sebabnya mengapa sistem kontrol modern harus tangguh, dan ini dapat dicapai dengan penggunaan logika fuzzy (Caluianu, 2000). Keuntungan utama kontrol fuzzy adalah dapat membuat abstraksi dari model formal proses yang akan dikontrol, dan yang dibutuhkan hanyalah pengetahuan kuantitatif para ahli. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6.3, prinsip dasar di balik penggunaan logika fuzzy dalam kontrol proses tingkat tinggi adalah karakteristik statis (kurva kontrol) dari proses dapat didekati dengan menutupinya dengan potongan-potongan. Setiap potongan mewakili aturan fuzzy.

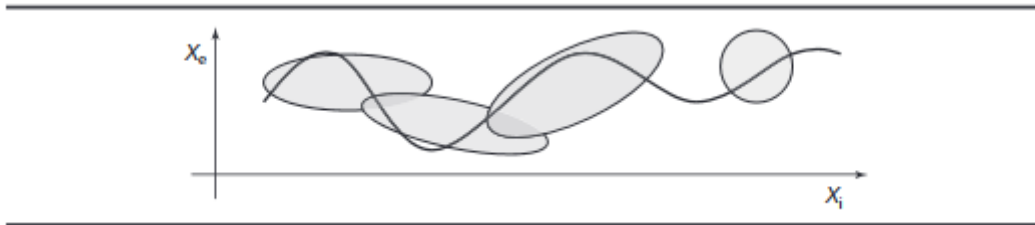
Jika kita mempelajari kurva pada Gambar 6.3 dengan saksama, kita dapat melihat bahwa kurva tersebut memiliki kemiringan naik dan turun. Ini adalah situasi yang berbahaya, karena dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Ketidakstabilan dapat dihindari dengan penggunaan input tambahan pada pengontrol fuzzy, seperti laju perubahan variabel yang dikontrol. Logika fuzzy adalah teknik AI yang mencoba meniru proses penalaran manusia termasuk ketidakpastian yang melekat padanya. Logika fuzzy menangani ketidakpastian dalam pengetahuan dan input, dan memiliki fondasinya dalam apa yang disebut 'variabel linguistik' (misalnya dingin, hangat). Oleh karena itu, ini adalah cara untuk membuat komputer membuat keputusan lebih seperti manusia. Logika fuzzy menggunakan himpunan fuzzy dan aturan fuzzy untuk memodelkan dunia dan membuat keputusan tentangnya.

Himpunan adalah kumpulan item. Himpunan fuzzy adalah kumpulan item terkait yang termasuk dalam himpunan itu pada derajat yang berbeda. Sebagai contoh sederhana untuk memahami istilah yang digunakan dalam logika fuzzy, pertimbangkan rekan kerja yang bekerja di sebuah kantor. Rekan kerja adalah himpunan, sedangkan mereka yang bekerja di kantor lain adalah himpunan yang lain. Setiap kolega merupakan satu item dalam himpunan. Kami ingin mengetahui siapa yang sudah tua. Kami mengurutkan semua orang dari kantor berdasarkan usia mereka, lalu menetapkan nilai, misalnya 45 tahun, sebagai batas usia. Batas ini disebut batas tegas, dan membagi kolega menjadi muda dan tua. Dalam logika konvensional ini, seseorang yang berusia 44 tahun dianggap muda, dan seseorang yang berusia 46 tahun

dianggap tua.

**Jika** usia muda

**Dan** jenis kelamin laki-laki

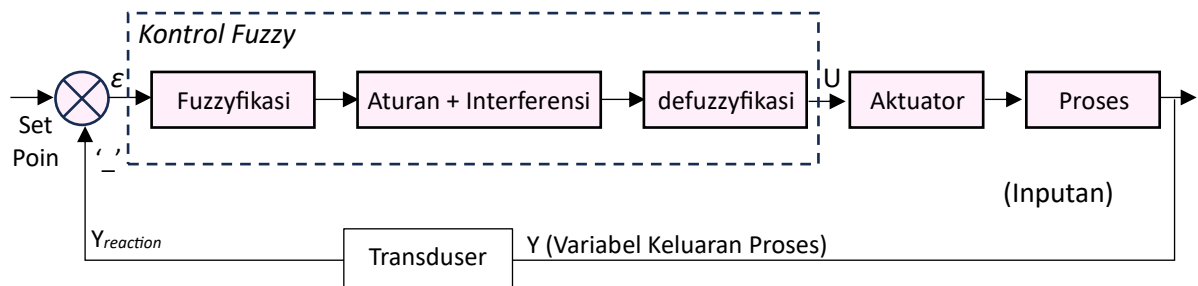


**Gambar 6.3 Teorema Aproksimasi Fuzzy.  $x_i$  Adalah Variabel Input Dan  $x_o$  Adalah Variabel Output Dari Suatu Proses.**

Oleh karena itu, batas tegas tidak banyak bicara. Jika kami menerapkan logika fuzzy, ketergantungan apa pun pada ambang batas (misalnya batas tegas usia 45 tahun) dihilangkan, dan semua orang di kantor dapat menjadi muda, dewasa, atau tua dengan tingkat keanggotaan yang berbeda (muda, dewasa, dan tua adalah fungsi keanggotaan). Menggunakan logika fuzzy untuk mengkategorikan data dalam himpunan memberikan detail lebih lanjut tentang item dalam himpunan. Informasi dari himpunan fuzzy dapat digabungkan menggunakan aturan untuk membuat keputusan berdasarkan informasi ini.

Aturan fuzzy mirip dengan aturan jika-maka dalam sistem pakar, hanya saja kali ini aturan tersebut dikaitkan dengannya dengan tingkat keanggotaan. Aturan fuzzy mengambil fakta yang sebagian benar, mencari tahu sejauh mana kebenarannya, lalu mengambil fakta lain yang membuatnya benar hingga sejauh itu. Dengan demikian, sejumlah aturan dapat digabungkan dan keputusan dapat dibuat. Seluruh proses ini disebut inferensi. Gambar 6.4 Struktur loop kontrol input tunggal dan output tunggal menggunakan pengontrol fuzzy. 1 adalah perbedaan antara titik setel dan output terukur ( $Y_r$ ),  $U$  adalah nilai perintah untuk aktuator.

Persimpangan  
Penjumlahan



**Dan** tinggi adalah tinggi

**Maka** olahraga yang direkomendasikan adalah basket

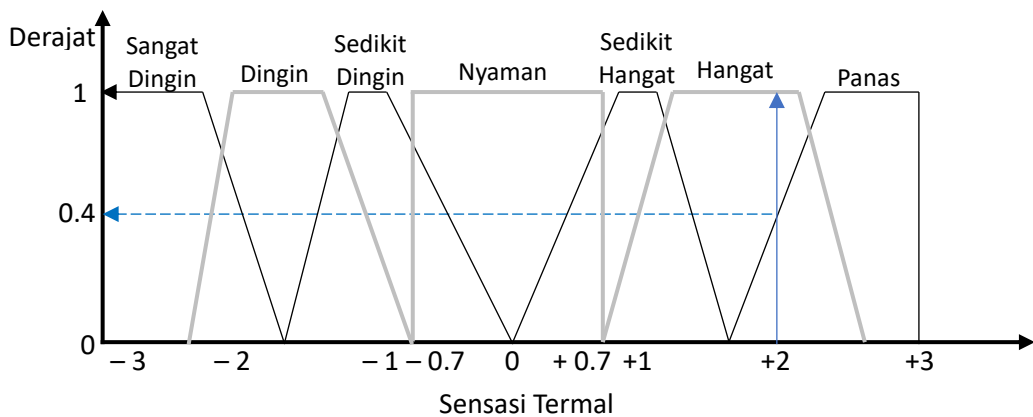


Dengan menggunakan inferensi fuzzy, kita mengambil hal-hal yang kita ketahui (misalnya usia, jenis kelamin, tingkat stres, hobi) dan mencari tahu hal-hal yang tidak kita ketahui sebelumnya, misalnya rekomendasi untuk olahraga yang cocok. Peningkatan dalam daya pemrosesan mikrokontroler dan pengembangan dalam AI mengarah pada jenis pengontrol baru yang menggunakan logika fuzzy, yang disebut pengontrol fuzzy. Pengontrol semacam itu sering digunakan untuk mengendalikan sistem HVAC. Struktur pengontrol fuzzy digambarkan dalam Gambar 6.4.

Pengontrol menerima masukan yang jelas (nilai numerik yang tepat), seperti deviasi suhu yang diukur dari titik yang ditetapkan. Pengontrol kemudian melakukan fuzzyfikasi masukan, dengan menetapkan derajat keanggotaan dari beberapa himpunan fuzzy yang telah ditetapkan dalam pengontrol. Misalnya, suhu ruangan yang diukur (sensasi termal, lebih spesifiknya) mungkin memiliki keanggotaan 40% dari himpunan 'panas' dan keanggotaan 100% dari himpunan 'hangat', seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6.5.

Fungsi keanggotaan untuk kondisi kenyamanan termal dan sensasi termal, yang digambarkan pada Gambar 6.5, dibangun berdasarkan skala sensasi termal tujuh poin dan kategori kenyamanan termal. Fungsi keanggotaan dapat memiliki bentuk yang berbeda (segitiga, trapesium, sigmoid, gaussian, dll.), dan penggunaannya bergantung pada hasil yang diharapkan. Setelah derajat keanggotaan ditetapkan, pengontrol menerapkan aturan inferensi, yang berbentuk 'IF (ruangan hangat) THEN (atur pendinginan ke setengah daya)'. Ini menghasilkan keluaran yang memiliki keanggotaan beberapa set keluaran fuzzy.

Keluaran ini didefuzzifikasi untuk menghasilkan nilai keluaran yang tajam (U pada Gambar 6.4), yang digunakan untuk mengendalikan sistem. Terkadang, beberapa aturan mungkin lebih penting daripada yang lain, dan metode defuzzifikasi adalah metode rata-rata tertimbang, yang disebut sebagai metode 'pusat gravitasi'. Gambar 6.5 Fungsi keanggotaan fuzzy untuk kategori lingkungan termal, berdasarkan EN ISO 7730 : 2005. Tidak ada suhu dalam derajat Celsius yang ditandai pada sumbu horizontal karena kenyamanan termal bergantung pada banyak faktor lingkungan, bukan hanya suhu udara. Nilai sensasi termal memperhitungkan semua faktor yang bergantung padanya. Sebagai sesuatu yang dialami dan dijelaskan oleh seorang individu, kenyamanan bersifat subjektif, tidak pasti, dan ditangani menggunakan logika fuzzy.



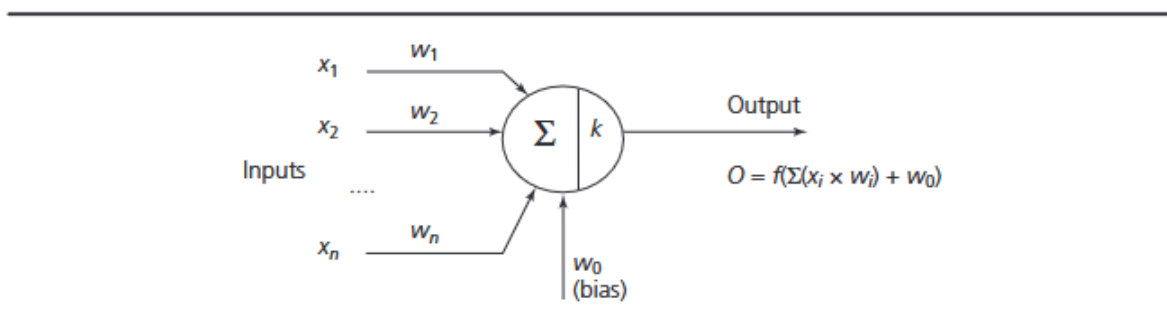


Kesimpulannya, himpunan fuzzy memodelkan konsep dan objek di dunia nyata, menangani ketidakpastian baik dalam pengetahuan yang disimpan maupun dalam input sistem. Himpunan fuzzy adalah istilah yang digunakan oleh aturan fuzzy. Aturan menggunakan konsep manusia (kata-kata), bukan pengukuran ketat (angka), untuk menggambarkan item. Dalam logika fuzzy, pengetahuan direpresentasikan oleh himpunan fuzzy yang dikombinasikan menggunakan aturan fuzzy. Ketika semua informasi ini dipertimbangkan, keputusan dapat dibuat, dengan menggunakan logika fuzzy.

**Jaringan saraf tiruan**

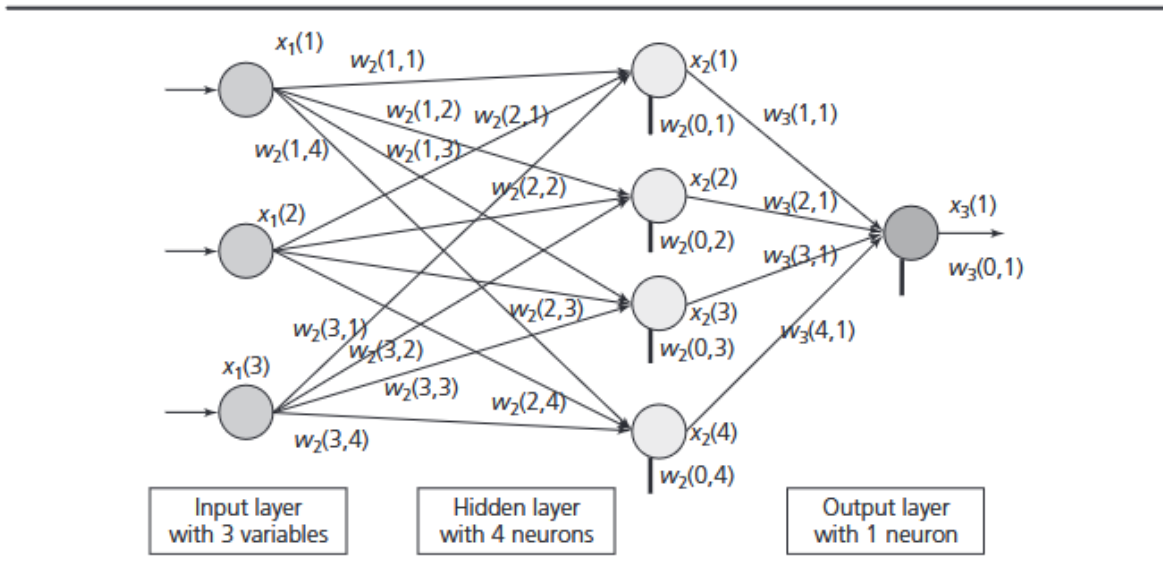
Jaringan saraf tiruan (ANN) adalah teknik AI yang mencoba mereproduksi di komputer cara otak manusia belajar melalui pengalaman. Karena ANN mampu belajar dari contoh, maka ANN bersifat adaptif, dan tidak memerlukan pemahaman atau model dari proses yang sedang dipelajarinya. Karena bersifat adaptif dan memiliki daya pemrosesan yang diperlukan untuk menangani kumpulan data besar, ANN dapat diterapkan di tempat yang memiliki banyak data yang tersedia untuk pelatihan.

ANN dapat digunakan untuk klasifikasi (misalnya deteksi penipuan kartu) dan pengenalan, pengenalan dan sintesis ucapan, antarmuka adaptif antara manusia dan sistem fisik yang kompleks, perkiraan fungsi, kompresi gambar, memori asosiatif, pengelompokan tanpa pengawasan, prediksi dan pemodelan sistem non-linier.



**Gambar 6.6 Model Neuron Buatan Linier Untuk Fungsi Aktivasi Linier  $F = K = 1$**

Gambar 6.7 Sebuah ANN.  $x_r(i)$  adalah output dari node ke- $i$  dari lapisan ke- $r$ ,  $w_r(i, j)$  adalah bobot koneksi ke- $i$  menuju node ke- $j$  dari lapisan ke- $r$  untuk bias  $i = 0$ ; bias adalah ambang batas aktivasi neuron.



Gambar 6.7 Struktur Jaringan Saraf Tiruan dengan 3 Lapisan (Input, Hidden, dan Output)

Elemen dasar ANN adalah elemen pemrosesan, yang disebut neuron buatan, sama seperti elemen dasar otak adalah neuron biologis. Neuron biologis memiliki masukan (dendrit), dan demikian pula neuron buatan memiliki masukan, berlabel  $x_1, x_2, x_n$ . Banyak neuron buatan dapat dihubungkan antara masukan ini untuk membentuk ANN. Setiap koneksi antara dua neuron yang berurutan memiliki bobot terkait ( $w_1, w_2, w_n$ ), yang disesuaikan selama proses pembelajaran.

Model umum neuron buatan disajikan dalam Gambar 6.6. Keluaran neuron bergantung pada fungsi aktivasi yang diterapkan pada jumlah tertimbang masukan, dikurangi istilah bias. Hasil ini dibandingkan dengan ambang aktivasi (bias) dan, jika lebih besar, neuron akan menyala, seperti neuron hidup menyala ketika masukan yang diproses mencapai nilai yang telah ditentukan sebelumnya. Keluaran dari satu neuron menjadi masukan untuk yang berikutnya.

Fungsi aktivasi neuron buatan dapat berupa linear atau non-linear: langkah satuan, sigmoid, linear sepotong-sepotong, Gaussian, identitas. Penghubungan banyak neuron menghasilkan ANN, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.7, yang dicirikan oleh jumlah masukan, jumlah keluaran, jumlah neuron dalam lapisan tersembunyi, jumlah lapisan tersembunyi, dan nilai kekuatan koneksi antara dua neuron yang berurutan, yang disebut 'bobot'. Untuk mencapai kinerja terbaik (prediksi paling akurat, secepat mungkin), hal terbaik yang harus dilakukan saat mengonfigurasi dan bekerja dengan ANN untuk pertama kalinya adalah menguji efek modifikasi parameter yang mencirikan ANN spesifik tersebut.

ANN dapat dilatih untuk mempelajari nilai keluaran terkait untuk kumpulan data masukan tertentu; dengan kata lain, ANN dapat dilatih untuk membuat prediksi. Dikatakan tentang ANN bahwa mereka dapat belajar, karena mereka memodifikasi nilai bobot mereka sehingga nilai keluaran yang dihitung cocok dengan keluaran dari set pelatihan. Untuk melatih ANN, satu set data (input dan output) dibagi menjadi rasio sekitar 60% data untuk melatih ANN, 20% untuk validasi ANN dan 20% untuk penggunaan jaringan yang sebenarnya. Untuk

pelatihan, set data yang terdiri dari variabel input dan output yang dinormalisasi disajikan ke jaringan.

Nilai-nilai variabel input dikalikan dengan bobot awal, dijumlahkan pada setiap tingkat neuron, dan, tergantung pada jenis fungsi aktivasi dan tingkat bias, dan neuron dan jaringan akan menghasilkan output. Output yang dihitung ini dibandingkan dengan nilai variabel output dari set data, dan kesalahan dihitung. Kesalahan pelatihan ini kemudian diminimalkan oleh jaringan, menggunakan metode yang berbeda, hingga mencapai nilai minimum. Pada akhir pelatihan yang berhasil, bobot awal jaringan dimodifikasi, dan nilai keluaran yang dihitung untuk sekumpulan data masukan tertentu harus sangat mendekati nilai keluaran dalam kumpulan data asli.

Semakin kecil kesalahan pelatihan, semakin baik prediksinya. Setelah proses pelatihan, jaringan divalidasi menggunakan kumpulan data baru, setelah itu proses ANN dapat digunakan. Kumpulan nilai masukan baru disajikan pada masukan ANN yang telah dilatih, dan hasil dari keluaran akan menjadi keluaran yang diprediksi dari ANN. Di bidang kualitas lingkungan dalam ruangan, ANN dapat digunakan dengan keberhasilan yang baik untuk memprediksi tingkat kesejahteraan, berdasarkan tingkat kepuasan dengan berbagai aspek kualitas lingkungan bangunan, seperti kepuasan dengan kondisi termal, kualitas udara, tingkat kebisingan, kondisi pencahayaan, kualitas perabotan dan desain, dan aspek sosial bangunan (keselamatan saat bekerja setelah jam kerja, keselamatan konstruktif, perpipaan, aspek fasad, dll.).

ANN juga dapat digunakan untuk memprediksi laju pertukaran udara, konsumsi listrik, dll. Demi alasan efisiensi energi, pemanas di gedung publik dan kantor dimatikan pada malam hari. Aplikasi ANN yang menarik lainnya adalah untuk memprediksi saat yang tepat untuk menyalakan sistem pemanas sehingga ketika hari kerja dimulai pukul 8 pagi, suhu dalam ruangan adalah 21,5° C, yang merupakan suhu yang tepat untuk produktivitas tenaga kerja. Beberapa masukan ke ANN yang akan membuat prediksi ini adalah suhu udara luar dan kecepatan angin luar, sedangkan suhu dalam ruangan akan menjadi keluaran ANN. Tanda yang menunjukkan kemungkinan penggunaan ANN adalah adanya sejumlah besar variabel yang berkorelasi (misalnya pengukuran bercap waktu dari sistem manajemen gedung).

### **Komputasi evolusioner (algoritma genetika)**

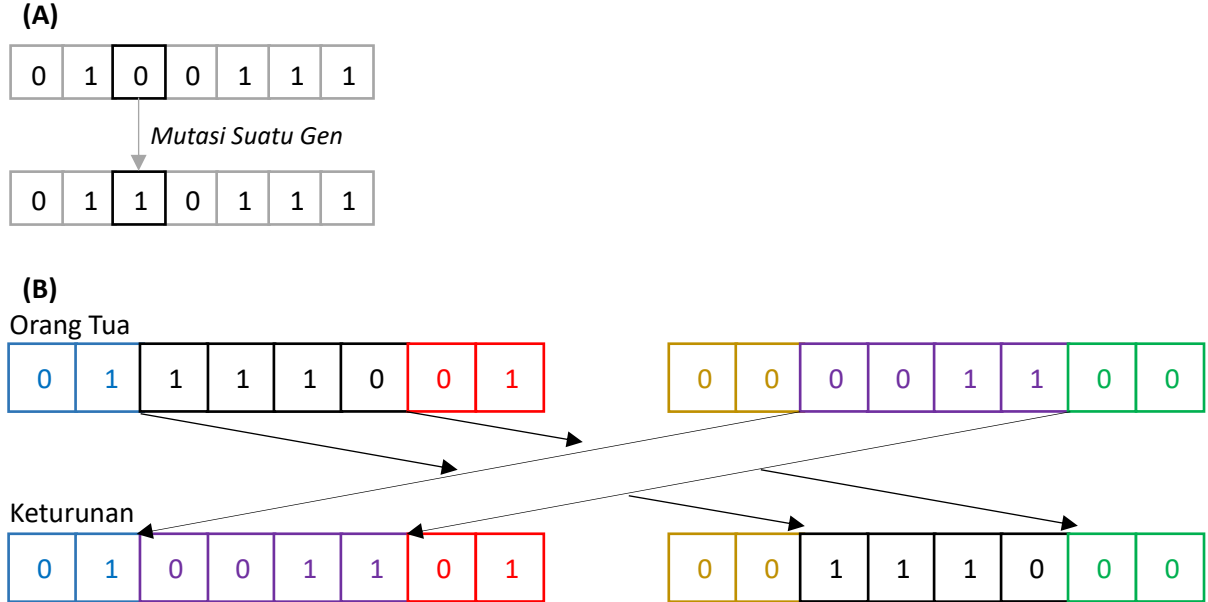
Sejauh ini dalam bab ini kita telah membahas tentang upaya memecahkan masalah dalam hal mencari solusi. Apa yang terjadi jika tidak ada solusi terbaik untuk suatu masalah atau solusi terbaik sulit ditemukan? Inspirasi datang dari studi evolusi biologis, yang mencoba menemukan solusi 'yang mungkin terbaik' untuk suatu masalah yang memenuhi beberapa kriteria, dengan memilih dari sejumlah solusi potensial atau dengan mewujudkan solusi baru yang sebelumnya tidak dipertimbangkan.

Bayangkan algoritma genetika (GA) sebagai sekelompok pendaki gunung yang tidak mengenal bentang alam, tetapi yang mencoba menemukan puncak gunung, bukan dengan berjalan terus-menerus, tetapi dengan upaya terpisah, dengan lompatan kecil. Jika lompatannya terlalu besar, puncak gunung mungkin terlewatkan. Gagasan dasar dalam bagian ini adalah, jika Anda ingin memperoleh desain terbaik untuk sesuatu dengan menyeimbangkan

berbagai parameter, Anda perlu mengoptimalkan (misalnya kombinasi terbaik parameter lingkungan dalam ruangan yang mendukung kesejahteraan, produktivitas, dan efisiensi energi; bagian terbaik untuk sayap pesawat untuk hambatan rendah dan daya angkat tinggi; dll).

Komputasi evolusioner bagus dalam hal pengoptimalan dan juga dapat digunakan untuk penambangan data. Pemrograman genetik juga merupakan teknik komputasi evolusioner, tetapi berada di luar cakupan buku ini. Namun, kami akan memperkenalkan GA, pendekatan komputasi evolusioner yang paling terkenal, sebagai teknik AI yang mencoba meniru proses evolusi alami. Dalam biologi, proses evolusi mengarah pada kelangsungan hidup individu yang paling beradaptasi dengan baik dalam suatu spesies. Seiring waktu, individu yang paling beradaptasi ini kawin, dan dengan demikian terjadi proses genetik persilangan atau mutasi. Individu dengan gen terbaik bertahan hidup dalam proses evolusi dan mewariskan gen mereka ke generasi berikutnya.

Hal yang sama berlaku untuk GA. Data masukan (setiap kemungkinan solusi untuk masalah yang diberikan) dikodekan ke dalam kromosom, yang terbuat dari gen. Pengkodean biner (0 dan 1) dari angka desimal atau negatif sulit dilakukan, dan oleh karena itu untuk masalah rekayasa, pengkodean nilai riil digunakan. Selama proses evolusi perangkat lunak, populasi awal kromosom (juga disebut sebagai individu) dievaluasi. Kromosom yang memiliki skor terbaik memiliki peluang terbaik untuk dipilih untuk evolusi, selama waktu tersebut gen mereka akan mengalami persilangan dan mutasi. Kromosom biasanya dimutasi dengan membuat perubahan acak kecil pada gen kromosom yang dipilih secara acak, tetapi operasi ini jarang terjadi, seperti halnya di alam.



Gambar 6.8 Beberapa Jenis Mutasi (A) Dan Crossover (B)

Dalam persilangan, dua atau lebih solusi kandidat (kromosom) diambil sebagai induk, dan 'keturunan' mereka dibangun dengan menggabungkan kembali bagian-bagian yang berbeda dari induk. Tidak hanya individu-individu terbaik yang akan berevolusi, tetapi juga

beberapa individu yang 'kurang baik', karena tidak ada jaminan bahwa individu-individu terbaik dalam suatu zaman akan menghasilkan solusi-solusi terbaik di generasi-generasi mendatang.

Sebagai hasil dari evolusi, kromosom-kromosom baru akan diproduksi dan populasi awal akan secara bertahap disegarkan dengan kromosom-kromosom yang mengodekan solusi-solusi baru yang mungkin lebih baik. Makna dari 'lebih baik', tentu saja, merupakan fungsi dari masalah yang sedang kita coba pecahkan. Biasanya kita tertarik untuk menemukan nilai minimum atau maksimum dari suatu fungsi. Indikator dari 'lebih baik' adalah nilai numerik yang disebut tingkat kebugaran, yang diberikan oleh fungsi kebugaran, dan hal yang sama biasanya berlaku untuk fungsi objektif, yang ditulis dengan cara tertentu menggunakan kode komputer untuk aplikasi yang perlu dioptimalkan.

Selain fungsi objektif, beberapa kondisi (kendala) dapat diberlakukan pada GA untuk memandu proses evolusi. Fungsi tujuan dan kendalanya dapat memiliki makna yang sangat praktis, misalnya: jadwal waktu yang optimal untuk sebuah universitas (fungsi) sehingga para profesor tidak memiliki kesenjangan dalam program harian mereka (kendala); rute yang optimal untuk mengirimkan surat antara kota-kota yang berbeda sambil menempuh jarak minimum; profil sayap pesawat yang optimal; tata letak lantai yang optimal di ruang ketel untuk menghemat ruang sebanyak mungkin; tata letak komponen elektronik yang optimal pada papan sirkuit tercetak; rasio kaca/dinding yang optimal untuk sebuah bangunan, dengan mempertimbangkan kendala untuk memaksimalkan cahaya alami, efisiensi energi dan kenyamanan termal serta meminimalkan biaya konstruksi; kombinasi nilai yang optimal untuk faktor lingkungan dalam ruangan yang mendukung kenyamanan atau kesejahteraan dan efisiensi energi.

Seperti disebutkan dalam Bagian 6.1, komputasi evolusioner juga dapat digunakan untuk penambangan data dari basis data yang dihasilkan oleh sistem manajemen gedung modern dan penelitian tentang kualitas lingkungan dalam ruangan. Biasanya populasi individu dihasilkan dan kemudian berevolusi, tetapi dalam penambangan data populasi solusi kandidat sudah ada dan diwakili oleh konten basis data. Beberapa penulis mengusulkan penggunaan templat umum untuk merumuskan aturan dan menilai seberapa menarik dan akurat aturan tersebut, dan menggunakan GA untuk mencari aturan yang memiliki minat dan akurasi optimal.

Aplikasi GA yang paling mudah dipahami mungkin adalah identifikasi kombinasi optimal faktor lingkungan dalam ruangan yang mendukung kenyamanan termal, dengan mempertimbangkan beberapa kendala seperti konsumsi energi atau suhu dalam ruangan maksimum/minimum. Menurut EN ISO 7730:2005, sensasi kenyamanan termal, yang dikenal sebagai perkiraan rata-rata suhu (PMV), dapat bervariasi dari -3 (dingin) hingga +3 (panas), dan semakin mendekati nol nilai PMV, semakin baik tingkat kenyamanan termal. Kenyamanan termal (PMV) bergantung pada tujuh parameter:

- Suhu udara
- Suhu radiasi rata-rata
- Kecepatan udara

- Kelembapan relative
- Tekanan uap air parsial
- Tingkat pakaian
- Laju metabolisme (yang bergantung pada jenis aktivitas yang dilakukan). Untuk menyederhanakannya, kami akan mempertimbangkan nilai konstan di semua musim untuk tiga variabel terakhir, pakaian kantor formal untuk kedua jenis kelamin, dan pekerjaan kantor sebagai aktivitas.

Kami juga akan berasumsi bahwa setiap ruangan dilengkapi dengan perangkat pengontrol suhu, radiator, dan sistem ventilasi. Dengan mengubah titik setel untuk suhu ruangan, titik setel baru akan menjadi kendala bagi GA, bersama dengan nilai untuk pakaian dan tingkat aktivitas. Kendala lain mungkin adalah konsumsi energi, yang harus tetap rendah. Persamaan kenyamanan termal dan rumus yang menghubungkan konsumsi energi dan suhu keluaran untuk sumber panas/dingin (boiler, pompa panas, dll).

Keduanya akan menjadi fungsi objektif untuk GA. Karena nilai suhu udara yang diinginkan di dalam ruangan diketahui (titik setel baru), tugas GA adalah menemukan kombinasi terbaik dari tiga parameter lainnya (suhu radiasi rata-rata, kecepatan udara, dan kelembapan relatif) dengan mengingat tujuan memaksimalkan kenyamanan termal dan efisiensi energi. Apakah lebih baik, dalam hal memaksimalkan kenyamanan termal, memanaskan ruangan dengan radiator, atau menggunakan sistem ventilasi? Radiator akan meningkatkan proporsi panas yang terpancar, tetapi akan membutuhkan waktu lebih lama untuk memanaskan ruangan, sementara konvektor akan memanaskan udara di dalam ruangan lebih cepat tetapi akan menciptakan aliran udara dan kebisingan, dan tetap tidak menyelesaikan masalah radiasi dingin.

Jika kita mempertimbangkan musim panas, untuk tingkat kenyamanan yang sama, apakah akan lebih baik dalam hal kenyamanan dan konsumsi energi untuk meningkatkan tingkat kelembapan atau kecepatan udara, atau menurunkan suhu? Banyaknya kemungkinan kombinasi parameter ini dinilai oleh fungsi kebugaran GA, dan kombinasi optimal dengan tingkat kebugaran terbesar dihasilkan. Berkat penggunaan GA, dimungkinkan untuk mencapai keseimbangan optimal antara kenyamanan termal dan efisiensi energi. Namun kenyamanan saja tidak cukup, karena tidak mengacu pada indera kita yang lain. Dalam tesis PhD-nya, penulis telah menggunakan GA untuk mengidentifikasi dari basis data kombinasi terbaik dari tujuh parameter yang mendukung nilai tertinggi kesejahteraan penghuni.

Dengan kata lain, GA digunakan untuk menilai tingkat kebugaran dari nilai-nilai yang ada dalam basis data dari tujuh variabel yang termasuk dalam rumus Indeks Kesejahteraan (WBI), dan untuk mengidentifikasi kombinasi variabel yang mendukung pencapaian nilai tertinggi WBI, yang digunakan sebagai fungsi objektif. Tujuh istilah dan bobotnya dalam rumus WBI berasal dari analisis statistik dari basis data informasi yang besar mengenai kepuasan penghuni terhadap berbagai aspek yang terkait dengan bangunan, mulai dari kepuasan mereka terhadap kondisi termal, pencahayaan, dan kualitas udara, hingga kepuasan mereka terhadap perabotan dan aspek sosial bangunan. Rumus WBI yang terbobot adalah sebagai berikut:

$$\text{WBI} = 0,075S_{akustik} + 0,245S_{space} + 0,082S_{lighting} + 0,064S_{temperatur} + 0,135S_{desain} + 0,202 dtkp_e$$

di mana S merupakan tingkat kepuasan yang dinyatakan dalam kuesioner, pada skala 0 hingga 4, oleh setiap penghuni, dan subskrip mengidentifikasi aspek lingkungan dalam ruangan tertentu. Nilai minimum WBI adalah nol, nilai maksimum adalah 4,11. Nilai maksimum WBI adalah 4,11 jika satu penghuni gedung benar-benar puas dengan ketujuh aspek yang dinilai oleh WBI. Saat ini, situasi di gedung yang dinilai belum sempurna, karena kombinasi terbaik dari jawaban yang terkait dengan WBI dan dihitung oleh GA memiliki skor 3,51, jadi masih ada ruang untuk perbaikan jika skor maksimum 4,11 ingin dicapai.

Sekarang mari kita lihat contoh bagaimana GA dapat digunakan di gedung pintar untuk meningkatkan kesejahteraan penghuni. Di gedung pintar, penghuni dapat diidentifikasi dengan kartu akses, secara biometrik atau berdasarkan kebiasaan mereka, baik untuk alasan keamanan maupun untuk meningkatkan pengalaman mereka di dalam gedung. Ketika seseorang memasuki kantor pribadinya, sistem kontrol gedung harus menyesuaikan kondisi di ruangan tersebut (pencahayaan, suhu, udara segar, musik, dll.) dengan preferensi penghuninya. Beberapa parameter dalam ruangan mungkin tidak perlu diubah, sehingga parameter tersebut akan diukur oleh sensor di ruangan dan akan bertindak sebagai kendala bagi GA.

Berdasarkan fungsi objektif dan kendala, GA mengembangkan dan menilai kombinasi nilai baru untuk parameter dalam ruangan yang dapat diubah, sehingga penghuni dapat mengalami kondisi kesejahteraan yang maksimal. Ini adalah contoh lain tentang bagaimana sebuah gedung yang dilengkapi dengan GA beradaptasi terus-menerus dengan penghuninya, dan dengan demikian membuktikan atribut kecerdasan. Karena perubahan parameter dalam ruangan disebabkan oleh perubahan dalam cara kerja sistem layanan gedung, dan karena GA meningkatkan dan mengubah cara gedung beroperasi melalui teknik evolusi, GA mengembangkan kinerja gedung berdasarkan pengalaman sebelumnya. Yang dimaksud dengan 'kinerja' adalah 'efisiensi energi dan kesejahteraan manusia'. Bangunan cerdas yang meningkatkan kinerjanya berdasarkan pengalaman sebelumnya karena penggunaan GA dapat disebut sebagai bangunan cerdas yang terus berkembang.

### 6.3. KESIMPULAN

Dengan menggunakan perangkat lunak, hampir semua hal dapat dilakukan pada platform perangkat keras yang sesuai, mulai dari mengucapkan 'Halo dunia!' kepada seseorang, berdasarkan identifikasi mereka, hingga menyalakan lampu di gedung. Bab ini berfokus pada teknik yang termasuk dalam istilah umum AI. Gagasan teoritis dasar telah didukung oleh contoh praktis tentang bagaimana sistem pakar, logika fuzzy, ANN, dan komputasi evolusioner dapat digunakan dalam desain bangunan cerdas, untuk mencapai tujuan utama memaksimalkan kesejahteraan penghuni dan efisiensi energi gedung.

Bab ini dimulai dengan model konseptual yang mencoba memposisikan bangunan cerdas, AI, dan kesejahteraan manusia dalam kaitannya dengan berbagai interaksi yang dialami sebuah bangunan, mulai dari pemangku kepentingan hingga iklim dan tren. Selain itu, model konseptual ini menggambarkan bagaimana bangunan tersebut dapat belajar dan beradaptasi dengan penghuninya, baik dengan cara tradisional maupun dengan cepat, dengan menggunakan teknik AI. Karena kita berbicara tentang bangunan cerdas, definisi bangunan cerdas diusulkan, berkenaan dengan penggunaan AI dan layanan yang ditawarkannya. Bergantung pada teknik AI mana yang digunakan, perbedaan dibuat antara dua jenis bangunan cerdas, dan istilah baru diciptakan untuk 'bangunan cerdas yang berkembang' bangunan yang menggunakan teknik evolusi untuk meningkatkan kinerjanya berdasarkan pengalaman sebelumnya.

Benar juga bahwa bangunan yang dilengkapi dengan sistem terbaru dan menggunakan AI mungkin tidak cerdas, karena kinerja bangunannya yang rendah; jadi, selain penggunaan AI, ada teknologi dan kriteria lain yang harus dipenuhi yang benar-benar membuat bangunan menjadi cerdas. Penggunaan teknologi komputasi terkini saja tidak cukup untuk merancang bangunan cerdas; sebaliknya, teknologi tersebut merupakan pendorong kinerja dan layanan yang ditawarkan bangunan tersebut.

Kecerdasan bangunan cerdas diperlukan untuk mengatasi dan menghadapi ketidakpastian yang ditimbulkan oleh penghuni bangunan. AI seperti jembatan antara mesin dan penghuninya. Keberhasilan di alam diekspresikan dalam evolusi dan adaptasi. Jika kita ingin memiliki interaksi yang baik antara manusia dan bangunan, kita perlu membuat bangunan tersebut 'berpikir' dan 'beradaptasi' dengan penghuninya dan lingkungannya, bukan untuk mematuhi standar yang digunakan untuk kenyamanan termal secara kaku. Teknik AI dapat melakukan semua ini. Teknologinya sudah matang, yang perlu kita lakukan hanyalah menerapkannya di bangunan cerdas untuk meningkatkan kesejahteraan manusia.



## **BAB 7**

### **SENSOR NIRKABEL UNTUK MEMANTAU ORANG DAN LINGKUNGAN**

Sebuah gedung pintar memerlukan informasi waktu nyata tentang penghuninya agar dapat terus beradaptasi dan merespons. Contohnya adalah sensor inframerah pasif yang mendeteksi penghuni untuk mengendalikan pencahayaan, atau termostat yang menggunakan pembacaan suhu untuk mengendalikan masukan panas. Bab ini membahas teknologi pemantauan yang muncul yang dapat memungkinkan respons yang lebih personal oleh gedung.

Misalnya, sensor yang mengukur tingkat pakaian dan suhu kulit dapat digunakan untuk mengendalikan masukan panas ke dalam ruangan. Ini akan memungkinkan gedung untuk merespons preferensi suhu orang yang berbeda. Bab ini membuat katalog sensor bergerak kecil yang dapat memberikan informasi tentang lokasi seseorang, lingkungan fisik terdekatnya, aktivitas pribadi, fisiologi, dan suasana hati. Bab ini juga membahas perbedaan utama antara perangkat untuk memungkinkan evaluasinya untuk digunakan dalam penelitian, desain, atau manajemen gedung.

#### **7.1. PENDAHULUAN**

Tujuan dari banyak sensor ini adalah untuk menangkap kondisi manusia dengan sesuatu, data, yang sama sekali tidak manusiawi. Mengetahui suhu, detak jantung seseorang, dan apakah mereka telah membuka jendela tidak sama dengan mengetahui apakah mereka senang dengan lingkungan internal. Jadi, mengapa kesetaraan perlu ditetapkan antara data yang dapat diukur dan perasaan atau preferensi? Sistem sensor yang paling umum di gedung adalah termostat, tetapi banyak gedung bahkan tidak memilikinya.

Gedung tanpa sensor dan kecerdasan hanya memiliki orang dan kontrol manual. Jika orang tersebut kepanasan, ia membuka jendela, menyalakan AC, atau melepas jumper; atau mungkin ketiganya. Manusia adalah termostat, sensor, dan sistem kontrol cerdas dalam satu, jadi mengapa mencoba memperbaikinya? Termostat adalah sistem gedung cerdas yang menjaga kenyamanan termal penghuni gedung. Alih-alih menggunakan informasi tentang sensasi termal penghuni untuk mengendalikan masukan panas, alat ini menggunakan informasi dari sensor suhu dan titik setel yang telah ditetapkan sebelumnya.

Kenyataannya, sensasi termal adalah preferensi pribadi yang bergantung pada kondisi pakaian, tingkat aktivitas, suhu, kecepatan udara, dan kelembapan di masa lalu dan sekarang. Namun, untuk sebagian besar tujuan, titik setel dan sensor suhu sudah cukup. Penggunaan sistem proksi ini memiliki manfaat pemanas dapat dinyalakan secara otomatis sebelum Anda membutuhkannya dan dimatikan saat Anda lupa, jadi ada satu hal yang perlu dikhawatirkan atau dibicarakan. Data yang dapat diukur memudahkan analisis bangunan. Data dapat disimpan, diproses, dan dibandingkan dengan lebih mudah daripada deskripsi kualitatif. Data dapat dimodelkan untuk mendiagnosis masalah yang tidak akan terpecahkan, atau untuk

mencegah masalah yang akan terjadi dan memiliki implikasi yang mahal.

Teknologi, kecerdasan mesin, dan otomatisasi tidaklah baik, tetapi memiliki potensi untuk membuat segala sesuatunya lebih murah, lebih mudah, atau, dalam pengertian yang paling umum, lebih baik. Jika kebutuhan adalah ibu dari penemuan, mungkin teknologi baru adalah bapaknya. Salah satu masalah dengan bangunan adalah kurangnya pengukuran kinerja; hal itu mahal dan memakan waktu untuk dilakukan. Selain itu, jika suatu organisasi merancang bangunan secara internasional, ia perlu mengukur kinerjanya dari jarak jauh. Sensor menyediakan cara untuk melakukan ini, membangun perpustakaan pengukuran objektif yang dapat memberikan wawasan tentang bangunan dan penghuninya dan membantu membandingkannya di seluruh ruang, waktu, dan budaya.

Pengetahuan yang lebih baik ini kemudian dapat dimasukkan ke dalam desain bangunan. Secara konvensional, persyaratan desain dieksplorasi antara perancang dan pengguna atau diberi umpan balik dari studi pasca-hunian menggunakan, misalnya, survei dan data tentang lingkungan fisik. Sensor nirkabel menawarkan peluang untuk mengotomatiskan proses umpan balik dan dengan demikian lebih memahami persyaratan pengguna. Pendekatan terakhir ini dapat menguntungkan tim desain yang tersebar dan terpencil di mana terdapat lebih sedikit peluang untuk berinteraksi dengan pengguna akhir, dan juga dapat memungkinkan berbagai bangunan yang jauh lebih luas untuk dianalisis dalam jangka waktu yang lebih lama.

Pemahaman yang lebih baik tentang perilaku pengguna semakin diakui sebagai hal yang sangat penting untuk mencapai konsumsi energi yang rendah di dalam bangunan. Tingkat variasi yang besar dalam konsumsi energi dapat dijelaskan oleh perilaku orang, baik itu sikap dan tindakan mereka atau kemampuan mereka untuk mengendalikan teknologi. Sensor jarak jauh dapat memberikan kontribusi untuk pemahaman yang lebih kaya tentang bagaimana orang menggunakan gedung dan memungkinkan desainer untuk memperhitungkan faktor manusia dalam desain dengan lebih baik.

Salah satu contoh sensor yang digunakan dengan cara ini adalah gerbang keamanan yang umum digunakan di lobi kantor yang mengharuskan setiap orang untuk masuk setiap hari. Ini tidak hanya penting dalam keadaan darurat, tetapi juga dapat digunakan untuk mengukur okupansi kantor, yang berkisar antara 50% dan 90% tergantung pada jenis pekerjaan yang dilakukan. Memanfaatkan informasi ini untuk merancang kantor yang lebih kecil yang menggabungkan meja kerja dan ruang kerja dinamis lainnya dapat menghemat biaya modal yang cukup besar.

Ada sensor lain yang ada yang memungkinkan gedung untuk merespons secara dinamis terhadap kondisi yang berlaku. Sensor inframerah pasif (PIR) mendeteksi apakah ada orang di dalam ruangan dan menyalakan atau mematikan lampu. Sensor karbon dioksida mengontrol ventilasi ruangan yang memiliki tingkat hunian yang sangat bervariasi. Semua sistem ini mengumpulkan informasi, memrosesnya, dan memberikan respons bangunan yang sesuai, sehingga memungkinkan otomatisasi sistem yang mungkin selalu aktif.

Sistem ini merupakan bagian dari lautan informasi yang mengalir di antara bangunan, lingkungannya, dan manusia. Sementara bangunan melayani manusia dengan menyediakan

tempat berteduh, kehangatan, dan banyak kebutuhan lainnya, manusia juga melayani bangunan dengan melihat cacat bangunan dan membuat keputusan tentang apa yang harus dilakukan, entah itu menyetel termostat atau memperbaiki jendela. Keduanya merasakan, merespons, dan mengendalikan satu sama lain, dan meningkatkan hubungan ini merupakan bagian inti dari penelitian bangunan cerdas.

Ada banyak cara untuk meningkatkan aliran informasi dari gedung ke orang dan sebaliknya. Penghuni dapat lebih mudah memantau dan memahami gedung. Gedung dapat dibuat lebih mudah untuk beradaptasi dan dikendalikan. Penghuni dapat memiliki pengetahuan yang lebih baik tentang diri mereka sendiri dan orang-orang di sekitar mereka. Keseimbangan antara otomatisasi gedung dan kontrol pengguna dapat dimodifikasi. Benang merah yang menghubungkan semua opsi ini adalah perolehan, analisis, dan penyajian informasi tentang keadaan iklim mikro, gedung, lingkungannya, dan penghuninya.

Bab ini membahas berbagai perangkat yang dapat dikenakan atau dibawa oleh seseorang atau ditempatkan di gedung untuk menyediakan data yang hampir berkelanjutan tentang gedung dan penghuninya. Perangkat tersebut selangkah lebih dekat dengan konsep sistem catatan harian indra yang mengumpulkan keadaan emosional penghuni dan memungkinkan gedung untuk merespons sesuai dengan itu.

## **7.2. VARIABEL KUNCI UNTUK EVALUASI SENSOR**

Sensor memiliki banyak atribut berbeda yang harus dipertimbangkan dalam kaitannya dengan aplikasi yang direncanakan. Sebuah proyek penelitian mungkin memerlukan sejumlah besar perangkat dalam waktu yang relatif singkat, sedangkan manajemen gedung mungkin memerlukan sensor yang murah, tidak mencolok, dan dapat digunakan tanpa batas waktu. Faktor-faktor penting adalah pertimbangan praktis, kualitas data, masalah etika, jenis data, dan tingkat intrusi.

### **Pertimbangan praktis**

Masalah seperti biaya, ukuran, dan kemudahan penggunaan harus dipertimbangkan saat memilih sensor. Hal ini memengaruhi berapa banyak yang dapat digunakan di lapangan, berapa lama sensor dapat dibiarkan untuk mengumpulkan data, dan siapa yang dapat mengambil bagian dalam eksperimen.

### **Kualitas data**

Idealnya, data harus diambil dari sampel yang besar dalam jangka waktu yang lama. Yang pertama sering kali ditentukan oleh biaya dan kemudahan pemasangan, sedangkan yang kedua sering kali bergantung pada kemudahan penggunaan dan intrusi perangkat. Data juga harus mudah ditafsirkan, sesuai untuk menjawab pertanyaan yang diajukan, dan akurat. Kumpulan data yang dapat dikoordinasikan satu sama lain dan penelitian sebelumnya memungkinkan pembuktian hasil.

### **Masalah etika**

Masalah etika muncul karena informasi sensor mungkin bersifat pribadi dan dapat digunakan dengan cara yang tidak sesuai dengan tujuan individu. Proses yang jelas harus ditetapkan untuk pengumpulan, kerahasiaan, anonimitas, penyimpanan, dan pembuangan

data pada akhirnya. Subjek harus diberi pengarahan lengkap tentang masalah ini sebelum izinnya diperoleh, dan harus ada pilihan untuk memilih keluar dari pemantauan kapan saja. Akibatnya, penggunaan data akan dibatasi pada ruang lingkup yang awalnya disetujui antara pengamat dan yang diamati. Setiap perubahan dalam ruang lingkup ini, seperti penggunaan data untuk tujuan yang berbeda, perlu disetujui lagi oleh kedua belah pihak.

### **Jenis data**

Pada akhirnya, perangkat pemantauan perlu memberikan informasi yang berarti tentang perilaku orang terhadap bangunan. Teori perubahan perilaku menjelaskan interaksi kompleks antara faktor eksternal dan internal yang membentuk niat seseorang untuk bertindak. Oleh karena itu, perangkat harus memberikan wawasan tentang faktor eksternal yang memengaruhi orang, seperti suhu, kondisi internal individu, seperti detak jantung, dan tindakan yang dilakukan orang, seperti membuka jendela. Data tentang salah satu atau semua ini berguna untuk memahami perilaku.

### **Intrusivitas**

Respons pengguna terhadap pemantauan mengatur berapa lama sensor dapat berada di lapangan dan apakah orang tersebut menerima perangkat tersebut sama sekali, dan dapat memengaruhi pengukuran lapangan dengan membuat orang menyadari bahwa mereka sedang dipantau. Moran dan Nakata mengidentifikasi sejumlah faktor yang memengaruhi respons terhadap perangkat pemantauan, dan ini diparafrasekan di sini. Kemudahan yang dirasakan. Apakah orang tersebut memahami bahwa perangkat tersebut mengumpulkan data? Ini bergantung pada keakraban pengguna atau kemudahan yang jelas.

Misalnya, baik Ponsel Pintar maupun pencatat data GPS dapat digunakan untuk melacak posisi. Ponsel pintar dipahami dalam hal banyak hal lain yang dilakukannya, sehingga mudah untuk melupakan bahwa ia juga merupakan perangkat pemantauan. Pencatat data GPS adalah kotak plastik kecil, mungkin dengan antena dan LED yang berkedip, dan dengan demikian akan menjadi pengingat terus-menerus tentang fakta bahwa pemantauan sedang berlangsung.

- Kemudahan alami yang dirasakan. Tingkat di mana seseorang merasa bahwa batas fisik alami telah dilanggar (misalnya perangkat berada di rumah mereka atau di bawah kulit mereka).
- Kendali perangkat yang dirasakan. Tingkat di mana seseorang merasa memiliki kendali atas perangkat pemantauan (misalnya kemampuan untuk menghindari, mematikan, dan melepaskan perangkat).
- Cakupan yang dirasakan. Pemahaman seseorang tentang area atau tingkat aktivitas yang dicakup oleh perangkat pemantauan.
- Invasi privasi yang dirasakan. Tingkat di mana seseorang merasa bahwa pemantauan tersebut mengganggu privasi mereka. Ini adalah fungsi dari jenis informasi yang harus diberikan untuk mendapatkan nilai dari aplikasi, dan seberapa luas informasi yang tersedia tentang pengguna disebarluaskan.
- Kepercayaan yang dirasakan. Tingkat di mana seseorang merasa pengamat dapat

dipercaya.

### 7.3. PERANGKAT DI LUAR TUBUH

Ada banyak metode yang digunakan untuk memahami perilaku orang, seperti survei, wawancara, observasi, analisis penelusuran, pelacakan dan pengukuran yang tidak mencolok (seperti pemesanan kamar atau penekanan tombol), pelaporan diri dalam bentuk survei ingatan atau buku harian waktu, dan pengambilan sampel pengalaman. Ada juga banyak cara untuk memantau orang, seperti CCTV dan pemantauan layar komputer. Cara sederhana untuk mengkategorikan perangkat adalah berdasarkan domain yang dicakupnya: ruangan, orang, atau sistem komputer.

#### **Memantau orang dengan berinteraksi dengan mereka**

Setiap hari kita mengamati orang dalam lingkungan alami mereka, bercakap-cakap dengan mereka, menganalisis pekerjaan yang mereka lakukan, dan menanyakan pendapat mereka. Dalam istilah penelitian, ini dapat dianggap sebagai observasi, wawancara, tes, dan survei. Bila digunakan dalam penelitian, proses-proses ini diformalkan dan diteliti, tetapi dalam pekerjaan dan penggunaan sehari-hari, proses-proses ini berlangsung tanpa banyak pemikiran yang diberikan pada bentuk atau efeknya.

Sifat aktivitas ini sangat bergantung pada hubungan antara pengamat dan yang diamati. Menggunakan TI untuk meningkatkan pemantauan menawarkan keuntungan, tetapi juga mengubah hubungan tersebut. Data bersifat objektif, dapat diakses di mana saja dan diproses dengan cepat, sedangkan makna pengalaman bersifat subjektif, sulit diakses, dan memerlukan pemrosesan intensif. Yang pertama menawarkan harapan untuk mengungkap model-model universal, tetapi yang terakhir memberikan deskripsi pengalaman manusia yang pada dasarnya penting.

#### **Ruang pemantauan**

CCTV di sudut, sensor suhu di termostat, sensor karbon dioksida di sistem ventilasi sudah banyak perangkat yang memantau lingkungan bangunan secara pasif. Tersedia perekam data berbiaya rendah yang dapat mengukur suhu, kelembapan, kecepatan udara, karbon dioksida, tekanan, dan senyawa organik yang mudah menguap. Sensor status dapat digunakan untuk mendeteksi apakah perangkat menyala atau mati atau apakah jendela terbuka atau tertutup. Sensor mudah dipasang dan dapat ditempatkan di lapangan untuk waktu yang lama. Sensor ini sederhana dan efektif dalam fungsinya, tetapi tidak memberikan banyak wawasan langsung tentang perilaku pengguna bangunan.

CCTV dan penangkapan gerak IR dapat menjadi cara yang tersembunyi untuk memantau orang, tetapi ada masalah etika dengan penggunaan, penyimpanan, dan analisis data pribadi ketika orang tersebut tidak memberikan izin. Sistem IR mengatasi beberapa masalah ini karena orang tidak dapat dikenali pada gambar, tetapi memerlukan infrastruktur tambahan untuk dipasang. Baik CCTV maupun IR motion capture dapat digunakan untuk observasi umum atau untuk membangun gambaran terperinci tentang bagaimana suatu ruang digunakan, dan untuk menginformasikan pemodelan rute dan interaksi orang.

#### **Pemantauan sistem TI**

Tindakan apa pun pada sistem TI dapat dipantau, seperti keberadaan orang di gedung atau di terminal komputer, email, penggunaan internet, penekanan tombol, dan aktivitas komputer. Perekaman suara atau pemantauan panggilan telepon merupakan praktik yang tersebar luas di pusat panggilan, dan beberapa mengklaim bahwa emosi dapat diperkirakan dari gambar webcam. Pemantauan TI bersifat rahasia karena menggunakan infrastruktur yang ada yang memiliki tujuan utama yang berbeda. Orang bahkan mungkin menganggap pemantauan sebagai pengorbanan yang sepadan atau mengabaikan keberadaan perangkat pemantauan setelah mereka diberi tahu dengan benar tentangnya.

Hal ini dapat memiliki implikasi etika dan kepercayaan yang serius, tetapi juga membuat pemantauan tersebut menarik karena kecil kemungkinannya untuk memengaruhi tindakan peserta. Sistem TI menawarkan data yang dapat dikaitkan dengan produktivitas dan kesejahteraan. Data seperti lamanya waktu di depan komputer, jumlah panggilan yang dibuat, dan kecepatan mengetik dapat dianggap berguna dalam menentukan hasil untuk pekerjaan tertentu. Ada juga potensi untuk mengukur kewaspadaan dari nada suara atau pola mengetik.

#### 7.4. PERANGKAT YANG DIKENAKAN DI TUBUH

Ada berbagai perangkat yang dapat dikenakan di tubuh. Perangkat dapat dikategorikan berdasarkan apa yang diukur dan masalah terkait tentang cara pemasangannya di tubuh. Perangkat biasanya terdiri dari satu atau beberapa sensor, memori, dan pemancar. Banyak yang menyediakan data dalam jangka waktu lama dengan input manual minimal dari peneliti atau pengguna.

##### Fisiologi

Terdapat perangkat baru yang murah dan tersedia secara luas untuk mengukur denyut jantung, laju pernapasan, tekanan darah, volume darah, respons kulit galvanik, aktivitas otak (elektroensefalografi (EEG), aktivitas jantung (elektrokardiografi), aktivitas retina (elektrookulografi), aktivitas otot (elektromiografi), suhu kulit, karbon dioksida (kapnometri), dan kadar oksigen darah (oksimetri). Perangkat ini memerlukan sensor yang menyentuh atau memasuki tubuh, dan mungkin juga memiliki komponen pencatat data atau pemancar. Salah satu perangkat tersebut menyerupai jam tangan yang diikatkan ke lengan bawah, sementara yang lain memiliki sensor yang tertanam dalam pakaian yang pas.



**Gambar 7.1 Bodymedia Dikenakan Di Lengan Atas Dan Mengukur Suhu Kulit, Respons Galvanik Kulit, Dan Akselerasi. & Gambar Milik Bodymedia, Inc.**

Sensor fisiologis biasanya berukuran kecil dan tidak mencolok serta menawarkan data berkelanjutan jangka panjang tentang kondisi internal. Data tersebut sering kali satu dimensi

dan tidak memiliki makna yang menjelaskan preferensi atau sikap yang diamati (misalnya, mungkin saja seseorang dapat mengetahui bahwa mereka waspada atau bersemangat, tetapi tidak dapat mengetahui mengapa atau bagaimana hal itu memengaruhi pengambilan keputusan mereka). Sensor semacam itu juga menerima kritik karena rasio sinyal terhadap deraunya dapat menyebabkan salah tafsir. Namun, sensor tersebut cukup murah untuk digunakan dalam jumlah banyak, dan menyediakan data kuantitatif tentang kondisi internal.

### Variabel fisik

Variabel yang dapat diukur meliputi suhu, tingkat cahaya, warna cahaya, kelembapan, tingkat suara, dan kualitas udara (misalnya karbon dioksida, senyawa organik yang mudah menguap, dan nitrogen oksida). Semua variabel dapat diukur dengan perangkat di dalam atau di luar tubuh, menggunakan pencatat data yang berukuran kecil dan dapat dengan mudah dibawa.

### Data kompleks

Perangkat ini menyediakan lebih banyak informasi daripada besarnya satu variabel. Termasuk rekaman suara, interaksi sosial, kamera/video, dan pengambilan sampel pengalaman. Informasi kompleks ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan, dan karenanya perlu dijelaskan secara terperinci. Sociometer dikenakan di bahu dan dilengkapi mikrofon, akselerometer, serta pemancar dan penerima IR. Alat ini menggunakan pemancar dan penerima IR untuk menentukan saat dua orang berada dalam jarak dekat dan sensor lainnya untuk mendeteksi saat ucapan dan gerakan mereka sinkron. Dari data yang dikumpulkan, dapat disimpulkan siapa yang berbicara dengan siapa, kapan, dan berapa lama.

SenseCam dan eButton adalah perangkat serupa, yang pertama dikenakan di leher dan yang terakhir dipasang pada pakaian. Keduanya mengambil gambar dan juga mengukur pilihan data kontekstual seperti suhu, akselerasi, dan informasi GPS. Keduanya mengambil bacaan secara berkala dan sebagai respons terhadap perubahan kondisi eksternal. Foto-foto tersebut telah digunakan untuk memahami aktivitas dan tingkat pakaian seseorang dan foto-foto tersebut telah digunakan sebagai petunjuk untuk meningkatkan ingatan akan suatu pengalaman.

**Tabel 7.1 Sumber Informasi Lebih Lanjut Untuk Perangkat**

Device name	Website
SenseCam	<a href="http://research.microsoft.com/en-us/um/cambridge/projects/sensecam">http://research.microsoft.com/en-us/um/cambridge/projects/sensecam</a>
Emotiv	<a href="http://emotiv.com/researchers">http://emotiv.com/researchers</a>
EGL	<a href="http://www.egi.com/research-division-research-products">http://www.egi.com/research-division-research-products</a>
Bodywave	<a href="http://www.freerlogic.com/body-wave">http://www.freerlogic.com/body-wave</a>
Neurosky Mindse	<a href="http://www.neurosky.com">http://www.neurosky.com</a>
eButton	<a href="http://www.lcn.pitt.edu/ebutton">http://www.lcn.pitt.edu/ebutton</a>
The Zeo	<a href="http://myzeo.co.uk">http://myzeo.co.uk</a>
Fitbit	<a href="http://www.fitbit.com/product/specs">http://www.fitbit.com/product/specs</a>
Basis	<a href="http://mybasis.com">http://mybasis.com</a>
BodyMedia	<a href="http://www.bodymedia.com">http://www.bodymedia.com</a>
Affectiva	<a href="http://www.affectiva.com/q-sensor">http://www.affectiva.com/q-sensor</a>



<b>BioHarness BT</b>	<a href="http://www.zephyr-technology.com">http://www.zephyr-technology.com</a>
<b>Witherings</b>	<a href="http://www.withings.com/en/bloodpressuremonitor">http://www.withings.com/en/bloodpressuremonitor</a>
<b>Sensium</b>	<a href="http://www.toumaz.com/page.php?page = sensium_life_platform">http://www.toumaz.com/page.php?page = sensium_life_platform</a>
<b>Sensewear</b>	<a href="http://www.apccardiovascular.co.uk/sensewear_armband.htm">http://www.apccardiovascular.co.uk/sensewear_armband.htm</a>
<b>Sociometer</b>	<a href="http://alumni.media.mit.edu/~tanzeem/TR-554.pdf">http://alumni.media.mit.edu/~tanzeem/TR-554.pdf</a>
<b>Lobin</b>	<a href="http://www.uc3m.es/portal/page/portal/actualidad_cientifica/noticias/intelligent_tshirts">http://www.uc3m.es/portal/page/portal/actualidad_cientifica/noticias/intelligent_tshirts</a>
<b>Biotex</b>	<a href="http://www.biotex-eu.com/pdf/biotex_flyer.pdf">http://www.biotex-eu.com/pdf/biotex_flyer.pdf</a>
<b>Smartcap</b>	<a href="http://www.smartcap.com.au/index.html">http://www.smartcap.com.au/index.html</a>
<b>Mindmedia</b>	<a href="http://www.mindmedia.nl/CMS/index.php">http://www.mindmedia.nl/CMS/index.php</a>
<b>EBME</b>	<a href="http://www.ebme.co.uk/products/index.php?prod_id = 129">http://www.ebme.co.uk/products/index.php?prod_id = 129</a>

Perangkat pengambilan sampel pengalaman meminta peserta untuk memberikan informasi kontekstual seperti apa yang mereka rasakan atau sensasi termal mereka. Ini dapat dilakukan secara berkala atau sebagai respons terhadap perubahan variabel eksternal. PDA dan Ponsel Pintar dapat digunakan untuk ini. Perangkat ini merupakan peningkatan dari buku harian atau survei pribadi karena hasilnya dapat diunggah secara otomatis ke basis data dan tidak bergantung pada memori manusia.

Perangkat yang merekam data kompleks menawarkan metode mengingat sistematis yang secara otomatis terkait dengan pengukuran variabel eksternal. Ini bisa menjadi alat yang ampuh untuk menghubungkan variabel eksternal yang berkontribusi, atribut internal, dan hasil, yang bersama-sama menggambarkan perilaku. Namun, mungkin ada begitu banyak data dan mungkin sangat sulit untuk membuat kode sehingga akan sulit untuk mendapatkan keluasan studi yang diperlukan untuk mendukung hipotesis tertentu. Hal ini dan sifat intrusif perangkat ini membuatnya lebih cocok digunakan dalam membangun penelitian daripada manajemen.



**Gambar 7.2** Sensecam Mengambil Gambar Dan Pengukuran Variabel Fisik Secara Berkala. Posisi dan tingkat aktivitas

Perangkat tersebut meliputi Bluetooth, radiofrequency ID (RFID), GPS, accelerometer,



altimeter, gyroscope, dan magnetometer. Semua ini adalah perangkat kecil yang dapat dibawa di saku. Perangkat berkemampuan Bluetooth dapat digunakan untuk melacak orang tanpa izin. Pencatat data GPS atau sistem RFID dapat diberikan kepada orang untuk dibawa-bawa; RFID khususnya dapat digunakan untuk membangun gambaran yang sangat tepat tentang posisi seseorang di sebuah ruangan. Pengukuran akselerasi, ketinggian, dan orientasi sering kali digabungkan sebagai proksi untuk tingkat aktivitas.

Gambar 7.3 menunjukkan berbagai sensor pada tubuh yang tersedia dan variabel yang diukur; jenis perangkat tertentu mengukur kelompok variabel tertentu. Produk EEG ditujukan terutama untuk pasar permainan dan biasanya hanya mengukur aktivitas otak. Produk untuk mengukur variabel fisiologis paling sering dikaitkan dengan pelatihan kebugaran; data yang dikumpulkannya sesuai dengan tingkat aktivitas dan tingkat metabolisme (misalnya akselerasi dan laju pernapasan). Perangkat yang menangkap data kompleks juga mengukur data kontekstual seperti suhu atau percepatan.

## 7.5. KESIMPULAN

### Menggunakan data sensor untuk manajemen gedung

Siapa yang harus menjalankan gedung? Pengguna, dengan beberapa kontrol sederhana seperti termostat dan bukaan jendela; manajer gedung, yang memiliki pengetahuan mendalam tentang cara kerja gedung; atau komputer yang dapat menilai banyak data dan menghitung hasil yang optimal? Pertanyaan ini menginformasikan perbedaan antara sensor dan kontrol, karena perbedaannya tidak melekat pada perangkat tetapi bergantung pada siapa atau apa yang memiliki keleluasaan atas penggunaan informasi tersebut. Gambar 7.3 Sensor terpilih dari web dan literatur.

(1) Perangkat seukuran kotak kartu yang digantung di leher; (2) seperti (1) tetapi dipasang di bahu; (3) seukuran kancing pada tali lengan; (4) jam tangan; (5) sensor yang tertanam di pakaian dengan perangkat penyimpanan/pemancar kecil di badan; (6) perangkat seukuran kotak kartu yang diikatkan ke badan, memiliki kemampuan untuk beberapa masukan; (7) tali lengan; (8) seperti (1) tetapi digantung di lengan bawah; (9) tali di sekitar dahi; (10) perangkat yang tertanam di topi olahraga; (11) headset dengan beberapa simpul EEG; (12) EEG berkualitas laboratorium. Untuk informasi lebih lanjut, lihat Tabel 7.1

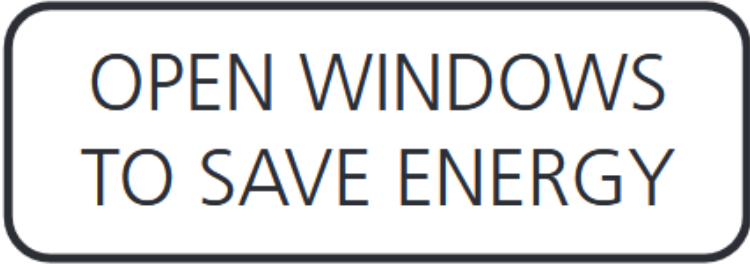
	EEG	EOG	EMG	ECG	Breathing rate	Blood pressure	Blood volume	Galvanic skin response	Skin temperature	Capnometer (CO <sub>2</sub> )	Oximetry	Acceleration	Temperature	Light levels	Light colour	GPS	IR motion detector	Altimeter	Gyroscope	Magnetometer	Bluetooth	Sound recording	Camera	Experience sampling
SenseCam (1)																								
Sociometer (2)																								
Smart phone/PDA																								
Ebutton (1)																								
Fitbit (3)																								
Basis (4)																								
Sensewear (3)																								
BodyMedia (3)																								
Lobin (5)																								
Bioharness (3)																								
Sensium (6)																								
Witherings (7)																								
Q-sensor (3)																								
EBME (6)																								
Mindmedia (6)																								
Bodywave (8)																								
Zeo (9)																								
Smartcap (10)																								
Emotiv (11)																								
EGI (12)																								

Kontrol dan otomatisasi sama-sama diinginkan dan keduanya memiliki keterbatasan. Tidak ada sistem yang benar-benar sepenuhnya otomatis atau sepenuhnya manual, tetapi berbagai aspek operasinya akan memiliki tingkat otomatisasi yang berbeda. Orang menginginkan kontrol yang bermakna dan berguna, tetapi mereka juga tidak ingin terganggu oleh hal-hal kecil dari setiap proses (mobil tidak lagi memiliki choke dan kereta tidak memerlukan roda kemudi). Informasi dari sensor dapat digunakan untuk meningkatkan pengambilan keputusan otomatis, tetapi juga dapat digunakan untuk melengkapi keputusan yang dibuat oleh pengguna dan pengelola fasilitas.

Mana yang paling tepat akan bergantung pada persyaratan khusus setiap bangunan. Contoh sederhana dari sistem tambahan tersebut digunakan sebagai pengganti bukaan jendela otomatis. Sistem otomatis rentan terhadap kegagalan baik karena aktuator jendela yang rusak atau karena tidak memungkinkan pengguna untuk mengabaikannya, dan juga mahal. Alternatifnya adalah layar elektronik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.4, yang terletak di dekat jendela yang menampilkan apakah jendela harus dibuka atau ditutup untuk menghemat energi. Sistem ini menyeimbangkan kebutuhan untuk menghemat energi dengan preferensi penghuni.

**Menggunakan data sensor untuk desain bangunan**

Seorang teman saya memainkan permainan dengan saudaranya, di mana salah satu dari mereka akan mengukur panjang sebuah objek dan yang lainnya harus menebaknya. Perancang bangunan, jika mereka ahli, seharusnya tidak terkalahkan dalam permainan ini karena mereka selalu melihat denah dan gambar serta mengubah pengukuran numerik menjadi realitas fisik; mereka juga harus pandai memahami konsekuensi realitas bagi berbagai orang. Seberapa lebar seharusnya koridor, lorong, atau papan loncat?



OPEN WINDOWS  
TO SAVE ENERGY

**Gambar 7.4 Data Sensor Dapat Memberikan Informasi Tambahan Kepada Pengguna Untuk Melengkapi Pengambilan Keputusan Mereka**

Hal yang sama dapat dikatakan untuk semua parameter fisik yang menggambarkan dunia kita. Dapatkah seorang desainer masuk ke sebuah ruangan dan langsung mengetahui seberapa terang cahayanya, apa warna dindingnya, dan apa respons frekuensinya? Dan ketika mendesain sebuah tempat, apakah mungkin untuk memikirkan bagaimana rasanya ketika seseorang memasukinya dan segera menerjemahkannya ke dalam sekelompok parameter yang menjadi ciri ruang tersebut?

Desainer harus melintasi dunia manusia dan benda serta kata-kata dan angka. Di satu sisi ada deskripsi ilmiah, yang menggunakan angka dan model untuk mewakili dan memprediksi sesuatu, di sisi lain ada orang-orang yang mengalami dunia dan menggambarkannya dengan kata-kata dan perasaan. Seorang desainer yang baik harus dengan mudah melangkah dari parameter ke makna. Banyak perangkat data yang dibahas dalam bab ini berukuran kecil, tidak mencolok, dan dapat digunakan untuk jangka waktu yang lama. Perangkat untuk mengumpulkan pengalaman manusia memerlukan lebih banyak masukan dari penggunaannya tetapi memberikan wawasan yang penting untuk memahami pengalaman bangunan.

Bersama-sama, perangkat tersebut dapat menyediakan gudang informasi yang besar yang menghubungkan parameter fisik, persepsi pribadi, dan bagaimana hal-hal tersebut membentuk perilaku. Hal ini dapat membuat desain bangunan lebih intuitif, tidak terlalu terikat oleh standar, dan pada akhirnya lebih kreatif dan orisinal dalam memenuhi kebutuhan penghuninya.

## **BAB 8**

### **DESAIN RUANG CERDAS UNTUK KEHIDUPAN DAN PEKERJAAN**

Ruang untuk tinggal dan bekerja memiliki banyak fungsi dan melayani kebutuhan manusia dalam banyak hal. Penghuninya menikmati fasilitas fisik serta fungsi sosial dan budaya. Karena fungsi ruang jauh melampaui fungsi fisik, ruang dapat dilihat sebagai 'ruang sosial'. Nilai ruang sosial dapat ditentukan, dan sering dibatasi oleh, keterbatasan ruang fisik, tetapi dapat dipengaruhi oleh banyak faktor lain, seperti warna, tata letak, dekorasi internal, atmosfer, dan properti informasional lainnya dari ruang tersebut. Nilai ruang dapat lebih ditingkatkan dan dihargai jika faktor-faktor ini dapat disesuaikan dengan preferensi pribadi penghuninya. Hal ini memerlukan kecerdasan ruang.

Bab ini memperkenalkan area ruang cerdas yang luas dan mempertimbangkan peran informasi dan teknologi informasi. Semiotika, teori yang mendasari studi informasi dan pengaruh informasi terhadap pengguna manusia, diperkenalkan, dan teknik semiotik dibahas terkait bagaimana teknik tersebut digunakan dalam desain dan pengembangan ruang yang invasif. Sebuah studi kasus menunjukkan bagaimana penambahan kecerdasan komputasional dalam sistem manajemen gedung dapat digunakan untuk mengadaptasi aktivitas gedung di sekitar kebutuhan yang ditentukan manusia.

#### **8.1 INFORMATIKA YANG INVASIF**

'Informatika' memiliki banyak definisi, yang mencerminkan latar belakang sejarahnya yang panjang dan berbagai domain tempat istilah tersebut digunakan. Dalam bab ini, kami berfokus, bukan pada dimensi teknis atau struktural, pada sifat informasi dan pada interaksi yang ada antara informasi dan orang-orang. Selama masa pakainya, informasi dapat dibuat, dikelola, dan didistribusikan menggunakan teknologi atau disampaikan olehnya.

Oleh karena itu, kami mendefinisikan informatika sebagai studi informasi selama masa pakainya; yaitu, informatika berhubungan dengan pembuatan, pengelolaan, distribusi, dan pemanfaatan informasi dalam kegiatan ilmiah dan ekonomi. Teknologi hanya digunakan untuk memfasilitasi para pelaku (yaitu komputasi otonom yang mampu, dalam konteksnya, untuk bertindak dan berinteraksi dengan tepat) dengan alat untuk berinteraksi dengan lingkungan.

'Pervasif' adalah kata sifat dari akar kata 'pervade', yang menyiratkan penyebaran ke seluruh. Oleh karena itu, informatika pervasif adalah studi informasi di lingkungan tempat informasi itu, atau dapat, bersifat pervasif; dan dalam konteks bab ini merupakan bidang penelitian interdisipliner yang berfokus pada bagaimana informasi memengaruhi interaksi manusia dalam lingkungan binaan.

Ketika batas informasi antara 'sosial' dan 'fisik' menjadi kabur, lingkungan binaan menyediakan infrastruktur fisik untuk interaksi sosial. Lingkungan binaan menyediakan konteks tempat ruang sosial dapat dibangun; yang memungkinkan nilai lingkungan binaan diukur melalui layanan dan interaksi yang disediakan untuk pengguna. Ruang sosial bergantung pada, dan/atau dibatasi oleh, keterbatasan ruang fisik. Pengembangan ruang fisik

yang tepat, untuk meningkatkan tingkat interaksi antara ruang dan penghuninya, dapat dicapai dengan memahami kebutuhan informasi pengguna dan menggunakan teknologi yang tepat, seperti perangkat pintar dan sistem kontrol cerdas, untuk memantau dan mengendalikan arus informasi ini.

Oleh karena itu, ruang yang luas dicirikan oleh interaksi yang intens antara penghuni dan lingkungan binaan. Ruang yang merambah juga bersifat 'cerdas', yang biasanya mengacu pada penyertaan metode dan teknik kecerdasan buatan (AI) untuk menyeimbangkan kebutuhan pengguna dengan biaya atau alokasi sumber daya. Ruang yang merambah secara cerdas sering kali memiliki mekanisme kontrol otomatis untuk mencapai efisiensi energi dan keberlanjutan, peningkatan kesejahteraan penghuni dan kualitas hidup (seperti kenyamanan), peningkatan nilai sosial (seperti produktivitas), atau kombinasi dimensi yang ditentukan oleh indikator kinerja utama.

Kombinasi ruang, aktor, sistem, dan informasi yang diproduksi (dan dipertukarkan) merupakan hal mendasar untuk mendefinisikan sistem merambah yang kompleks. Namun, ketika gagasan tentang ruang cerdas dipertimbangkan, kompleksitasnya semakin meningkat ketika kita menyadari bahwa bangunan bersifat sosio-teknis. Manusia berinteraksi dengan manusia lain, tetapi juga dengan dan melalui ruang dan artefak apa pun di dalamnya. Oleh karena itu, ruang harus bereaksi terhadap aktivitas, dan informasi yang diberikan oleh, penghuni. Entitas sosial dan teknis dipandang, dalam ruang cerdas, sebagai saling bergantung, yang telah mengarah pada pendekatan interdisipliner untuk penelitian di bidang ini. Untuk memudahkan pemahaman kita tentang kecerdasan, kini kami memperkenalkan teknologi komputasi dan AI; yang umumnya digunakan dalam domain ruang pervasif cerdas.

## 8.2 TEKNOLOGI KOMPUTASI DAN KECERDASAN BUATAN

Kecerdasan telah didefinisikan dalam berbagai cara, tetapi para sarjana tidak sepakat tentang definisi umum. Namun, kecerdasan tampaknya bergantung pada kemampuan untuk menggunakan abstraksi; sehingga memungkinkan kita untuk memisahkan ide dari objek yang terkait dengannya. Kecerdasan mencakup kemampuan untuk mengomunikasikan pemahaman dan penalaran kita tentang abstraksi ini dengan cara yang mendukung pembelajaran, yang sangat penting untuk mengembangkan area pemahaman, komunikasi, penalaran, perencanaan, kecerdasan emosional, dan pemecahan masalah.

AI adalah kecerdasan mesin atau, lebih tepatnya, simulasi kecerdasan oleh mesin. Teknik kecerdasan komputasional biasanya merupakan metodologi komputasi yang terinspirasi dari alam, yang bertujuan untuk mengatasi masalah kompleks dalam dunia nyata. Teks berikut merangkum teknik kecerdasan utama, yang akan mendukung pembaca dalam memahami ruang pervasif cerdas. Sistem pakar adalah sistem yang menangkap pengetahuan dari pakar domain dalam bentuk pernyataan IF THEN ELSE; sering dikenal sebagai bentuk 'tindakan kondisi'. Mesin inferensi dapat mencocokkan, memilih, dan mengeksekusi aturan (misalnya forward chaining), dengan demikian menyimpulkan keputusan/output pakar tanpa perlu kehadiran pakar secara terus-menerus.

Selain itu, kita dapat menggunakan mesin inferensi untuk menentukan input yang

diperlukan untuk mengaktifkan output yang diinginkan (misalnya backward chaining). Logika fuzzy, sering dikaitkan dengan interpretasi linguistik, berkaitan dengan penggunaan logika bernilai ganda. Berbeda dengan logika Boolean tradisional, logika fuzzy memiliki konsep kebenaran yang mendekati. Kebenaran pernyataan, seperti 'Apakah Anda merasa nyaman?', tidak statis, karena hasilnya bergantung pada orang yang ditanyai dan konteks pertanyaan.

Jaringan saraf tiruan (ANN) berupaya mensimulasikan fungsi sel otak manusia, yang terlibat dalam penangkapan pola spasial/temporal. Dengan melatih sistem untuk membedakan set input yang dapat diterima dan tidak dapat diterima, input mendatang dapat ditentukan berada dalam ruang dimensi data uji yang dapat diterima atau tidak dapat diterima sebelumnya. ANN dapat digunakan untuk mensimulasikan fungsi dan klasifikasi data yang tampaknya tidak logis, atau dapat digunakan sebagai bagian dari pemrosesan data.

Algoritma genetika adalah metode pencarian heuristik yang mendukung pengoptimalan output (yaitu kebugaran) dengan mengembangkan perubahan dalam set input variabel dalam pengujian generasi berikutnya. Pengoptimalan dihentikan jika kriteria yang memuaskan tercapai, atau jika sejumlah generasi diproduksi tanpa perbaikan. Pembiakan set input sering kali memberikan kombinasi input, dan terkadang hasil output kebugaran, yang mungkin tidak dipertimbangkan oleh desainer yang menggunakan metodologi pengembangan tetap tradisional.

Sistem multi-agen (MAS), yang diterapkan dalam studi kasus contoh yang diberikan nanti dalam bab ini, adalah sistem yang dibangun dari sekelompok agen yang berinteraksi. Agen umumnya merupakan perangkat lunak yang sebagian anonim; namun, agen robot dan/atau manusia dapat digunakan, yang memiliki sebagian pandangan global terhadap sistem. Tidak ada kontrol terpusat dengan implementasi MAS, meskipun melalui negosiasi, hasil positif dapat dicapai yang menguntungkan semua agen yang terlibat. Dengan pemahaman tentang teknik kecerdasan komputasional umum, mari kita lihat lebih detail apa yang membuat ruang menjadi cerdas dan/atau invasif.

### **8.3 GAGASAN RUANG CERDAS**

Meskipun tidak ada definisi kecerdasan di ruang yang diterima secara universal kami mendefinisikan kecerdasan sebagai pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan kinerja keseluruhan aktivitas di ruang tersebut. Oleh karena itu, untuk mencapai ruang cerdas, kami memerlukan infrastruktur teknologi yang sangat terintegrasi, untuk memungkinkan penyelarasan informasi dan aktivitas fisik.

Selain itu, setiap persyaratan pengguna fisik khusus harus dipertimbangkan dan dimasukkan ke dalam struktur ruang untuk memungkinkan ketersediaan informasi, sehingga mendukung penggunaan teknik komputasi, dan dengan demikian mendukung potensi kecerdasan. Penelitian ruang cerdas, berkembang menjadi paradigma baru yang menarik, yang menggabungkan berbagai teknologi dan bidang penelitian (termasuk komputasi pervasif, di mana-mana, dan grid), serta studi di bidang lain seperti ekonomi, manajemen pengetahuan, kegunaan, dan informatika.

Komputasi pervasif adalah tentang membuat hidup lebih sederhana melalui

lingkungan digital yang secara komputasional merasakan, mengadaptasi, dan menanggapi kebutuhan manusia melalui integrasi teknologi computer. Ruang pervasif cerdas kemudian menyediakan layanan komputer dan komunikasi dengan cara yang lebih nyaman, lancar, transparan, dan menyenangkan untuk memfasilitasi penyediaan informasi. Oleh karena itu, ruang pervasif cerdas adalah 'ruang sosial dan fisik dengan kemampuan yang ditingkatkan melalui TIK bagi manusia untuk berinteraksi dengan lingkungan binaan'. Ruang pervasif cerdas harus memiliki fitur-fitur berikut.

- Lingkungan sosial dan fisik tempat orang dapat berinteraksi.
- Dinamika komputasi otomatis untuk mendukung berbagai aktivitas.
- Kemampuan untuk berkomunikasi dengan sistem layanan lain (misalnya keamanan, kontrol akses, lift, dan parkir).
- Manajemen sumber daya berkelanjutan (misalnya energi, penggunaan air, pembuangan polusi, dan limbah).

Oleh karena itu, setiap ruang cerdas yang merambah harus dapat beradaptasi, dan harus diotomatisasi untuk menyediakan layanan perumahan atau bisnis melalui teknologi komunikasi informasi dan perangkat yang ada di mana-mana yang terhubung.

#### **Penelitian dalam ruang cerdas yang merambah**

Potensi informatika yang merambah, dalam upaya memajukan pemahaman kita tentang interaksi sosial, telah diakui secara terbuka, dengan beberapa lembaga akademis besar di seluruh dunia menerima dana yang signifikan untuk memulai berbagai aktivitas penelitian. Misalnya, pada bulan Juli 2009, Universitas Indiana membuka, dengan biaya \$15 juta selama 5 tahun, sebuah Institut Teknologi Pervasif yang sekarang berupaya untuk mendorong aktivitas penelitian di bidang teknologi bangunan cerdas.

Rumah pintar 'siap pakai', jaringan sensor, kotak surat pintar, jendela pintar, tirai otomatis, kamar mandi pintar, dll. semuanya telah dikembangkan untuk digunakan di ruang cerdas yang tersebar luas. Namun, hingga saat ini, pengembangan teknologi bangunan cerdas sebagian besar didorong oleh pengembangan teknologi daripada kebutuhan dan tujuan penghuni. Akibatnya, terdapat kesenjangan antara persyaratan klien dan penyediaan layanan yang dihasilkan dalam rumah cerdas, tempat kerja, sekolah, rumah sakit, dll.

Pekerjaan telah dilakukan untuk mengatasi masalah penyediaan layanan bangunan cerdas yang berfokus pada pengguna ini, seperti yang dilakukan oleh DDB, yang memungkinkan klien untuk menempatkan persyaratan aktivitas mereka ke dalam model virtual untuk digunakan oleh pengembang layanan. Namun, mendapatkan keseimbangan antara semua persyaratan pengguna yang berpotensi saling bertentangan merupakan tantangan khusus.

Di bagian berikut, kami membahas teori dan teknik terkait yang dapat digunakan di ruang cerdas yang tersebar luas untuk mendukung studi persyaratan sistem yang berorientasi sosial. Teori dan teknik yang relevan dengan informatika pervasif Ketika mempertimbangkan ruang pervasif cerdas, kami mempertimbangkan konsep yang lebih berorientasi sosial, seperti interaksi antara orang, interaksi antara orang dan ruang fisik, dan interaksi antara ruang fisik dan artefak teknologi (yaitu kecerdasan ruang).



Semua interaksi memerlukan produksi dan penjelasan informasi. Untuk memahami interaksi ini, pertimbangan dan apresiasi terhadap interaksi sosial dan fisik diperlukan. Oleh karena itu, dalam bagian ini kami secara singkat mempertimbangkan teori yang memungkinkan kita untuk menggabungkan ruang sosial dan fisik/teknis.

### **Teori sistem sosio-teknis**

Teori sistem sosio-teknis (STS) dikembangkan pada tahun 1950-an sebagai penolakan terhadap mode penjelasan yang murni teknologis. Contoh studi STS, yang dilakukan oleh Trist dan Bamforth, mengkritik metode penambangan yang ada saat itu, yang berfokus pada efisiensi teknis, dan menyoroti transformasi sosial negatif yang akan ditimbulkan oleh metode yang baru dikembangkan. Namun, serangkaian ide yang lebih radikal muncul dari pengembangan teori jaringan aktor (ANT).

Alih-alih mengamati proses penyelidikan yang murni ilmiah dan objektif, ANT mengungkap praktik ilmiah sebagai sesuatu yang sangat sosial, politis, dan, yang terpenting, sangat tidak logis dan berantakan. Selain aktor manusia, ANT memasukkan artefak material yang terlibat dalam penciptaan pengetahuan, dengan entitas manusia dan nonmanusia diperlakukan secara metodologis sama. Hal ini memungkinkan kritik terhadap sosiologi arus utama dan perlakuannya terhadap 'sosial' sebagai sesuatu yang berbeda dari psikologis dan material.

Oleh karena itu, seorang aktor dapat terdiri dari entitas yang berpotensi berbeda - orang, artefak, dan informasi. Melalui jaringan hubungan dan interaksi entitas inilah suatu aktivitas dilakukan, tetapi hal ini menimbulkan masalah tentang bagaimana secara metodologis menangkap informasi dari aktor nonmanusia. Solusi yang dikembangkan sering kali menganggap mesin sebagai teks, yang merupakan ide yang menghubungkan STS dengan metodologi semiotika, seperti yang dibahas kemudian dalam bab ini. Misalnya, sebuah bangunan akan dirancang oleh sejumlah aktor manusia (yaitu arsitek dan insinyur), namun desainnya difasilitasi oleh komputer dan berpotensi bergantung pada artefak material.

Fungsi atau fitur tertentu, baik estetika maupun praktis, akan dirancang ke dalam bangunan. Namun, setelah dibangun, keputusan yang dibuat oleh para aktor tetap ada, dan memengaruhi kemampuan pengguna untuk berinteraksi dengan ruang tersebut. Bangunan dapat dilihat sebagai serangkaian skrip interaksi yang dirancang, yang dibangkitkan oleh pengguna saat mereka berinteraksi dengan ruang tersebut. Semakin dekat skrip aktivitas bangunan tersebut dengan persyaratan pengguna, semakin besar kemungkinan bangunan tersebut akan memenuhi penggunaan praktis.

Skrip terkadang dapat ditulis ulang, misalnya dalam kasus dinding partisi, dan dapat dirancang untuk memungkinkan dan melarang aktivitas tertentu oleh kelompok pemangku kepentingan tertentu untuk meningkatkan keselarasan antara skrip dan aktivitas. Dengan mengadopsi konsep sistem sosio-teknis, kita dapat secara dinamis menyelidiki dan memetakan jaringan kompleks, yang mendukung ruang cerdas yang dapat digunakan. Dengan menggunakan metafora tekstual untuk memetakan interaksi antara manusia, teknologi, dan ruang, kita dapat dengan cepat mengidentifikasi perubahan; dengan demikian menyediakan ruang cerdas yang lebih fleksibel dan adaptif.



### **Kognisi terdistribusi**

Dalam kognisi terdistribusi, interaksi di antara manusia, yang terjadi dalam suatu lingkungan, dianalisis berdasarkan interaksi informasi yaitu 'kognisi yang dapat diamati', yang didasarkan pada teori bahwa lingkungan tempat manusia berinteraksi dengan rangsangan eksternal dapat diperlakukan sebagai sistem kognitif.

Analisis kognisi terdistribusi memberikan penjelasan tentang bagaimana informasi diteruskan dan diproses, tidak hanya melalui representasi mental manusia, tetapi juga melalui representasi yang ditangkap oleh artefak (misalnya sistem pengetahuan). Karena kognisi terdistribusi berfokus pada interaksi sosial dan interaksinya dengan lingkungan, hal itu dapat digunakan sebagai kerangka kerja teoritis dan metode analisis untuk mempelajari ruang yang luas.

### **Pendekatan CSCW**

Sejumlah konsep dalam kerja kolaboratif yang didukung komputer berlaku untuk domain informatika yang luas. Gaver memperkenalkan gagasan ruang media sebagai 'jaringan peralatan audio dan video yang dapat dikontrol komputer yang digunakan untuk mendukung kolaborasi sinkron', yang mencirikan ruang media dalam hal teknologi. Selain itu, affordance Gibson, yang awalnya dikaitkan dengan ruang fisik, dianalisis dalam konteks ruang yang diciptakan oleh ruang media, dengan demikian menganalisis secara kritis konsep ruang sebagai metafora.

Harrison dan Dourish berpendapat bahwa metafora ruang, yang dominan dalam desain sistem kolaboratif, tidak cukup menangkap konstruksi sosial, dan sebaliknya menyarankan bahwa 'tempat' adalah metafora yang lebih cocok untuk digunakan untuk lingkungan interaksi. Pengamatan serupa dilakukan oleh Fitzpatrick dkk yang membedakan antara 'tempat' dan 'lokal', dunia fisik dan sosial tempat aktivitas berlangsung. Perbedaan seperti itu berguna saat memahami ketergantungan kompleks antara konfigurasi sosial dan fisik norma dan artefak di ruang yang luas.

Selain masalah ruang dan tempat, CSCW menyoroti gagasan kesadaran. Bly dkk. merujuk pada kesadaran dalam konteks interaksi sosial; misalnya, pemangku kepentingan mana yang hadir dan aktivitas apa yang sedang terjadi. Dalam kajian ruang yang meresap, kemudahan yang diberikan ruang, dan dengan demikian interaksi yang terjadi dalam ruang tersebut, menyediakan peluang yang sangat baik untuk mempelajari gagasan tentang kesadaran.

### **Informatika pervasif**

Informatika pervasif sering kali dipandang sebagai istilah lain untuk komputasi pervasif atau di mana-mana; namun, 'informatika' berfokus pada studi informasi, dan 'komputasi' berkaitan dengan kemampuan komputasi dan/atau pemrosesan informasi. Informatika pervasif tidak mewajibkan penggunaan komputer; melainkan berkaitan dengan sifat informasi yang lebih analitis dan pervasif. Ruang pervasif yang cerdas sering kali bergantung pada komputasi pervasif, tetapi informatika pervasiflah yang meneliti interaksi informasi yang terjadi di ruang pervasif.

Semua konsep, teori, dan teknik di atas memfasilitasi pengembangan metodologi

dalam domain informatika pervasif. Kita memahami peran informasi dalam interaksi antara ruang dan penghuninya, dan efek sosio-teknis yang diciptakan bersama oleh himpunan ini. Untuk mendukung pemahaman interaksi ini, perspektif lain dapat diperkenalkan, yaitu semiotika.

#### **8.4 DESAIN DAN IMPLEMENTASI: SEMIOTIKA UNTUK REKAYASA PERSYARATAN**

Minat kami dalam bab ini berkaitan dengan pertimbangan ide-ide baru yang menunjukkan potensi untuk menjadi umum dalam ruang cerdas yang luas. Dalam bagian ini, kami mempertimbangkan teori semiotika dan penerapannya dalam domain rekayasa persyaratan konstruksi. Rekayasa persyaratan adalah proses penggalian, representasi (atau pemodelan) dan validasi persyaratan.

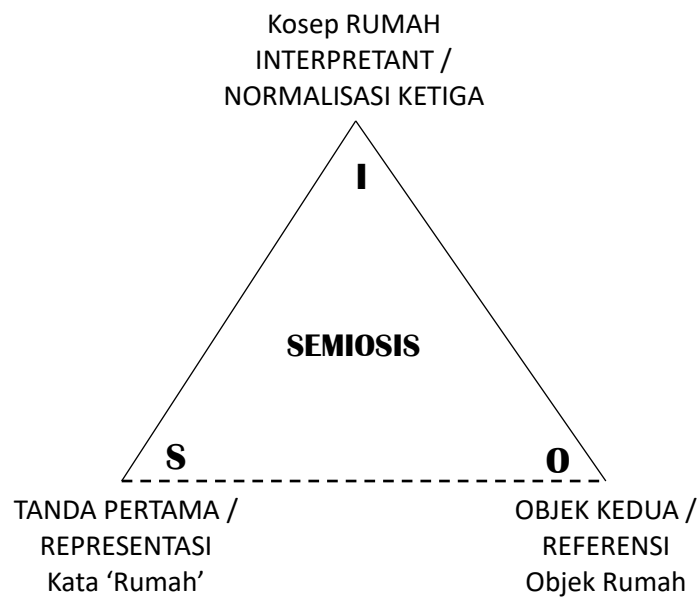
Rekayasa persyaratan penting dalam setiap proyek yang melibatkan pemangku kepentingan dan/atau produksi artefak yang melayani aktivitas pelanggan. Meskipun penting untuk melibatkan semua pemangku kepentingan, karena kendala biaya dan waktu, metodologi persyaratan tradisional sering kali hanya memenuhi persyaratan penting yang diprioritaskan. Metode semiotik, yang sekarang akan diperkenalkan, merupakan pendekatan baru dalam domain studi persyaratan.

##### **Semiotika**

Kata 'semiotika' berasal dari kata Yunani gejala, dari studi tanda-tanda medis, namun telah menjadi sarana untuk memahami dunia sebagai sistem hubungan antara 'tanda'. Tanda adalah sesuatu yang mewakili sesuatu yang lain (misalnya sinyal, suara, objek alami atau artefak), dengan semiotika didefinisikan sebagai doktrin formal tentang tanda. Ferdinand de Saussure dan Charles Sanders Peirce melakukan penyelidikan independen terhadap hubungan antara pengetahuan dan tanda.

Karya gabungan mereka memberikan dasar bagi semiotika, doktrin tentang tanda, yang bertujuan untuk melihat ke dalam 'kehidupan tanda dalam masyarakat'. Saussure menjelaskan kesatuan penanda dan yang ditandakan sebagai mekanisme budaya. Sebuah kata, misalnya, yang digunakan sebagai tanda, seperti kata 'rumah', dikaitkan dengan sesuatu yang ditandakan. Oleh karena itu, bagi komunitas pengguna tertentu, hubungan antara kata dan objek dipahami. Namun, penandaan ini didasarkan pada kode bahasa budaya. Peirce mengembangkan sistem semiotika triadik yang, bagi banyak orang, tampaknya lebih kuat daripada sistem Saussure.

Model semiotika ini, yang disebut semiosis, melibatkan tiga bagian: tanda (atau representamen) yang menyampaikan ide ke dalam pikiran; objek, yang direpresentasikan oleh tanda, dan interpretan, yang merupakan perubahan keadaan batin penafsir (yang disebabkan oleh penafsiran tanda). Tanda dapat berupa kata-kata, gambar, suara, gerakan, objek, atau apa pun yang mengandung makna. Namun, tanda-tanda tersebut tidak dipelajari secara terpisah, tetapi harus dipertimbangkan bersamaan dengan konteks sosial tempat tanda tersebut digunakan. Oleh karena itu, proses semiosis merupakan proses pembuatan makna yang penting dalam semiotika, dan mencerminkan fakta bahwa makna tidak terkandung dalam tanda, tetapi muncul dalam penafsiran tanda.



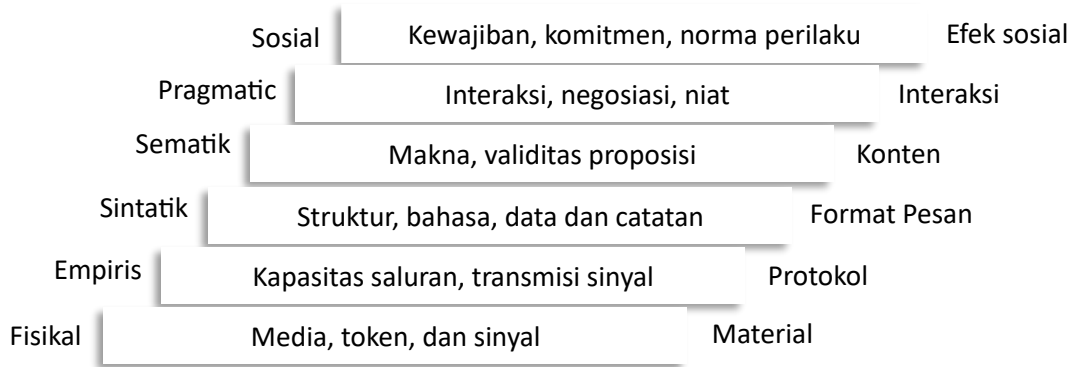
**Gambar 8.1 Proses Semiosis**

Pada Gambar 8.1, sudut kiri bawah segitiga mendefinisikan gagasan representamen. Hal ini dapat berkaitan dengan apa pun yang merujuk pada konsep selain dirinya sendiri. Objek di sudut kanan bawah adalah konsep yang dirujuk oleh tanda. Garis putus-putus yang menghubungkan representamen dan objek menunjukkan bahwa hubungan apa pun di antara keduanya ditetapkan secara subjektif oleh interpretan. Objek terbentuk dalam pikiran interpreter (agen), sebagai hasil dari kehadiran tanda.

Namun, penting untuk dicatat bahwa interpretasi agen terhadap tanda bergantung pada konteks sosial agen, yang mencakup norma-norma budaya dan sosial (yaitu konvensi dan aturan eksplisit dan implisit yang mengatur perilaku orang). Peirce awalnya menyusun tiga bidang semiotika yang berbeda, yang dikenal sebagai sintaksis, semantik, dan pragmatik, yang digabungkan untuk mempelajari sifat-sifat dan penggunaan tanda-tanda tertentu. Untuk ketiga judul ini, Stamper menambahkan tiga lagi: empiris, dunia fisik, dan dunia sosial. Meskipun karyanya telah banyak digunakan dalam menganalisis organisasi bisnis dan sistem informasi desain, relevansinya dengan desain bangunan dapat dilihat dengan jelas.

### **Semiotika bangunan**

Bangunan, selain sebagai konstruksi yang melayani tujuan fisik dan ekonomi, juga menggabungkan serangkaian pesan fungsional dan sosial yang kompleks sebagai tanda. Meskipun persyaratan bangunan fungsional dapat ditangkap menggunakan teknik persyaratan konvensional, persyaratan non-fungsional dan sosial sering kali sulit untuk ditentukan meskipun sangat penting bagi aktivitas yang meluas. Mempelajari bangunan dari perspektif semiotik memfasilitasi peningkatan pemahaman kita tentang bagaimana bangunan menyediakan tanda bagi pengguna, oleh karena itu mendukung penangkapan, dan desain untuk, kebutuhan pengguna.



**Gambar 8.2 Penerapan Kerangka Semiotik Pada Studi Bangunan (Berdasarkan Stamper (1973))**

Semiotika organisasi merupakan cabang semiotika yang diterapkan dalam studi informasi yang digunakan untuk komunikasi dan aktivitas terkoordinasi. Anggota masyarakat menggunakan tanda untuk menarik perhatian satu sama lain dan mengoordinasikan tindakan untuk mencapai tujuan mereka. Teknologi informasi dan artefak lainnya digunakan untuk mendukung peran dan fungsi anggota dalam suatu organisasi. Untuk melakukan tindakan yang bertujuan, tanda dibuat, diproses, dan dikonsumsi oleh pemangku kepentingan yang bertujuan untuk mencapai tujuan sosial dan ekonomi tertentu.

Orang-orang dalam organisasi melaksanakan tugas dan tanggung jawab, dan bertindak sesuai dengan aturan atau norma sosial, budaya, dan bisnis. Selama pengumpulan persyaratan dan desain dalam suatu bangunan, kerangka kerja semiotic dapat digunakan untuk mengarahkan perhatian kita pada aspek-aspek penting dari desain. Tiga tingkat terbawah berhubungan dengan infrastruktur bangunan. Pada tingkat fisik, material yang digunakan harus memenuhi persyaratan fungsional dasar. Pada tataran empiris, arsitektur bangunan harus memenuhi standar fisik dan mekanis tertentu (misalnya kapasitas, ketahanan terhadap berat dan tekanan).

Pada tataran sintaksis, mungkin ada persyaratan fisik yang berkaitan dengan tata letak ruang, serta kualitas dekorasi interior dan eksterior. Tiga tataran teratas berkaitan dengan konteks dan penggunaan ruang. Tataran semantik mungkin berkaitan dengan bagaimana tata letak dan dekorasi memengaruhi kegunaan. Bangunan menyediakan lingkungan bagi pengguna. Pengguna dan bangunan akan membangun ketergantungan bersama. Dengan demikian, bangunan yang dirancang dengan baik mendorong interaksi yang tepat antara bangunan dan pengguna.

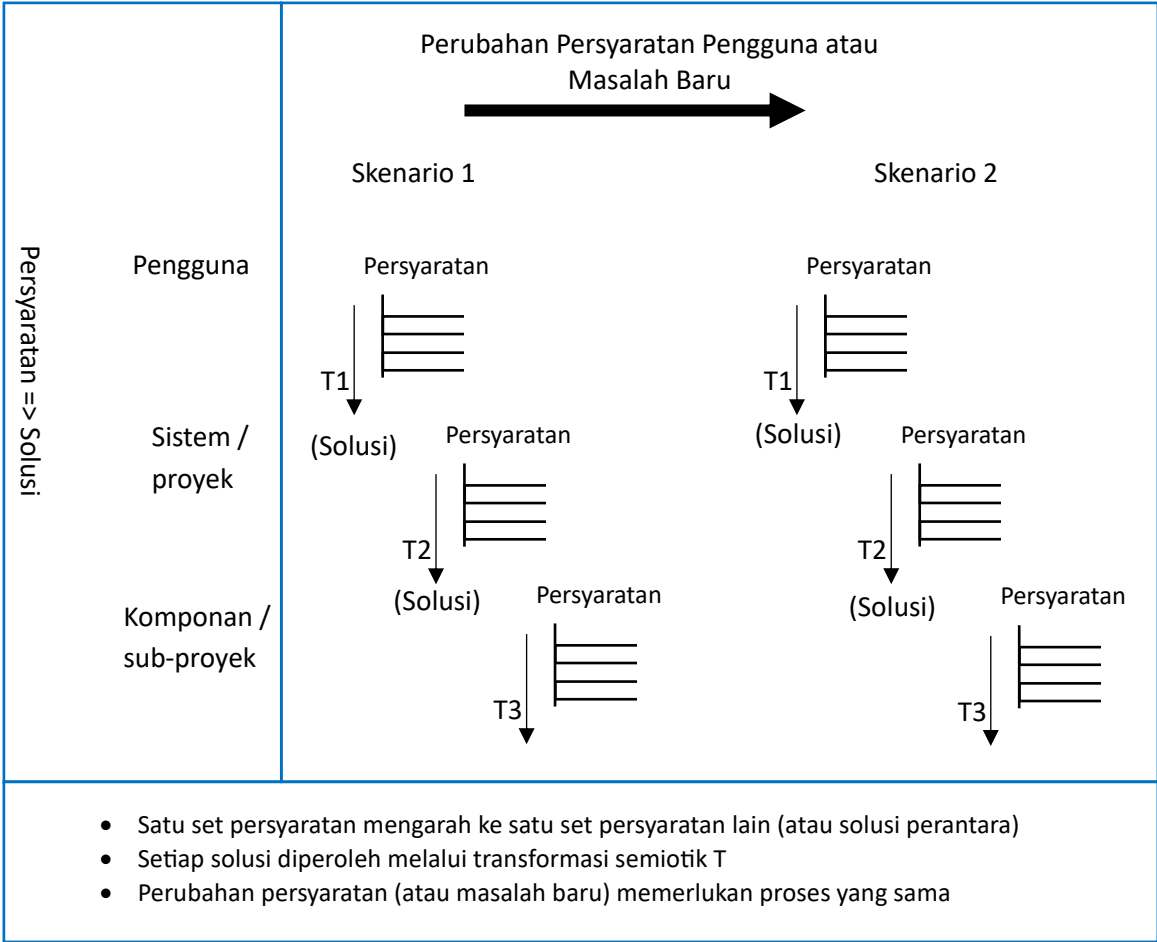
Pada tataran pragmatis, setiap bagian bangunan dapat dirancang untuk menyampaikan maksud dan manfaat. Misalnya, bagian depan yang megah di sebuah hotel dapat digunakan untuk menanamkan kekayaan atau sejarah ruang kepada penghuninya. Dengan demikian, memperhatikan penciptaan makna yang dihargai secara budaya dalam desain dapat meningkatkan hubungan interaksi antara bangunan dan pengguna. Penggunaan sosial suatu bangunan juga harus dimasukkan dalam desain ruang, tetapi tidak boleh sulit untuk diamati; misalnya, perbedaan desain antara penjara dan hotel terlihat jelas. Meskipun kedua bangunan

tersebut berisi kamar tidur, ruang makan, dan ruang tamu, penjara berupaya untuk menekankan penghapusan hak-hak sosial dan hukum para narapidana, sementara hotel berupaya untuk menunjukkan keramahan dan keramahtamahan kepada semua pelanggan.

### **Model semiotik untuk rekayasa persyaratan**

Dalam proyek rekayasa berskala besar, memperoleh persyaratan dari semua pemangku kepentingan penting dan membentuk hasil yang memenuhi kebutuhan pengguna merupakan tantangan yang cukup besar. Tim yang berbeda dan anggota dalam tim bertanggung jawab atas berbagai bagian proyek, yang semuanya menghasilkan solusi yang ditentukan oleh tanggung jawab yang diberikan. Oleh karena itu, proses pengumpulan persyaratan ini dan perancangan serta pengembangan bangunan secara keseluruhan merupakan proses yang kompleks dan dapat dilihat sebagai serangkaian transformasi antara persyaratan dan solusi (yaitu transformasi semiotik). Contoh transformasi semiotik diberikan dalam Gambar 8.3, yang menunjukkan bagaimana persyaratan awal pengguna menghasilkan serangkaian solusi. Setiap solusi dihasilkan oleh anggota tertentu dalam setiap transformasi, T.

Solusi tersebut kemudian dapat mengubah persyaratan untuk tahap proyek berikutnya. Siklus persyaratan yang terus berkembang merupakan proses rekursif, dan dapat dinyatakan dengan aksioma: persyaratan → solusi → persyaratan, yang menyiratkan bahwa, jika terjadi perubahan pada persyaratan pengguna, solusi awal mungkin harus ditinjau ulang untuk memenuhi persyaratan baru yang terbentuk dalam domain bisnis yang terus berkembang. Akan tetapi, sangat penting bagi pemangku kepentingan utama untuk mengetahui perubahan dalam transformasi, karena kegagalan untuk melakukannya dapat mengakibatkan hasil yang tidak konsisten, dan solusi akhir yang bertentangan dengan kebutuhan pengguna yang terus berkembang.



**Gambar 8.3 Transformasi Semiotik Antara Persyaratan Dan Solusi (Liu Et Al. 2002a)**

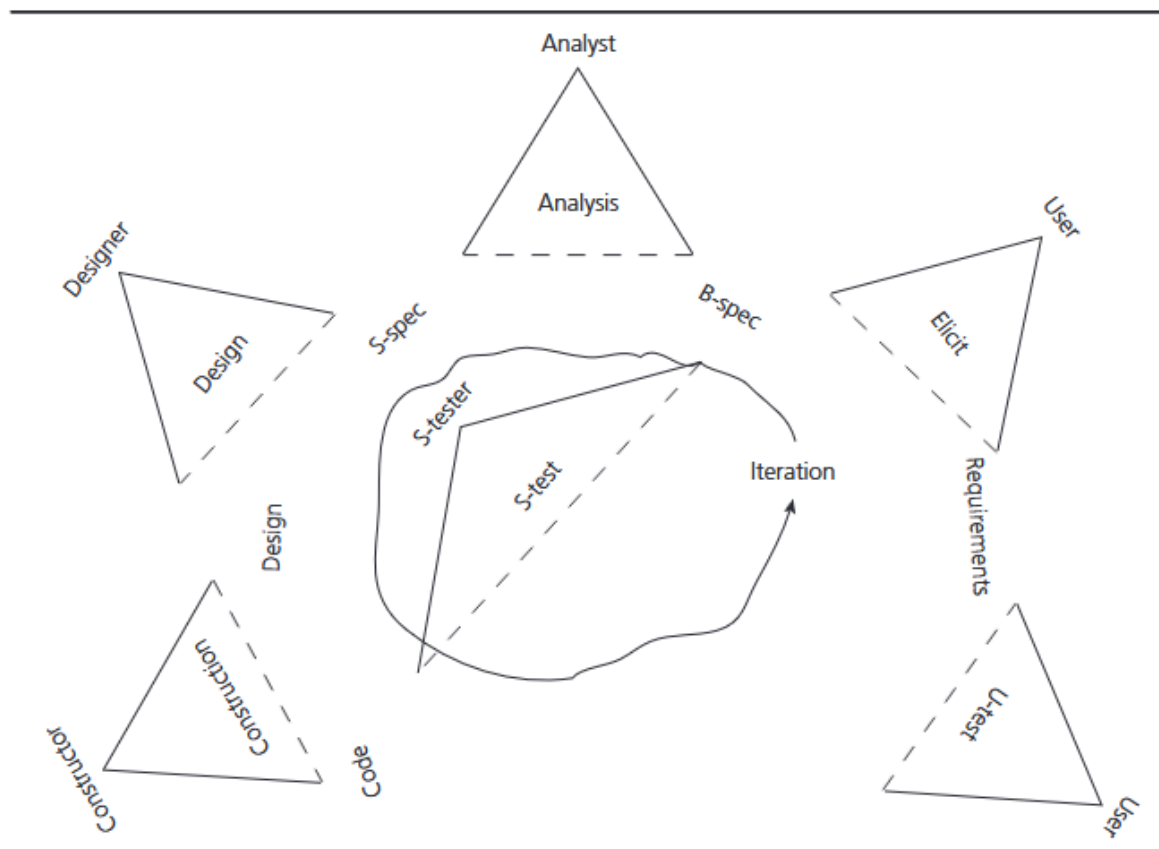
**Transformasi semiotik dalam rekayasa konstruksi**

Seorang analis persyaratan pada dasarnya mencoba untuk merepresentasikan persyaratan pengguna (objek dalam proses semiosis) sebagai spesifikasi persyaratan (tanda) pada berbagai tahap proses rekayasa konstruksi. Oleh karena itu, tugas utama analis adalah untuk menyusun solusi yang tepat guna memastikan bahwa definisi spesifikasi mencerminkan persyaratan semua pemangku kepentingan, dan bahwa hubungan antara persyaratan tetap terjaga dengan baik.

Gambar 8.4 mengilustrasikan kemungkinan peran dan tugas dari berbagai pemangku kepentingan yang terlibat dalam proyek rekayasa konstruksi. Prosesnya dimulai dengan pengguna yang membuat persyaratan awal; namun, pelaku lain secara berulang menggabungkan tugas mereka sendiri. Hasil analis dapat memengaruhi desain, yang memerlukan penyusunan ulang dokumen desain. Sebagai tanggapan, seorang insinyur mungkin harus menghasilkan solusi yang disesuaikan guna memastikan bahwa desain baru memenuhi spesifikasi yang disesuaikan. Pengiriman akhir dari insinyur konstruksi, dan produk yang akan tersedia bagi pengguna, harus mencerminkan perubahan pada hasil sebelumnya.

Dengan asumsi bahwa persyaratan pengguna berubah seiring waktu, sangat penting bagi semua pemangku kepentingan terkait untuk menyadari dampak yang dihasilkan dari perubahan spesifikasi persyaratan ini. Transformasi persyaratan menjadi solusi, dan

selanjutnya dari solusi menjadi persyaratan, merupakan proses rekursif dan terjadi di setiap tahap proyek. Elemen utama yang mendasari setiap transformasi yang berhasil adalah definisi norma yang sesuai, yang misalnya, prinsip konstruksi dan rekayasa yang tersedia, keahlian analisis, desain, konstruksi dan pengujian, dan sebagainya. Dengan bantuan transformasi rekursif, studi tentang norma yang mengatur peserta proyek dapat digunakan untuk memahami dan mengelola perubahan, dan akhirnya untuk mencapai produk berkualitas tinggi.



**Gambar 8.4 Transformasi Semiotik Dalam Rekayasa Konstruksi**

Di bagian akhir bab ini, kami memberikan contoh studi kasus sistem manajemen gedung multiagen berbasis norma, yang memfasilitasi semiotika yang digunakan sebagai cara untuk menangkap norma bangunan untuk digunakan dalam mengendalikan fungsi bangunan.

### 8.5 STUDI KASUS: TEKNOLOGI JARINGAN PINTAR UNTUK GEDUNG PINTAR

Selama 20 tahun terakhir, banyak gedung yang berbeda telah diberi label sebagai 'cerdas'. Meskipun sebagian besar perkembangan dalam domain ini positif, kami percaya bahwa penerapan ruang yang merambah kecerdasan dalam bangunan belum memberikan potensi sebenarnya. Industri telah menetapkan banyak solusi bangunan cerdas, tetapi sulit untuk menunjukkan dan memvalidasi manfaatnya.

Mempelajari perilaku pengguna tertentu mencegah bangunan dari mendefinisikan aktivitas generik di seluruh ruang cerdas yang merambah, namun sistem yang terlalu generik

berarti bahwa solusi didefinisikan tanpa mempertimbangkan konteks. Dengan mendefinisikan tujuan utama, dengan menangkap motivasi pemangku kepentingan dan tingkat partisipasi (yaitu kepemilikan), kami dapat secara cerdas mempersonalisasi tindakan bangunan di sekitar perilaku individu dan preferensi pengguna. Dua pengguna bangunan (misalnya seorang insinyur dan seorang administrator) yang tidak melakukan aktivitas yang sama tidak diharapkan untuk mencapai tujuan yang sama dengan menggunakan solusi yang sama.

Penelitian yang dimotivasi oleh semiotika pada bangunan cerdas, yang dilakukan di dalam Pusat Penelitian Informatika (IRC) di Universitas Reading, mengarah pada pengembangan sistem multi-agen untuk kontrol bangunan (MASBO). Penggunaan komponen agen di dalam bangunan, di samping penghuni manusia, menimbulkan masalah tentang bagaimana orang paling cocok dalam ruang informasi. Orang adalah penyedia dan penerima informasi, namun bagaimana ruang cerdas yang luas dapat mengetahui informasi apa yang dibutuhkan, atau tersedia? Sistem MASBO memfasilitasi kerja sama otonom antara penghuni dan bangunan cerdas melalui pengaktifan sistem bangunan, sesuai dengan kebutuhan penghuni; yang diatur dalam zona/area penghuni yang telah ditentukan sebelumnya.

Sistem MASBO memungkinkan pemodelan dan kontrol lingkungan binaan untuk bekerja dan tinggal. Bekerja sama dengan mitra industri Arup dan Thales dalam proyek yang didanai TSP mengenai manajemen terkoordinasi ruang yang tersebar (CMIPS), MASBO diuji sebagai komponen utama dalam sistem pembuktian konsep untuk manajemen terkoordinasi berbagai sistem ortogonal (misalnya sistem HVAC, pencahayaan, dan keamanan) di dalam gedung. Tujuan utama MASBO adalah untuk mendukung manajemen kinerja energi berkelanjutan yang efektif, dengan mempertimbangkan kesejahteraan dan produktivitas penghuni. Hal ini dicapai melalui personalisasi dinamis lingkungan mikro dalam konteks kebijakan efisiensi energi.

Seperti yang dinyatakan sebelumnya, ruang cerdas yang tersebar harus berisi ruang fisik dan informasi, dengan interaksi konstan antara ruang gedung dan penghuninya. MASBO dirancang mengikuti prinsip semiotik, yang meningkatkan interaksi antara gedung dan penghuninya. Arsitektur epistemik-deontik-aksiologis (EDA), yang dikembangkan dari semiotik, berfungsi sebagai landasan teoritis untuk representasi pengetahuan dalam agen perangkat lunak. Arsitektur EDA memungkinkan penangkapan kebijakan organisasi yang berkaitan dengan konsumsi energi dan manajemen gedung, dan preferensi pengguna individu tentang kontrol dan manajemen ruang.

MASBO didasarkan pada sistem agen hierarkis: agen pribadi, lokal, dan pusat, serta agen yang bertanggung jawab untuk memantau dan mengendalikan peralatan dan perangkat (misalnya sensor dan sistem fasilitas ortogonal). MASBO dapat dikonfigurasi secara dinamis dengan fasilitas gedung untuk memenuhi persyaratan efisiensi energi gedung dan lingkungan kerja yang dipersonalisasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.5. Arsitektur fungsional MASBO mencakup hal-hal berikut:

- Agen pribadi – mengelola profil pengguna (penghuni), mengamati lingkungan kerja, mencatat perilaku pengguna, meneruskan permintaan operasi, mempelajari preferensi penghuni, dan memberikan umpan balik dari agen lain kepada penghuni.





melakukan pengambilan keputusan dan aktivitas pembelajaran. Pengambilan keputusan terutama berkaitan dengan penyelesaian konflik antara aturan, yang mengalokasikan hak istimewa agen dan mengatur aktivitas sistem.

Proses pembelajaran yang diadopsi oleh agen cerdas dapat dikategorikan menjadi tiga kelompok: pembelajaran interaktif, terbimbing, dan penguatan. Kombinasi metode-metode ini telah dikembangkan di MASBO untuk menyediakan agen personal dengan kemampuan belajar dasar. Tujuannya adalah untuk mengurangi intrusi sistem multi-agen, tanpa kehilangan kemampuan mempelajari preferensi individu. MASBO merupakan hasil awal dari semiotika yang diterapkan dalam bangunan cerdas.

Bekerja sama dengan para ahli dalam konstruksi dan teknik di dunia akademis dan industri, IRC di Reading baru-baru ini memperluas penelitiannya ke dalam penggunaan informatika pervasif yang dimotivasi oleh semiotika, dengan tujuan memberikan kontribusi terhadap solusi teoritis dan teknis untuk ruang pervasif cerdas untuk bekerja dan tinggal.

## **8.6 KESIMPULAN**

Bab ini secara terbuka menyatakan perlunya menggabungkan pertimbangan ruang fisik dan informasi selama pengumpulan persyaratan sistem bangunan. Dengan memahami kebutuhan informasi pengguna, dan mempertimbangkan potensi teknik kecerdasan komputasional, kami menyadari potensi sistem pervasif dalam mendukung aktivitas pengguna.

Sejumlah teori dan metodologi telah diperkenalkan kepada pembaca, tetapi fokusnya adalah pada pengenalan semiotika, yang mendukung penangkapan interaksi antara ruang fisik dan informasi, dan penciptaan persyaratan sistem. Studi kasus sistem multiagen berbasis norma diberikan untuk menunjukkan penerapan pengembangan semiotik dalam domain konstruksi. Meskipun informatika pervasif merupakan konsep yang relatif baru, fokusnya pada pengembangan sosio-teknis ruang informasi di lingkungan binaan memiliki potensi besar untuk mendukung dan memfasilitasi produktivitas pengguna.

## **BAB 9**

# **PENGHEMATAN ENERGI CERDAS: DESAIN BERPUSAT PADA PENGGUNA**

Rumah cerdas telah menjadi visi selama beberapa dekade, dengan 'rumah masa depan' yang menjanjikan tempat tinggal yang canggih dan otomatis, yang dilengkapi dengan teknologi yang memenuhi setiap kebutuhan kita. Dengan fokus baru pada penghematan energi, rumah cerdas kembali digembar-gemborkan sebagai jalan menuju masa depan rendah karbon. Namun, sejarah menunjukkan bahwa orang mungkin tidak menganggap teknologi yang diusulkan mudah digunakan, dengan masalah kontrol, kompatibilitas, kepercayaan, dan aksesibilitas yang menjadikan pendekatan ini bermasalah.

Bab ini membahas potensi penghematan energi cerdas di rumah, dan mengeksplorasi faktor manusia yang menciptakan jebakan bagi keberhasilan peluncuran perangkat hemat energi cerdas. Pentingnya memahami kebutuhan pengguna sebagai faktor keberhasilan yang kritis dan peran desain yang berpusat pada pengguna dalam pengembangan produk, layanan, dan sistem cerdas diuraikan. Meskipun difokuskan pada sektor domestik, ada pembelajaran yang relevan dengan semua bangunan tempat pengguna berada.

### **9.1. APA YANG MEMBUAT RUMAH CERDAS?**

Istilah 'rumah pintar' dan 'rumah cerdas' digunakan secara bergantian untuk merujuk pada rumah tempat teknologi informasi dan komunikasi (TIK) dapat mengantisipasi dan menanggapi kebutuhan penghuninya, untuk meningkatkan kenyamanan, kemudahan, keamanan, dan hiburan mereka. Konsep ini bukanlah konsep baru, dengan istilah 'rumah pintar' pertama kali digunakan secara formal di Amerika Serikat pada pertengahan 1980-an. Meskipun minat penelitian terus berlanjut di bidang ini dan kebangkitan minat komersial terhadap konsep tersebut pada awal 2000-an, rumah pintar, hingga saat ini, gagal untuk menembus arus utama secara signifikan, dan masih tetap menjadi domain penggemar teknologi.

Saat ini, konsep tersebut kembali menarik perhatian komersial yang cukup besar, didorong oleh konektivitas di mana-mana di dalam rumah yang dimungkinkan oleh komunikasi pita lebar nirkabel dan seluler, semakin populernya ponsel pintar dan perangkat tablet, serta peluncuran meteran pintar yang sedang berlangsung. Penyedia energi dan, semakin banyak, pembuat kebijakan sedang menjajaki cara untuk menggunakan teknologi rumah pintar guna mengurangi permintaan energi rumah tangga dengan cara yang menarik bagi konsumen. Pemerintah Inggris telah menetapkan target yang mengikat secara hukum untuk memastikan bahwa akun karbon bersih Inggris untuk tahun 2050 setidaknya 80% lebih rendah dari garis dasar tahun 1990.

Pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, gas, dan minyak melepaskan karbon dioksida dan gas rumah kaca lainnya, dan karenanya, jika kita ingin memenuhi target ini (dan

target sementara lainnya di sepanjang jalan), harus ada pengurangan yang signifikan dalam penggunaan bahan bakar fosil. Teknologi terbarukan menyediakan alternatif rendah atau nol karbon, tetapi ini tidak dikembangkan pada tingkat yang cukup untuk membuat dampak substansial sendiri. Mengurangi permintaan adalah bagian penting dari strategi tersebut. Pemerintah Inggris berencana untuk meluncurkan meteran pintar di setiap rumah di negara tersebut pada tahun 2019, karena meteran pintar dianggap memainkan peran penting dalam transisi Inggris menuju ekonomi rendah karbon, dengan memberikan informasi terkini kepada konsumen tentang konsumsi energi mereka.

Dengan semakin populernya teknologi terbarukan di rumah, seperti panel fotovoltaik, yang memberi pemilik rumah peluang untuk menjual listrik 'cadangan' kembali ke jaringan listrik, meteran pintar menyediakan mekanisme untuk mengelola perdagangan energi yang rumit ini. Di Inggris, sekitar 36% dari semua gas dan listrik digunakan di rumah-rumah. Dari energi ini, 66% digunakan untuk pemanas ruangan dan penyediaan air panas. Oleh karena itu, keuntungan terbesar dalam sektor domestik akan diperoleh dari perhatian yang terfokus pada pemanas. Sementara upaya signifikan untuk mengurangi energi yang digunakan melalui peralatan, memasak, dan penerangan akan membantu mencapai target pengurangan karbon, mengatasi energi yang digunakan untuk pemanas ruangan dan air akan menawarkan potensi keberhasilan terbesar.

Ada peluang yang muncul untuk menghemat energi pemanas melalui pembangunan kecerdasan di dalam rumah, melalui perangkat pengukuran, pemantauan, kontrol, dan umpan balik. Banyak rumah yang sudah tertanam dengan kecerdasan, melalui sistem keamanan mereka dengan sensor inframerah pasif (PIR) yang terhubung ke perusahaan keamanan, sistem pemanas sentral dengan katup radiator termostatik dan pengatur waktu yang dapat diprogram, dan pusat media rumah yang terhubung melalui jaringan nirkabel. Namun, meskipun kecerdasan sering kali dibangun ke dalam sistem ini, sistem ini tidak akan efektif tanpa interaksi yang berhasil dengan penghuninya.

Rumah adalah sistem sosio-teknis, dan baik teknologi maupun penghuninya perlu bekerja sama untuk meraup manfaat dari rumah pintar dan mencapai tujuan keseluruhan berupa kenyamanan, kemudahan, dan penghematan energi. Sementara fokus pada penghematan energi dan kenyamanan semakin berkembang, kemudahan sering kali diabaikan, sehingga menghasilkan sistem yang terlalu rumit dan tidak menarik bagi penghuni rumah, sehingga penggunaan sistem tersebut terbatas dan sering kali ditinggalkan. Hal ini khususnya berlaku bagi orang tua, yang mungkin kurang mampu secara teknologi, tetapi dapat dikatakan akan memperoleh manfaat paling besar dari rumah yang nyaman, efisien, dan hangat. Ada berbagai sistem yang muncul di pasaran massal yang ditujukan untuk memberikan lebih banyak informasi tentang penggunaan energi dan menawarkan kontrol yang lebih besar kepada penghuni rumah. Ini termasuk yang berikut ini.

- Pengukur energi yang memberikan umpan balik tentang penggunaan energi saat ini (biasanya hanya listrik). Mereka menyediakan opsi untuk penggunaan energi saat ini atau total, dalam berbagai unit termasuk kilowatt-jam (kW h), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan biaya moneter, dengan beberapa memberikan indikasi penggunaan sekitar melalui

lampu atau simbol berwarna dalam upaya untuk menyederhanakan informasi.

- Meter pintar yang berkomunikasi dengan pemasok energi, yang memungkinkan meteran dibaca dari jarak jauh, umpan balik akurat kepada penghuni mengenai penggunaan energi (melalui tampilan di rumah) dan, jika relevan, jumlah listrik yang dihasilkan rumah dikomunikasikan kembali ke perusahaan utilitas. Perangkat ini merupakan bagian integral dari jaringan pintar.
- Peralatan pintar yang dapat terhubung ke jaringan pintar ini dan peralatan lain di rumah, yang memungkinkan kontrol jarak jauh atau otomatis dan pengoperasian cerdas, mengurangi permintaan puncak atau menyesuaikan dengan tarif harga variabel. Pengalihan beban ini akan mengurangi permintaan energi secara keseluruhan dengan hanya kehilangan layanan minimal bagi individu. Mode operasi responsif permintaan ini dirancang untuk memanfaatkan tarif listrik waktu-hari yang bervariasi, yang menghasilkan manfaat bagi konsumen (melalui tagihan listrik yang lebih rendah) dan utilitas (melalui pengurangan beban puncak dalam permintaan listrik dan persyaratan untuk kapasitas pembangkitan yang mahal).

Sistem manajemen energi rumah (HEMS) menyatukan teknologi ini sehingga pemilik rumah dapat secara aktif memantau dan mengelola penggunaan energi. Teknologi cerdas juga dapat menyediakan banyak fungsi tambahan untuk peralatan rumah tangga, menyediakan layanan baru dan peluang interaksi bagi pengguna. Ini dibayangkan dapat dikontrol melalui perangkat seluler pintar (seperti iPhone) untuk memungkinkan konsumen mengambil peran aktif dalam mengendalikan fungsi rumah mereka, baik saat berada di rumah maupun dari jarak jauh.

Tantangannya adalah mengembangkan produk dan layanan yang akan melibatkan pelanggan secara aktif, terutama mengingat meningkatnya biaya energi dan munculnya tekanan sosial untuk mengurangi permintaan. Perangkat umpan balik energi didasarkan pada asumsi bahwa banyak orang kurang memiliki kesadaran dan pemahaman tentang perilaku energi sehari-hari mereka sehingga umpan balik diberikan untuk mencoba menjembatani 'kesenjangan literasi lingkungan' ini. Namun, ini mengasumsikan bahwa orang ingin mengubah perilaku energi mereka dan mampu melakukannya, setelah menyadarinya. Sementara perilaku hemat energi di lingkungan lain, seperti tempat kerja, dapat dikelola dengan lebih mudah, lingkungan rumah memberikan tantangan yang signifikan.

## 9.2. MASALAH UTAMA FAKTOR MANUSIA

Meskipun teknologi dapat menawarkan potensi besar untuk penghematan energi rumah tangga, teknologi juga dapat meningkatkan kompleksitas rumah dan, jika tidak dirancang untuk memenuhi kebutuhan pengguna, penghematan energi yang diantisipasi mungkin tidak terwujud. Bagian berikut memperkenalkan beberapa masalah utama faktor manusia yang perlu ditangani jika rumah pintar hemat energi ingin menjadi kenyataan.

### **Memahami perubahan perilaku**

Penghematan energi dari meteran pintar dan tampilan dalam rumah, hingga saat ini, jauh lebih rendah dari yang diharapkan. Hal ini sebagian dapat dikaitkan dengan efek 'rebound' atau 'take-back', di mana pemilik rumah melakukan perbaikan pada efisiensi rumah mereka

(melalui perbaikan pada struktur, peralatan yang lebih efisien atau sistem yang lebih terkontrol) dan mengambil kembali penghematan yang dilakukan melalui peningkatan suhu atau penggunaan pemanas dan air panas yang lebih besar. Hal ini mengacu pada paradoks Jevons, yang menyatakan bahwa peningkatan efisiensi penggunaan sumber daya cenderung meningkatkan (bukannya menurunkan) laju konsumsi sumber daya tersebut.

Peningkatan efisiensi energi di rumah menghasilkan penghuni yang mampu mencapai tingkat kenyamanan yang lebih tinggi tanpa kenaikan tagihan listrik, tetapi penghematan karbon apa pun dinegasikan oleh peningkatan penggunaan ini. Persyaratan pengguna terpenuhi, tetapi target pemerintah tidak. Penelitian juga menunjukkan bahwa, sementara penghuni rumah pada awalnya tertarik untuk menerima umpan balik tentang konsumsi energi rumah tangga mereka dan dapat menyesuaikan perilaku mereka untuk melakukan penghematan awal, ada banyak komponen kehidupan sehari-hari yang mengonsumsi energi yang tidak ingin diubah atau dilepaskan oleh penghuni rumah.

'Praktik yang tidak dapat dinegosiasikan' ini mungkin dihargai karena kenyamanan atau kemudahan yang diberikannya (misalnya mandi air panas dalam waktu lama), atau mungkin sebenarnya merupakan kebiasaan yang sudah lama tertanam secara budaya seperti mengangin-anginkan rumah di pagi hari dan dengan demikian secara tidak sengaja membiarkan udara hangat keluar.

### **Kontrol**

Masalah utama mengenai desain rumah cerdas, dan khususnya peralatan cerdas, adalah masalah kontrol. Meskipun membangun kecerdasan ke dalam peralatan dan sistem rumah tangga berpotensi mengoptimalkan permintaan energi di tingkat jaringan dan memberikan penghematan biaya bagi konsumen, sejauh mana pemilik rumah bersedia melepaskan kendali atas kapan mereka melakukan tugas sehari-hari, seperti menggunakan mesin cuci, masih kurang dipahami.

Jika penelitian pengguna telah dilakukan, penelitian tersebut sangat bias terhadap penyertaan akademisi dan teknolog sebagai peserta studi, dan penelitian lebih lanjut yang mencakup keragaman populasi diperlukan. Antarmuka kontrol diperlukan yang memungkinkan pengguna untuk membuat keputusan yang tepat tentang kapan harus mengesampingkan pilihan otomatis yang dibuat oleh sistem atau peralatan. Memastikan antarmuka tersebut dapat digunakan dan tidak menambah kompleksitas akan memerlukan pertimbangan yang cermat tentang kebutuhan pengguna dan bagaimana interaksi dengan produk tersebut akan tertanam dalam rutinitas dan praktik kehidupan sehari-hari.

### **Privasi dan kepercayaan**

Banyak penelitian tentang rumah cerdas diarahkan untuk menciptakan sistem kecerdasan buatan (AI) yang menggunakan data dari sensor yang tertanam dalam perangkat, peralatan, dan lingkungan rumah untuk menyediakan otomatisasi rumah yang mempelajari preferensi dan perilaku pengguna. Sering kali tujuan penelitian tersebut adalah untuk menciptakan sistem kontrol, misalnya, untuk pencahayaan dan pemanas, yang tidak memerlukan kontrol pengguna secara eksplisit.

Secara teori, sistem tersebut dapat memberikan kemudahan dan penghematan energi

yang cukup besar bagi penghuni rumah (misalnya dengan mematikan pemanas di kamar yang tidak berpenghuni), tetapi pertimbangan harus diberikan pada masalah privasi dan kepercayaan agar sistem tersebut dapat diterima secara luas. Sistem rumah cerdas akan menciptakan sejumlah besar data mentah yang harus diproses untuk memberikan informasi kontrol yang relevan. Pemrosesan ini dapat dilakukan di dalam rumah, tetapi, khususnya dalam konteks jaringan pintar, pemrosesan kemungkinan besar dilakukan di luar rumah oleh penyedia layanan.

Cook menyoroti bahwa pemilik rumah enggan memasang sensor di rumah mereka karena potensi pihak komersial eksternal untuk mengeksploitasi jejak data yang mereka tinggalkan untuk keuntungan mereka sendiri, bukan keuntungan pemilik rumah. Banyak pelaku komersial, termasuk penyedia energi, telekomunikasi, media, komputasi, dan internet, telah menunjukkan minat yang bangkit kembali pada pasar rumah pintar dalam beberapa tahun terakhir, dan ini setidaknya sebagian didorong oleh nilai komersial yang diantisipasi dari data tentang perilaku pemilik rumah yang berpotensi disediakan oleh layanan rumah pintar.

Oleh karena itu, upaya yang cukup besar harus diarahkan untuk memahami siapa yang memiliki data ini dan bagaimana kepentingan pemilik rumah dapat dilindungi ketika data dikumpulkan dan digunakan di luar rumah. Tanggapan yang menarik terhadap masalah ini telah diusulkan dalam pedoman Uni Eropa untuk melindungi privasi data dalam sistem komputasi yang ada di mana-mana. Konsep 'pisau cukur privasi' mengusulkan bahwa semua yang diketahui sistem tentang pengguna dicantumkan dan kemudian semua yang tidak 'mutlak diperlukan' untuk menyediakan layanan dikecualikan dari pengumpulan dan penyimpanan data (misalnya identifikasi pribadi).

Namun, saran ini mungkin terlalu menyederhanakan kebutuhan dan preferensi penghuni rumah. Oleh karena itu, penelitian masih diperlukan untuk lebih memahami apa yang sebenarnya bersedia diberikan oleh penghuni rumah pintar di masa mendatang dalam bentuk data sebagai imbalan atas insentif seperti layanan yang lebih murah atau tarif yang lebih mencerminkan penggunaan aktual mereka.

### **Kegunaan**

Kegunaan yang buruk telah lama diterima sebagai alasan utama lambatnya penerapan teknologi rumah pintar. Kita hanya perlu mempertimbangkan kompleksitas banyak pengontrol pemanas canggih saat ini untuk memahami bahwa peningkatan kecanggihan dalam hal kontrol dan otomatisasi sering kali menghasilkan kompleksitas sistem yang lebih besar, kegunaan yang berkurang, dan kepuasan pengguna yang rendah. Lebih jauh, jika tujuannya adalah menggunakan kecerdasan sistem untuk mengurangi permintaan energi, maka penghematan ini tidak mungkin terwujud jika pengguna tidak dapat mengonfigurasi sistem secara optimal untuk memenuhi kebutuhan dan preferensi mereka.

Banyak visi yang dihasilkan industri tentang rumah pintar masa depan bergantung pada aplikasi telepon pintar sebagai komponen utama penerimaan pengguna. Karena iPhone melambangkan kemudahan penggunaan, sering kali diasumsikan bahwa interaksi dengan teknologi rumah pintar akan menjadi lebih mudah dan lebih nyaman jika telepon pintar digunakan sebagai perangkat kontrol utama. Namun, visi tersebut harus diperlakukan dengan



hati-hati, karena contoh-contoh sebelumnya tentang dorongan teknologi dalam pasar konsumen telah menunjukkan bahwa sensasi industri tidak selalu menghasilkan nilai bagi pengguna.

Meskipun popularitasnya semakin meningkat, tidak semua segmen pasar akan menginginkan atau dapat mengontrol pemanas dan peralatan mereka menggunakan telepon seluler. Jika teknologi rumah pintar ingin diterima secara luas di pasar, teknologi tersebut harus dapat diakses secara universal; oleh karena itu, kebutuhan orang lanjut usia, penyandang disabilitas, dan mereka yang kurang mengenal teknologi juga harus diperhitungkan. Banyak manfaat yang dianut untuk teknologi rumah pintar terkait dengan penyediaan layanan kesehatan dan kesejahteraan yang lebih baik bagi orang lanjut usia dan penyandang disabilitas.

Mereka yang mungkin benar-benar mendapat manfaat dari kontrol pemanas pintar (karena mereka tidak banyak bergerak di rumah atau memiliki masalah kesehatan yang memerlukan lingkungan termal yang stabil) mungkin juga mereka yang berpenghasilan rendah atau kurang familier dengan kemajuan teknologi. Oleh karena itu, perancang sistem ini harus memberi penekanan signifikan pada pencapaian kegunaan bagi penghuni rumah yang lebih rentan ini. Rumah pintar masa depan kemungkinan akan terdiri dari banyak sistem, baik yang dibeli oleh penghuni rumah dari waktu ke waktu maupun yang tertanam dalam infrastruktur bangunan.

Oleh karena itu, kegunaan tidak boleh dipertimbangkan dalam kaitannya dengan perangkat atau peralatan individual, tetapi juga pada tingkat sistem. Interoperabilitas perangkat dan sistem akan berdampak signifikan pada kegunaan rumah pintar secara keseluruhan dan kompleksitas yang dirasakannya, terutama karena kemampuan teknis sebagian besar rumah akan berkembang seiring waktu. Oleh karena itu, pertimbangan harus diberikan pada seberapa mudah menyiapkan sistem pintar di rumah dan mengonfigurasinya agar sesuai dengan preferensi pengguna.

### **9.3. KOMPLEKSITAS LINGKUNGAN RUMAH**

Karena rumah sering kali merupakan ruang yang sangat pribadi, memahami kebutuhan orang-orang dalam lingkungan rumah tangga memberikan tingkat kompleksitas tambahan. Hakikat rumah sebagai tempat tinggal, lebih dari sekadar tempat tinggal, sangatlah penting. Hal ini terkait erat dengan nilai-nilai sentimental yang diberikan orang terhadap rumah dan benda-benda di dalamnya. Tidak mungkin untuk sekadar menerapkan langkah penghematan energi standar pada rumah yang ditinggali dan mengharapkannya berhasil.

Hal ini berbeda dengan jenis bangunan lain, misalnya, tempat kerja, di mana penghuninya sering kali tidak perlu berinteraksi langsung dengan teknologi yang tertanam karena teknologi tersebut dikelola oleh spesialis terlatih. Orang-orang di tempat kerja sering kali lebih bersedia menyesuaikan diri dengan cara kerja sehingga mereka menerima suhu sekitar, atau setidaknya mengakui bahwa sistem otomatis mengendalikan lingkungan mereka. Di rumah, penghuninya sering kali bertanggung jawab untuk membayar langsung energi yang mereka gunakan, memilih teknologi yang mereka pasang di rumah mereka dan, yang terpenting, memutuskan apakah dan bagaimana mereka menggunakannya.



Dengan kebebasan ini, lingkungan rumah menawarkan spektrum pengguna yang jauh lebih luas yang harus diakomodasi jika penghematan energi yang cerdas ingin dicapai. Penghuni rumah mencakup seluruh spektrum populasi, dari bayi yang baru lahir hingga orang yang sangat tua atau cacat berat. Memenuhi berbagai kebutuhan yang beragam dan sering kali menuntut ini merupakan tantangan yang signifikan. Rumah dihuni oleh banyak orang; setiap penghuni memiliki preferensi sendiri tentang cara hidupnya, tetapi harus berbagi ruang dan sistem umum. Kehidupan orang bisa kacau, hunian mereka berubah-ubah, dan preferensi mereka untuk lingkungan dalam ruangan tidak konsisten.

Kompleksitas ini menyulitkan penggunaan proksi yang konsisten untuk memprediksi perilaku. Beberapa perangkat energi rumah pintar mencoba memprediksi hunian dan penggunaan energi dengan memanfaatkan profil permintaan listrik. Ini dapat memberikan informasi yang tidak akurat jika penghuni rumah menggunakan peralatan mereka dengan pengatur waktu atau saat mereka tidur, misalnya, memaksimalkan tarif malam yang lebih murah. Sistem yang tidak canggih mungkin berasumsi bahwa penghuni rumah masih bangun dan beraktivitas larut malam sehingga membutuhkan pemanas, padahal sebenarnya ini dapat membuang-buang energi.

Kecerdasan dibutuhkan untuk memanfaatkan berbagai indikator, bukan hanya hunian, tetapi juga kebutuhan energi pada waktu-waktu tertentu, untuk memastikan rumah hangat atau sejuk saat dibutuhkan, air panas tersedia dalam jumlah yang tepat, makanan yang disimpan tetap dingin, cucian dapat dicuci tepat waktu, dan komunikasi serta hiburan disediakan saat dibutuhkan. Hunian yang dihuni banyak orang juga menghadirkan tantangan bagi penginderaan cerdas. Banyak sistem yang dapat mendeteksi pergerakan penghuni, tetapi mungkin tidak mudah untuk mengidentifikasi siapa yang bergerak di dalam rumah, termasuk apakah itu orang atau hewan peliharaan! Sensor pergerakan tidak efektif selama penghuni rumah tidak bergerak, mungkin saat menonton TV atau tidur, tetapi memahami penggunaan energinya saat ini mungkin penting.

Juga tidak mudah untuk menentukan berapa banyak orang yang bergerak ketika orang berpindah dari satu ruangan ke ruangan lain secara berkelompok. Semua faktor ini mengarah pada kumpulan data yang tidak lengkap atau tidak akurat yang, jika digunakan untuk menginformasikan proses otomatis, cenderung menghasilkan penghuni rumah yang tidak puas. Orang-orang di tempat kerja sering kali senang membawa kartu identitas yang dapat digunakan untuk mengenali di mana mereka berada di dalam gedung, tetapi di rumah konsep penandaan individu umumnya tidak dapat diterima.

Di masa depan, dapat dibayangkan bahwa identifikasi individu dapat dimungkinkan melalui identifikasi telepon pintar, dan karena semakin banyak orang membawa perangkat tersebut ke mana pun mereka pergi, ini dapat menjadi perangkat identifikasi rumah masa depan. Namun, hal ini bergantung pada orang-orang yang selalu membawa ponsel, dan menerima pelanggaran privasi yang diakibatkan oleh jenis pengumpulan data ini. Potensi inovasi di area ini sangat pesat, tetapi harus sesuai dengan kebutuhan pengguna.

#### 9.4. DESAIN BERPUSAT PADA PENGGUNA UNTUK RUMAH PINTAR MASA DEPAN

Jika kita ingin menghadapi tantangan penghematan energi rumah tangga melalui pendekatan teknologi, penting untuk memahami kebutuhan dan perilaku pengguna guna membentuk desain semua aspek rumah pintar. Desain yang berpusat pada pengguna (UCD) menawarkan proses yang menganggap pengguna sebagai pusat sistem dan solusi desain (yang dapat berupa produk, layanan, atau sistem); UCD menyediakan sarana untuk memastikan konteks penggunaan, dan kebutuhan pengguna disertakan dalam proses desain dengan mempertimbangkan faktor fisik, kognitif, sosial, dan budaya.

Namun, UCD dapat dipertimbangkan dalam konteks yang lebih luas, sebagai sebuah filosofi bahwa proses desain harus berfokus pada kebutuhan pengguna sebagai prinsip utama, yang berupaya memastikan bahwa kebutuhan dan keinginan pengguna dipertimbangkan selama proses desain produk. Premis yang telah lama ditetapkan untuk UCD adalah bahwa fokus awal pada persyaratan pengguna mengarah pada desain produk yang berguna, dapat digunakan, dan diinginkan. Prinsip-prinsip UCD secara umum diterima sebagai berikut: fokus awal pada pengguna dan tugas; pengukuran empiris; dan desain iteratif. Preece dkk. menyarankan lima prinsip lebih lanjut yang memperluas dan memperjelas prinsip pertama.

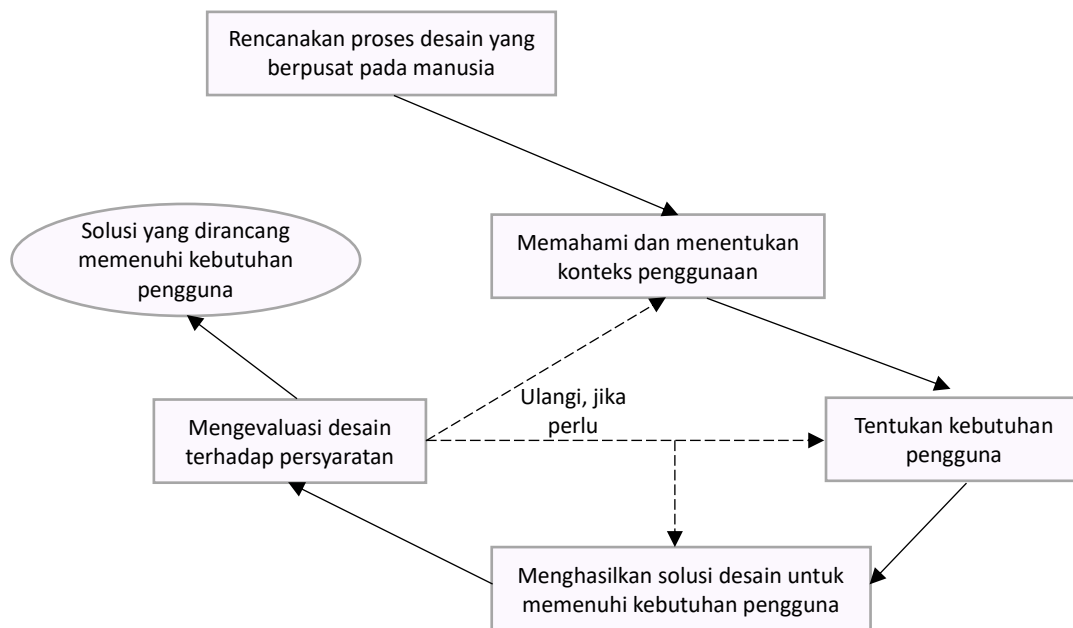
- Tugas dan tujuan pengguna merupakan kekuatan pendorong di balik pengembangan.
- Perilaku pengguna dan konteks penggunaan dipelajari dan sistem dirancang untuk mendukungnya.
- Karakteristik pengguna ditangkap dan dirancang untuknya.
- Pengguna diajak berkonsultasi selama pengembangan, dari fase paling awal hingga yang terbaru, dan masukan mereka diperhitungkan secara serius. Semua keputusan desain diambil dalam konteks pengguna, pekerjaan mereka, dan lingkungan mereka.

Meskipun pengguna tidak perlu terlibat secara aktif dalam keputusan desain, desainer harus tetap menyadari persyaratan mereka saat membuat keputusan desain. Oleh karena itu, komunikasi yang jelas tentang kebutuhan dan persyaratan kepada desainer dengan cara yang bermakna dan relevan merupakan komponen penting dari UCD.

Metodologi UCD sering kali didasarkan pada standar internasional ISO 9241-210: 2010, yang memberikan prinsip untuk melibatkan pengguna dalam desain tetapi tidak menentukan metodenya. Empat aktivitas utama direkomendasikan dalam siklus pengembangan iteratif, termasuk

- Memahami Dan Menentukan Konteks Penggunaan
- Menentukan Persyaratan Pengguna
- Menghasilkan Solusi Desain
- Mengevaluasi Desain.

Proses desain yang berpusat pada manusia yang ditetapkan dalam ISO 9241-210: 2010 ditunjukkan pada Gambar 9.1.



**Gambar 9.1 Saling Ketergantungan Aktivitas Desain Yang Berpusat Pada Manusia.**

Setelah perencanaan, tahap pertama dalam proses iteratif adalah memahami dan menentukan konteks penggunaan. Ini termasuk memahami bagaimana orang tinggal di rumah mereka, siapa mereka, apa yang mereka hargai tentang rumah mereka dan sistem di dalamnya, apa tujuan dan motivasi mereka untuk cara hidup mereka, dan bagaimana teknologi cocok dengan sistem yang seringkali rumit dan berantakan ini.

Persyaratan untuk desain produk, sistem, dan layanan kemudian dapat ditentukan, berdasarkan pemahaman yang nyata tentang konteksnya. Pemahaman tentang persyaratan pengguna ini memungkinkan desain memenuhi kebutuhan orang. Dengan bekerja sama dengan pengguna sejak awal desain produk, layanan, atau sistem, adalah mungkin untuk memahami bagaimana kecerdasan masa depan di dalam rumah dapat dirancang agar sesuai dengan praktik kehidupan sehari-hari.

### 9.5. MASA DEPAN

Rumah pintar di masa lalu belum sepenuhnya berhasil, terkadang karena alasan teknis, terkadang karena alasan sosial. Contoh seperti telepon WAP (*Wireless Application Protocol*) telah menunjukkan bahwa inovasi yang dipimpin teknologi tidak selalu diterima oleh pasar. Namun, jika desain dan pengembangan dilakukan dengan benar, perangkat cerdas dapat memberikan pengalaman yang diinginkan orang. Ponsel pintar kini ada di mana-mana, dan jembatannya ke sistem manajemen energi rumah tidak dapat dihindari, tetapi keberhasilannya bergantung pada campuran yang tepat antara pengembangan teknologi, penciptaan model ekonomi yang tepat, dan pengalaman pengguna yang tepat yang cukup matang untuk memberikan proposisi layanan yang menarik.

Rumah masa depan kemungkinan besar akan sangat berbeda dari sekarang dalam hal teknologi. Dalam waktu dekat, mungkin akan menjadi hal yang biasa untuk memiliki tampilan energi di setiap ruangan, harga tarif variabel untuk memanfaatkan bahan bakar yang lebih

murah, dengan peralatan dan sistem pemanas yang responsif terhadap variasi ini. Kontrol seluler tidak dapat dihindari melalui ponsel pintar atau penerusnya, dan akses jarak jauh akan tersedia untuk memantau dan mengontrol rumah kita secara terperinci. Layar interaktif sentral dapat memungkinkan akses ke semua bagian jaringan komputer rumah dengan satu sentuhan jari.

Streaming video langsung jarak jauh dapat dilakukan untuk memantau rumah, sensor pasif dan peralatan cerdas dapat mempelajari kebiasaan dan pola perilaku kita. Penyimpanan energi dapat memungkinkan pembangkit listrik lokal digunakan saat dibutuhkan, menyalakan pemanas, kendaraan listrik, atau peralatan secara lokal. Teknologi komunikasi dapat mendorong keluarga yang tersebar tinggal di dalam rumah, daripada berbagi ruang keluarga utama secara tradisional. Orang lanjut usia mungkin dapat hidup mandiri lebih lama, dengan konektivitas yang lebih baik yang memungkinkan pengasuh untuk memantau kesehatan dan aktivitas dari jarak jauh. Namun, masalah faktor manusia akan tetap ada, terlepas dari kemajuan lainnya ini, dan pendekatan yang berpusat pada pengguna sangat penting untuk keberhasilan rumah cerdas masa depan untuk memastikan keseimbangan kegunaan, inklusivitas, dan keberlanjutan dengan warisan teknologi yang dapat diterima.

## **BAB 10**

### **PENGADAAN DAN MANAJEMEN PROYEK TERPADU**

Industri konstruksi tidak dapat terus beroperasi dengan cara yang terfragmentasi dan konfrontatif; banyak laporan resmi telah mendesak para konsultan, kontraktor, subkontraktor spesialis, dan rantai pasokan mereka untuk berintegrasi dan berkolaborasi. Diperlukan proses, budaya, dan teknik baru, baik untuk pengadaan maupun pengelolaan proyek terpadu. Harus ada keselarasan antara kepentingan finansial tim dan tujuan serta kriteria keberhasilan klien; dan industri asuransi perlu menyesuaikan perubahan ini dengan mengasuransikan klien dan tim secara kolektif di bawah satu asuransi proyek terpadu, daripada membiarkan mereka terkungkung dalam silo tanggung jawab individu.

Dengan cara ini, tim akan bebas beroperasi seolah-olah dalam perusahaan virtual. Inovasi desain dan konstruksi akan muncul, saat tim mendekati solusi bangunan dan layanan secara holistik. Kepemimpinan harus memastikan bahwa semua keterampilan dihormati, dan akan menyeimbangkan ekspresi mereka sedemikian rupa untuk memberikan tujuan dan kriteria keberhasilan klien sesuai dengan prioritas yang disepakati. Panduan diberikan dalam perangkat integrasi Forum Strategis untuk Konstruksi. Ini adalah revolusi dalam pendekatan dan budaya, dan karenanya fasilitasi independen dan jaminan risiko merupakan bagian penting dari proses dan pengaturan asuransi yang mendasarinya. Jika Anda selalu melakukan apa yang selalu Anda lakukan, Anda akan selalu mendapatkan apa yang selalu Anda dapatkan.

#### **10.1. PENDAHULUAN**

Bangunan dapat menjadi 'cerdas' karena berbagai macam teknologi yang saat ini tersedia untuk dianut. Jelas, penggabungan teknologi tersebut saja tidak membuat bangunan menjadi cerdas bangunan dapat sepenuhnya tidak berfungsi. Sistem kontrol yang efektif diperlukan untuk menyatukan berbagai teknologi guna menghasilkan hasil lingkungan yang diinginkan. Hanya dengan cara ini 'sains' dapat berhasil dimanfaatkan.

Keterampilan yang dibutuhkan untuk menerapkan sains tersebut tersebar luas di seluruh industri konstruksi. Dalam Sustainable Buildings Need Integrated Teams, Specialist Engineering Alliance menunjukkan bahwa pengetahuan spesialis yang dibutuhkan berkisar dari pengetahuan konseptual tentang fisika bangunan dan bagaimana energi yang diterapkan dapat diminimalkan dengan desain kain dan kaca, hingga pengetahuan produk terperinci tentang kinerja, karakteristik, dan pemasangan produk, dan seterusnya hingga persyaratan operasi dan pemeliharaan yang efektif.

Tidak mungkin tanggung jawab atas kinerja bangunan secara keseluruhan dibebankan hanya kepada desainer konsultan: agar manfaat potensial dari sistem yang efisien dapat terwujud dalam praktik; diperlukan pengetahuan penting yang hanya dimiliki oleh pemasok, produsen, dan pemasang spesialis sebagai bagian integral dari basis pengetahuan, dan untuk dimasukkan ke dalam manajemen fasilitas sehingga dapat mewujudkan kinerja yang

dibutuhkan dalam praktik yang sebenarnya.

Namun, ini hanya akan memberikan sebagian dari potensi bangunan cerdas. Bab-bab sebelumnya telah memberikan wawasan tentang kontribusi yang dapat diberikan lingkungan bangunan terhadap kesejahteraan, kepuasan emosional, dan kreativitas penghuninya. Hubungan antara biaya konstruksi, biaya pengoperasian gedung, dan biaya menjalankan bisnis melalui penghuni gedung diperkirakan oleh Royal Academy of Engineering sebesar 1 : 5 : 200. Ada penilaian lain, tetapi semuanya memberikan perspektif yang meyakinkan mengenai pentingnya tujuan mendasar dari gedung tersebut.

Oleh karena itu, kembali ke tim yang akan menciptakan bangunan cerdas, tim ini perlu berfokus pada tujuan akhir agar orang-orang yang menempati bangunan tersebut terinspirasi untuk bekerja dengan potensi penuh mereka. Sumber daya apa yang lebih baik untuk difokuskan pada kesejahteraan mental manusia yang akan menjadi penghuninya selain manusia lain yang akan merancang, membangun, dan memelihara bangunan tersebut?

Dengan memperluas analogi musik yang telah dibuat di bab sebelumnya, seorang pianis atau pemain biola tidak akan menjadi musisi yang lengkap kecuali ia menggabungkan ilmu mengoperasikan instrumen dengan seni untuk menafsirkan musik menjadi pertunjukan yang menarik dan meyakinkan. Lebih jauh, sebuah orkestra dapat terdiri dari musisi yang lengkap, tetapi kecuali mereka saling melengkapi lebih dari sekadar mematuhi orkestrasi skor masing-masing, mereka tidak akan menciptakan pertunjukan yang menarik, meyakinkan, dan sepenuhnya inspiratif yang kita nikmati dari orkestra terbaik di dunia.

Penampilan yang luar biasa baik di aula konser maupun di proyek konstruksi secara langsung bergantung pada kombinasi sinergi anggota orkestra/tim dan kepemimpinan yang inspiratif oleh konduktor/pemimpin proyek. Kamus Oxford Ringkas mendefinisikan sinergi sebagai 'interaksi atau kerja sama dua atau lebih organisasi untuk menghasilkan efek gabungan yang lebih besar daripada jumlah efek masing-masing'.

Ada ketidaksesuaian antara aspirasi ini dan kinerja rata-rata industri konstruksi. Proyek-proyek contoh telah menunjukkan betapa spektakulernya keberhasilan itu, tetapi ini telah dicapai terlepas atau di luar aturan pengadaan yang normal oleh kepemimpinan yang inspiratif (biasanya oleh klien) dan sifat baik serta keinginan timnya untuk menyenangkan klien.

## **10.2. UPAYA INDUSTRI UNTUK MENINGKATKAN KINERJA SELAMA DEKADE TERAKHIR**

Laporan yang menganalisis alasan kinerja industri konstruksi yang secara tradisional buruk tersebar di abad kedua puluh: Simon, Emmerson, Banwell, Higgin dan Jessop, Crichton C, Joint Working Party Studying Public Sector Purchasing, National Economic Development Office, yang berpuncak pada Latham dan Egan. Pada akhir tahun 1998, Pemerintah Inggris membentuk Gerakan Inovasi (M4i) untuk mendorong perubahan radikal dalam industri yang diserukan oleh Laporan Egan. Banyak kemajuan telah dicapai, dengan dukungan dari apa yang sekarang dikenal sebagai 'Constructing Excellence', melalui proyek demonstrasi dan inisiatif lain yang didorong oleh 'para penggerak dan pelopor' industri.

Baik laporan Latham maupun Egan menyerukan, antara lain, perubahan radikal terhadap fragmentasi industri antara konsultan (untuk desain dan penganggaran) dan

kontraktor (untuk konstruksi); Rethinking Construction menyatakan bahwa industri harus mengintegrasikan dirinya sendiri: Perusahaan yang paling sukses tidak memecah-mecah operasinya mereka bekerja berdasarkan kebutuhan pelanggan dan berfokus pada produk dan nilai yang diberikannya kepada pelanggan. Proses dan tim produksi kemudian diintegrasikan untuk memberikan nilai kepada pelanggan secara efisien dan menghilangkan pemborosan dalam segala bentuknya.

Sejak laporan ini, tidak ada kekurangan publikasi otoritatif lebih lanjut yang mendukung pesan ini. Pada tingkat praktis, 'perangkat integrasi' diciptakan untuk memandu klien dan praktisi industri dalam proses integrasi dan budaya kerja kolaboratif. Perangkat integrasi ini didukung oleh penerus M4i, Forum Strategis untuk Konstruksi, pada tahun 2003. Namun, kecuali dalam kasus proyek di mana klien bersikeras agar tim terpadu ditunjuk sejak awal dan budaya kemitraan dan kolaborasi berlaku di seluruh tim seperti proyek Glaxo Wellcome FUSION dan proyek BAA Heathrow Terminal 5 fragmentasi industri masih terus berlanjut.

Bahkan, ketika klien telah mencari hubungan kemitraan, hal ini terlalu sering gagal menjangkau sebagian besar rantai pasokan, yang biasanya mencakup lebih dari 80% biaya proyek. Di pertengahan periode ini, pada tahun 2005, Kantor Audit Nasional memperingatkan tentang pemborosan yang terus berlanjut: Penghematan hingga Rp53.677.520.000 mungkin dapat dilakukan jika praktik yang baik termasuk kemitraan dan pengembangan awal tim proyek terpadu diterapkan di seluruh sektor publik. Atas dasar ini, pada tahun 2011 lebih dari Rp309.751.350.000 dapat dihemat di sektor publik saja.

### **10.3. HAMBATAN YANG TERUS MENGHALANGI PERUBAHAN RADIKAL**

Alasan mengapa perubahan radikal belum terjadi dapat dengan mudah disarikan dari berbagai publikasi seperti

- Unlocking Specialist Potential (Saad Dan Jones, 1998)
- Accelerating Change (Strategic Forum For Construction, 2002)
- Improving Public Services Through Better Construction (National Audit Office 2005)
- Profiting From Integration (Strategic Forum For Construction, 2007)
- Never Waste A Good Crisis (Constructing Excellence 2009).

Inti dari masalah ini adalah pengadaan yang cacat.

- Tim terpadu belum ditunjuk sejak awal, atau sama sekali tidak ditunjuk.
- Seleksi telah dilakukan berdasarkan harga biasanya yang terendah.
- Kontrak telah difokuskan pada kewajiban atas kegagalan individu.
- Asuransi telah mencerminkan kontrak dan kewajiban yang terfragmentasi.

Industri ini gagal untuk 'menjalankan apa yang dikatakan'. Untuk memahami tantangan yang akan datang, pertama-tama perlu untuk menganalisis alasan mengapa perubahan radikal yang telah dituntut secara otoriter begitu sulit dipahami. Kemitraan dan integrasi hanya sebatas permukaan; sebagian besar kontraktor telah berhenti menggunakan sumber daya secara langsung, dan telah menjauhkan diri dengan melakukan subkontrak; dan praktik tradisional serta konfrontasi terhadap dan di sepanjang rantai pasokan terus mengalihkan perhatian dari konsentrasi untuk mencapai tujuan klien untuk proyek tersebut.

Penting untuk berhenti sejenak pada titik ini dan mempertimbangkan apa yang ada di balik reputasi yang berbeda dari konsultan, kontraktor, dan rantai pasokan di bawah mereka. Sungguh tidak menyenangkan untuk berasumsi seperti yang masih dilakukan beberapa orang bahwa, pada prinsipnya, semua konsultan jujur dan semua kontraktor dan subkontraktor tidak dapat dipercaya. Ada lebih banyak kebenaran dalam pepatah bahwa ada 'kehormatan di antara pencuri'. Tidaklah tidak realistis untuk mengharapkan perilaku adat berubah. Jarang sekali perilaku tersebut didorong oleh niat jahat; hal itu muncul karena tekanan finansial yang disebabkan oleh proses pengadaan yang cacat di mana kontraktor dan subkontraktor ditunjuk.

Kontraktor yang ditunjuk dengan harga terendah (seringkali di bawah harga ekonomis) dimotivasi oleh kebutuhan untuk mendapatkan keuntungan dari suatu tempat, dan akan berusaha melakukan hal ini baik dengan mengklaim uang tambahan dari kliennya maupun dengan menghasilkan uang dari subkontraktornya dalam kasus terakhir dengan menekan harga, menunda pembayaran bulanan (sehingga mengamankan kredit gratis) dan gagal melepaskan retensi. Semakin tinggi harga dan semakin rendah biayanya, semakin besar perbedaannya yang merupakan keuntungan. Sebaliknya, jika keuntungan secara langsung bergantung pada seberapa baik konsultan, kontraktor, dan rantai pasokan secara kolektif berkinerja terhadap tujuan klien, dan jika godaan untuk menahan uang tunai dihilangkan, semua pihak, termasuk kontraktor, akan termotivasi untuk bekerja sama secara maksimal sehingga dapat memberikan hasil terbaik bagi klien dan mendapatkan keuntungan paling banyak.

Dalam skenario ini, kontraktor tidak lagi berada dalam dilema karena ingin menyenangkan kliennya dan memiliki kesempatan untuk pekerjaan berikutnya, tetapi perlu meningkatkan akun akhirnya. Pengalaman telah menunjukkan bahwa perilaku memang berubah sejalan dengan motivasi komersial. Perlu dicatat bahwa masalah serupa muncul, dalam pengadaan tradisional, antara subkontraktor dan sub-subkontraktornya, dan bahkan dengan pemasok, karena tekanan dari atas. Setiap kali uang itu 'diekstraksi' dari rantai pasokan, klien berisiko mengalami kerugian karena penurunan kualitas produk dan layanan yang diterimanya. Penunjukan kontraktor, subkontraktor, rantai pasokan mereka dan bahkan konsultan dengan harga terendah bukanlah satu-satunya hambatan untuk mencapai perubahan radikal yang dibutuhkan.

Kontrak yang semakin rumit dan dokumentasi hukum lainnya telah dikembangkan untuk memungkinkan klien mengambil tindakan balasan jika atau ketika kontraktor gagal melakukan dan/atau mencoba mengurangi kualitas kinerjanya sebagai reaksi terhadap tekanan ekonomi yang menyebabkan ia ditunjuk. Karena pemisahan buatan antara desain dan konstruksi masih tetap ada dalam beberapa bentuk kontrak, kontraktor harus dilindungi dari kegagalan oleh konsultan untuk mengeluarkan informasi desain atau instruksi lain yang memungkinkannya untuk memaafkan kegagalan dan menghindari hukuman.

Ini adalah 'budaya tanggung jawab', yang telah menciptakan suasana negatif, sedangkan yang dibutuhkan adalah pendekatan 'bisa dilakukan' yang positif, dengan pengakuan yang tepat untuk pencapaian yang luar biasa. Asuransi yang melayani industri ini melanggengkan hal ini, karena mereka mencerminkan pemisahan dan budaya kontrak

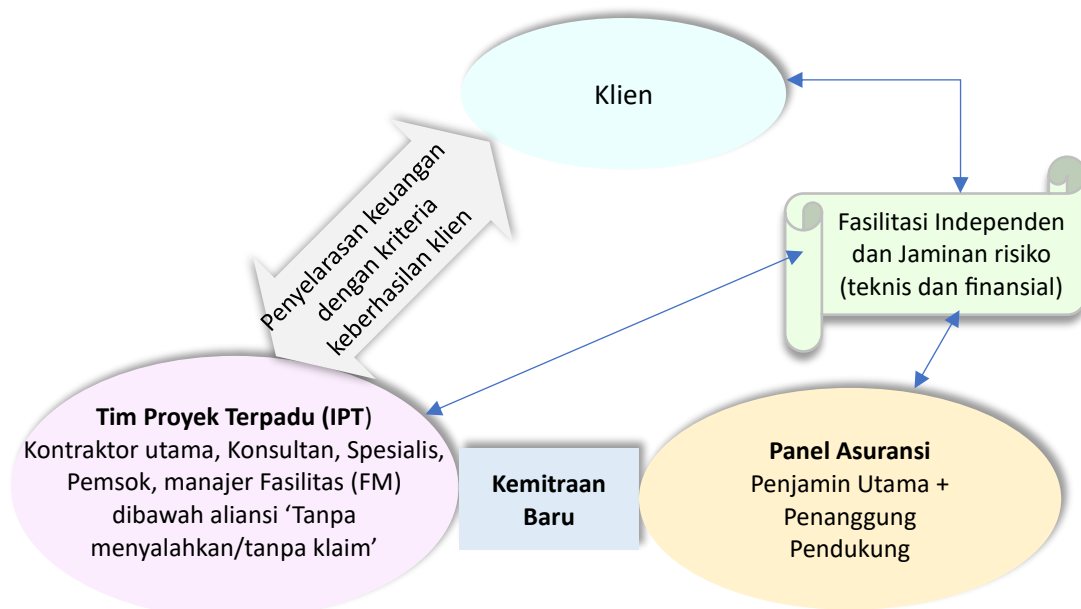


industri. Sementara orang akan mengharapkan asuransi untuk fokus terutama pada risiko yang tidak dapat diramalkan seperti bencana alam, kebakaran, dan vandalisme, area yang paling membebani mereka adalah kelalaian profesional dan kegagalan terkait. Pengadaan yang cacat, bukan Yang Mahakuasa, adalah musuh utama manajemen risiko yang efektif.

#### 10.4. ERA PERUBAHAN

Never Waste a Good Crisis kemudian menunjukkan jalan bagi industri di masa depan. Industri diminta untuk mengambil inisiatif, daripada menunggu pemerintah memimpin. Di bawah panji dan kepemimpinan Specialist Engineering Alliance, sebuah usulan (usulan SEA) dikembangkan untuk menyatukan rekomendasi dari laporan Forum Strategis untuk Konstruksi, Pemerintah Inggris, dan Kantor Audit Nasional yang telah dirujuk menjadi rencana aksi praktis, khususnya menanggapi tekanan dari Panitia Khusus Anggota Parlemen pada tahun 2008. Usulan SEA didasarkan pada proses pengadaan yang digambarkan dalam Gambar 10.1, yang mencakup:

- Identifikasi awal tujuan proyek, dan penyesuaian kepentingan komersial seluruh tim dengan tujuan tersebut
- Kepemimpinan klien yang berkomitmen dan manajemen proyek yang cerdas
- Fasilitasi budaya kolaboratif, terbuka, dan ‘tanpa menyalahkan’
- Manajemen risiko independen, baik teknis maupun finansial
- Kemitraan baru dengan perusahaan asuransi, dengan produk asuransi baru yang merangkul klien dan seluruh tim terpadu.



**Gambar 10.1 ‘Aliansi’ Antara Klien, Industri, Dan Perusahaan Asuransinya Kemitraan Dalam Manajemen Risiko**

Hal ini juga menuntut kepemimpinan dan manajemen proyek yang lebih baik, yang mampu

- Memberikan Dampak Pada Prioritas Yang Digariskan. Seperti Kecepatan Penyampaian,

Keberlanjutan, CAPEX Versus OPEX, Keandalan Operasional

- Memastikan Keterampilan Masing-Masing Anggota Tim Dihormati Dan Digunakan, Meskipun Latar Belakang Dan Kepribadian Mereka Berbeda
- Memotivasi Tim Untuk Menantang Konvensi (Seperti Standar) Demi Menciptakan Lingkungan Yang Inspiratif Dan Bermanfaat
- Membuat Perbedaan Antara Fase-Fase Untuk Kreativitas, Menyusun Ide-Ide Menjadi Keputusan, Dan Mengimplementasikan Keputusan-Keputusan Tersebut
- Memberikan Inspirasi Untuk Bersenang-Senang, Mengatur Hasil Yang Lebih Besar Daripada Jumlah Masukan, Dan Mampu Merayakan Keberhasilan.

#### 10.5. PENGADAAN TIM TERPADU

Proses pengadaan tim terpadu melibatkan

- Klien dan tim penasihatnya menyetujui ringkasan fungsional yang menunjukkan apa yang terjangkau tetapi tidak menentukan solusi
- Menggunakan kriteria pemilihan berdasarkan hal di atas, pemilihan tim perancang konsultan, manajer proyek/konstruksi, kontraktor spesialis, pemasok utama dengan rantai pasokannya, penasihat biaya dan manajer fasilitas di awal, menerapkan prinsip-prinsip seperti yang ditetapkan dalam pemilihan tim yang diterbitkan oleh construction industry council
- Membayar tim terpadu untuk mengembangkan solusi desain dan rencana biaya terbaik yang akan memenuhi ringkasan
- Memberikan jaminan independen kepada perusahaan asuransi dan klien bahwa kelonggaran yang cukup telah dibuat untuk risiko teknis dan finansial
- Memeriksa bahwa solusi desain dan rencana biaya memenuhi atau lebih baik dari tolok ukur objektif proyek-proyek yang sebanding baru-baru ini.

Usulan SEA mengemukakan tantangan bahwa, dengan pengadaan terpadu seperti yang dijelaskan di atas, 15–20% dari biaya proyek dapat dihemat dengan menghilangkan pemborosan proses pengadaan tradisional dan praktik kontraktual terkait. Oleh karena itu, ada 'ketegangan kompetitif', seperti yang digambarkan dalam Gambar 10.2, antara (i) memastikan bahwa solusi desain dan rencana biaya mencakup kelonggaran yang memadai untuk risiko, dan (ii) mencapai pengurangan hingga 20% dari biaya acuan.

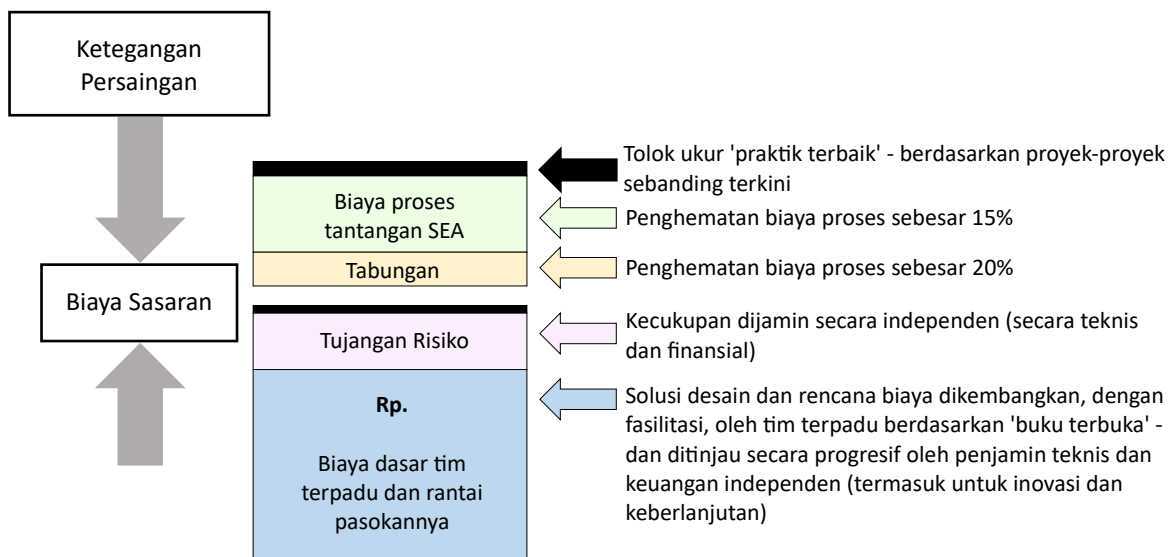
Proses semacam itu menghindari terciptanya mikrokosmos yang mereplikasi industri yang secara tradisional terbagi. Namun, itu tidak cukup, dalam dua hal. Pertama, perilaku harus disesuaikan agar sesuai dengan rezim kolaboratif rekan sejawat, yang berbeda dari hierarki peserta yang tidak setara. Untuk mencapai hal ini, diperlukan seorang fasilitator dengan status independen yang tidak berpihak. Bukti kuat tentang pentingnya peran ini dan keberhasilannya datang dari tempat yang jauh seperti Australia, tempat proyek infrastruktur telah diatur melalui 'aliansi' tim kolaboratif terintegrasi dengan bantuan dan inspirasi dari fasilitator.

Alliancing A Participant's Guide mencantumkan berbagai layanan yang disediakan oleh fasilitator aliansi mereka, didukung oleh 40 catatan kasus yang menggambarkan apa yang

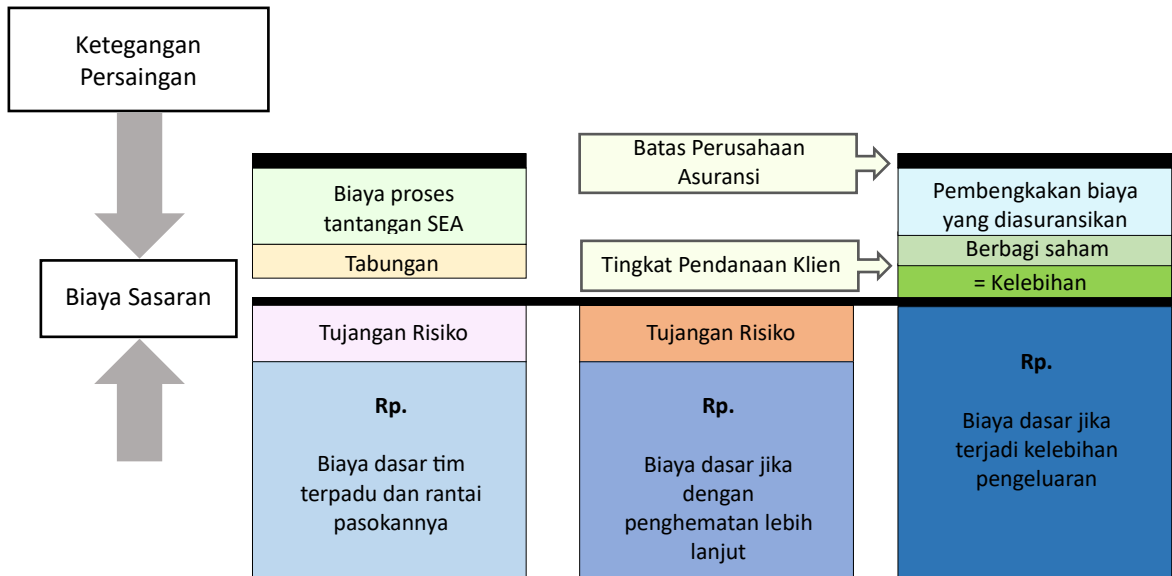
dicapai pada proyek-proyek tersebut. Kedua, bahkan ketika berada dalam tim terpadu dan sungguh-sungguh ingin berkolaborasi, setiap anggota akan menyadari kewajiban individu yang dapat muncul dan menyerang praktik atau perusahaannya. Oleh karena itu, perlu untuk menghilangkan hambatan-hambatan ini dalam dua hal.

- Sebagai prasyarat untuk bergabung dengan tim terpadu, setiap anggota harus membuat perjanjian 'tanpa menyalahkan/tanpa klaim' dengan anggota lainnya.
- Diperlukan bentuk kemitraan baru dengan perusahaan asuransi yang mana sebagai imbalan atas manfaat fasilitasi dan jaminan risiko mereka setuju untuk melepaskan hak subrogasi terhadap klien dan tim terpadu, dan menanggung kerugian di atas kelebihan.

Dengan latar belakang ini, terbuka jalan untuk memberi insentif kinerja melalui pengaturan bagi hasil dan bagi hasil yang mana klien dan anggota tim lainnya memiliki bagian (sama untuk rasa sakit dan keuntungan) yang mencerminkan kontribusi potensial mereka terhadap pencapaian tujuan proyek dan/atau apa yang terjangkau. Namun, ada bagian rasa sakit maksimum, dengan perusahaan asuransi menanggung kerugian setelahnya (tunduk pada batasan di mana kerugian luar biasa dikembalikan kepada klien), dengan hasil bahwa semua anggota mengetahui batas potensi kerugian mereka. Hal ini digambarkan dalam Gambar 10.3 dan akan menghilangkan hambatan finansial normal untuk kolaborasi penuh, dan selanjutnya memfasilitasi penyalarsan kepentingan.



**Gambar 10.2 Benchmarking Dan Penilaian Untuk Keputusan Investasi**



**Gambar 10.3 Pembagian Risiko Dan 'Asuransi Proyek Terpadu' Untuk Persetujuan Investasi 'Gateway 3'**

Tren progresif terkini untuk bentuk kontrak yang lebih kolaboratif seperti New Engineering Contract dan kontrak JCT Constructing Excellence cenderung, menurut definisinya, mengaburkan tanggung jawab, dan telah melemahkan tugas yang sudah sulit untuk menyelesaikan klaim ganti rugi profesional. Hal ini telah menunjukkan jika diperlukan demonstrasi bahwa struktur asuransi harus diubah agar sesuai dengan pengaturan kontrak yang lebih kolaboratif yang telah berkembang.

Pengaturan ini dirancang untuk membebaskan tim agar dapat bekerja sebagai 'perusahaan virtual' (ungkapan yang pertama kali digunakan dalam M4i, 'Gerakan untuk Inovasi' yang diketuai oleh Sir John Egan), tanpa harus menoleh ke belakang karena takut akan potensi serangan balik. Kepemimpinan dan manajemen tim semacam itu harus menjadi pengalaman transformasional jika dibandingkan dengan yang biasanya diterapkan seperti yang ditunjukkan oleh pengalaman di Heathrow Express milik BAA setelah runtuhnya terowongan, ketika sikap defensif digantikan oleh kolaborasi konstruktif segera setelah disadari bahwa risiko setiap pihak telah diturunkan oleh BAA ke tingkat minimal.

### 10.6. MANAJEMEN TIM TERPADU

Diagram proses proyek yang secara tradisional diadakan harus meniru proses berurutan penunjukan konsultan desain, kontraktor, subkontraktor spesialis, pemasok, dan rantai pasokan mereka. Diagram tersebut sekarang harus diubah untuk mencerminkan antarmuka kolaboratif antara anggota tim proyek terpadu. Dengan menggunakan layanan mekanik dan listrik (M&E) sebagai contoh, proses berurutan dan terintegrasi dibandingkan dalam Tabel 10.1.

Perkembangan terkini yang diprakarsai oleh Construction Industry Council (2007) adalah cakupan layanan, matriks terperinci dari banyak elemen desain keseluruhan, sehingga elemen-elemen ini dapat dialokasikan pada setiap proyek dengan setiap penerima juga dapat

melihat bagaimana tugasnya sesuai dengan tugas orang lain. Sebagai alat manajemen, ini mungkin merupakan langkah maju, tetapi jika digunakan dengan kontrak layanan profesional untuk mengalokasikan tugas masing-masing secara kontraktual, hal ini berisiko menjadi batu sandungan yang kontraproduktif bagi manajer proyek.

Proses desain harus bebas untuk berubah seiring dengan penyempurnaan tujuan, karena ide-ide kreatif dalam satu disiplin ilmu membuka peluang atau masalah di disiplin ilmu lain, dan karena produktivitas dan efektivitas individu bervariasi. Manajer proyek harus mudah mengalokasikan kembali tugas untuk alasan apa pun yang menguntungkan proyek, tanpa hambatan atau akibat kontraktual, finansial, atau kewajiban.

**Tabel 10.1 Perbandingan Proses Berurutan Dan Terintegrasi**

Konsultan berurutan	Terintegrasi
<p>Desain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gambar konsep</li> <li>• Spesifikasi</li> <li>• Gambar skema</li> <li>• (pilihan) gambar terkoordinasi</li> <li>• Kontraktor spesialis mengerjakan 'rinci':</li> <li>• (pilihan) gambar terkoordinasi</li> <li>• Gambar kerja</li> <li>• Pengajuan peralatan</li> <li>• Gambar kerja pembangun</li> <li>• Gambar dan manual yang telah dipasang</li> </ul>	<p>Konsultan dan spesialis bersama-sama:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Menganalisis persyaratan kinerja dan 'kriteria keberhasilan' (misalnya biaya seumur hidup (WLC))</li> <li>• Membuat daftar pendek solusi sistem yang memungkinkan</li> <li>• Memilih peralatan untuk memenuhi persyaratan kinerja</li> <li>• Memutuskan rute dll. Yang kompatibel dengan struktur dan arsitektur bangunan</li> <li>• Opsi biaya dan memilih solusi yang paling memenuhi 'kriteria keberhasilan'</li> <li>• Berbagi pekerjaan menggambar sebagaimana mestinya</li> <li>• Secara progresif menandatangani kepatuhan kesehatan dan keselamatan</li> </ul>

Contoh akan berfungsi untuk mengilustrasikan potensi manfaat dari kolaborasi sedekat mungkin, meskipun tidak menyiratkan relevansi universal. Berdasarkan penunjukan silo tradisional, insinyur struktur akan merancang pelat, dan insinyur layanan akan merancang saluran udara dan sebagainya yang digantung di bawahnya. Sebagai anggota tim terpadu, mereka dapat memutuskan pelat struktur kotak yang juga berfungsi sebagai saluran udara dan layanan lainnya, yang juga menghemat ruang vertikal dan menawarkan fleksibilitas untuk perubahan penggunaan di kemudian hari.

Fleksibilitas tersebut akan membuka dimensi baru manajemen proyek, karena berbagai motivasi yang telah dibahas. Berdasarkan pengaturan kontrak tradisional, setiap

konsultan, kontraktor, subkontraktor, dan pemasok berada dalam silo, dilindungi oleh kontrak individu; dalam kasus tim terpadu, 'unit' bukanlah individu tetapi tim, dan satu-satunya kepentingan setiap anggota adalah bahwa tim harus berhasil. Motivasi masing-masing diperbandingkan dalam Tabel 10.2.

Seperti halnya dengan eksperimen Building Down Barriers yang dilakukan oleh Kementerian Pertahanan pada proyek Wattisham dan Aldershot pada tahun 1997, ketika para praktisi lintas disiplin industri diizinkan untuk bekerja sama, tanpa hambatan, dalam tim terpadu, mereka tidak lambat untuk menghargai alat dan proses mana yang produktif, dan mana yang merupakan pemborosan. Misalnya, jenis gambar tertentu ditemukan diproduksi semata-mata untuk tujuan kontraktual, atau menyampaikan informasi yang nilainya meragukan, dan ditiadakan.

Insinyur layanan dalam tim terpadu akan mempertanyakan tujuan spesifikasi preskriptif, ketika mereka akan bekerja sama dengan kontraktor spesialis untuk memilih sistem dan peralatan dengan tujuan tunggal untuk memenuhi ringkasan fungsional. Kembali ke contoh struktur pelat kotak, bagian yang telah ditentukan sebelumnya dari pembagian keuntungan yang meningkat sebagai hasil dari kriteria keberhasilan bangunan yang ditingkatkan dan biayanya yang dikurangi akan membebaskan bahkan mendorong konsultan layanan dan kontraktor spesialis untuk mempertimbangkannya. Ini mungkin tidak terjadi di bawah penunjukan silo tradisional.

Tabel 10.2 Motivasi Yang Berbeda Antara Individu Dan Tim

Individu	Tim
Biaya terendah/harga tender: <ul style="list-style-type: none"> <li>• mengutamakan kepentingan sendiri</li> <li>• memberikan penawaran rendah + meningkatkan akun akhir (FA)</li> <li>• 'saling memangsa'</li> <li>• bersiap dengan alasan</li> <li>• menyalahkan dan menuntut</li> <li>• melindungi asuransi sendiri</li> <li>• mempertahankan silo sendiri</li> </ul>	Manfaatkan pencapaian: <ul style="list-style-type: none"> <li>• utamakan tujuan klien</li> <li>• manfaatkan kesuksesan kolektif</li> <li>• saling mendukung</li> <li>• atasi kegagalan (siapa pun)</li> <li>• budaya tanpa menyalahkan</li> <li>• gunakan asuransi proyek</li> <li>• hilangkan pemborosan budaya silo</li> </ul>

Tabel 10.3 Ringkasan Buku Kerja Tim Proyek Terpadu (IPT)

Fase/aktor	Kegiatan utama
Mengidentifikasi kebutuhan bisnis	Menetapkan kebutuhan untuk proyek
Tim penasihat	Mengembangkan ringkasan strategis dan kriteria keberhasilan
Tim inti	Membuat dan menyaring solusi strategis
Memperluas tim inti dan kluster	Mengembangkan solusi potensial
Tim proyek terintegrasi	Melaksanakan solusi yang disepakati
Pembuktian proyek	Memastikan ringkasan strategis dan kriteria keberhasilan terpenuhi

Tinjauan proses	Mengidentifikasi keberhasilan dan pembelajaran
-----------------	--

Seperti yang telah disebutkan, perangkat integrasi yang diterbitkan oleh Forum Strategis untuk Konstruksi tersedia sebagai panduan untuk proses dan budaya baru kerja kolaboratif yang terintegrasi. Inti dari perangkat tersebut adalah buku kerja untuk anggota utama tim proyek terintegrasi (IPT) dan juga rantai pasokan. Buku kerja IPT dirangkum dalam Tabel 10.3. Setiap buku kerja menetapkan proses, budaya dan aktivitas, dan perangkat dan teknik. Perangkat tersebut mencakup pengalaman dan aspirasi lebih dari 50 praktisi di seluruh industri.

Perangkat tersebut memberikan banyak bahan untuk dipikirkan dan fleksibilitas untuk kepemilikan tim; ini bukan buku petunjuk terperinci. Budaya tim kolaboratif yang terintegrasi sepenuhnya jelas dari Buku Kerja IPT 0.

- Satu tim yang berfokus pada serangkaian tujuan dan sasaran bersama yang memberikan manfaat bagi semua pihak yang terlibat.
- Tim yang sangat terpadu sehingga tampak beroperasi seolah-olah itu adalah perusahaan yang berdiri sendiri. Sebuah tim, tanpa batasan yang jelas, di mana semua anggota memiliki kesempatan yang sama untuk berkontribusi dan semua keterampilan dan kemampuan yang ditawarkan dapat digunakan untuk mencapai efek yang maksimal.

Betapa tepat waktunya bahwa pemodelan informasi bangunan (BIM) menjadi kenyataan praktis! Seiring diadopsinya BIM, peluang dapat diambil untuk membuang alat-alat tradisional (seperti spesifikasi) yang selama ini menjadi hambatan bagi kolaborasi, dan platform terbukanya akan segera diterima ketika masalah tanggung jawab dan asuransi diselesaikan, seperti yang telah dibahas yang tidak selalu terjadi.

Bekerja sama secara kolaboratif, konsultan desain, kontraktor spesialis (melibatkan supervisor mereka) dan, yang terpenting, pemasok akan dapat menyelesaikan desain yang cocok untuk konstruksi modular, prafabrikasi, rutinitas konstruksi berulang, dan pemasangan mekanis. Semua akan berkepentingan dalam hal ini untuk meningkatkan kontrol kualitas dan mengurangi risiko dan biaya di lokasi. Praktik-praktik ini akan membuahkan hasil dalam

- Penyelesaian tepat waktu dengan 'surat keterangan sehat' yang jelas
- Gambar-gambar yang dipasang dan rincian operasi dan pemeliharaan (O&M) yang dihasilkan dari BIM
- Pendaratan yang mulus' saat serah terima ke klien
- Kinerja yang berkelanjutan dan pengurangan risiko cacat laten.

Jika tim terpadu menyampaikan arahan fungsional dan kriteria keberhasilan sesuai dengan prioritas yang disepakati, mereka harus diberi penghargaan melalui penyelarasan kepentingan finansial yaitu dengan pembagian keuntungan (dalam proporsi yang telah disepakati sebelumnya).

Jika terjadi masalah yang berdampak buruk pada kinerja dan/atau meningkatkan biaya, setiap anggota tim terpadu akan menanggung beban kerugian (dalam proporsi yang telah disepakati sebelumnya), tetapi penting bagi perusahaan asuransi untuk mendukung tim jika

terjadi kerugian yang berlebihan. Jika tidak, konservatisme dan perilaku protektif akan menghalangi manajer proyek untuk mendapatkan hasil terbaik dari timnya.

### **10.7. PERAN HUKUM**

Profesi hukum terlalu sering terlibat dalam pertempuran tentang proyek yang gagal, dan seperti perusahaan asuransi, telah menjalankan tugasnya di lingkungan struktur industri yang terfragmentasi. Namun, para pengacara sangat dibutuhkan dalam dunia integrasi dan kerja sama. Masa depan terletak pada aliansi antara peserta proyek utama, yang di dalamnya kepentingan mereka selaras. Tinjauan Biaya Infrastruktur Pemerintah Inggris: Rencana Implementasi mengumumkan tinjauan yang 'akan mencakup pertimbangan pendekatan terkini terhadap transfer risiko dan pemberian insentif serta kebutuhan akan perjanjian bentuk standar tambahan, misalnya, templat aliansi pemasok sektor publik'.

Seperti yang telah disebutkan, aliansi di Australia telah memimpin jalan. Berdasarkan usulan SEA, perjanjian aliansi harus menyediakan bentuk 'kemitraan' baru dengan perusahaan asuransi, hubungan yang jauh lebih terbuka daripada dalam pengaturan tradisional. Perjanjian aliansi dapat bersifat fleksibel, dan memang harus menanggapi kebutuhan kontraktual para peserta aliansi, bukan membatasi mereka. Kehati-hatian dan perhatian yang besar perlu diberikan untuk memastikan bahwa kepentingan benar-benar selaras, dan skenario 'bagaimana jika' harus dieksplorasi secara menyeluruh. Hal ini diilustrasikan dengan baik dalam Kemitraan di Eropa Aliansi Berbasis Insentif untuk Proyek milik European Construction Institute. Pikiran hukum sangat cocok untuk proses pemikiran yang menantang tersebut.

Alih-alih setiap peserta mengambil nasihat hukum yang terpisah, seorang 'pengacara proyek tunggal' yang memegang arahan untuk proyek tersebut harus ditunjuk sejak awal, bekerja sama erat dengan fasilitator. Perannya adalah membantu menyusun dan menyelesaikan perjanjian aliansi, termasuk pengaturan pembagian keuntungan dan pembagian kerugian, dan kemudian membantu dalam mengelola dan menghindari perselisihan, dan menyelesaikannya jika menjadi hal yang tak terelakkan. Konsep pengacara proyek tunggal telah dipromosikan, tetapi dukungan tegas datang dalam Partnering and Collaborative Working dalam Kata Pengantar oleh Humphrey Lloyd QC, yang saat itu menjadi hakim Pengadilan Teknologi dan Konstruksi.

### **10.8. TANTANGAN MASA DEPAN DAN PERAN AKADEMISI**

Strategi Konstruksi Pemerintah yang diterbitkan oleh Kantor Kabinet pada tanggal 31 Mei 2011 mendukung usulan SEA untuk memberikan 'lebih banyak dengan biaya lebih sedikit', bersama dengan produk asuransi baru yang disebut 'asuransi proyek terpadu' (IPI). Kantor Kabinet kemudian membentuk kelompok tugas bersama dengan industri, dan di samping model dan inisiatif pengadaan lainnya, laporan akhirnya memberikan lampu hijau bagi 'model IPI' untuk diuji pada proyek percontohan. Tunduk pada uji coba yang berhasil, praktik terbaik yang dihasilkan akan diluncurkan di seluruh pemerintahan.

Tantangan yang dinyatakan adalah bahwa, berdasarkan usulan ini, kinerja dapat ditingkatkan dan waktu serta biaya yang terbuang dapat dihemat. Dalam Rencana



Pertumbuhan, Pemerintah Inggris mengumumkan bahwa mereka akan mereformasi cara pengadaan konstruksi dan infrastruktur sektor publik untuk mengurangi biaya hingga 20%. Kantor Kabinet telah membentuk Kelompok Dukungan dan Pengiriman Proyek Uji Coba untuk memastikan bahwa kinerja terhadap ringkasan fungsional dan kriteria keberhasilan akan diukur secara konsisten dan andal; pengaturan sedang disiapkan dengan universitas yang sesuai, bekerja sama dengan Constructing Excellence, untuk memantau, mengukur, menganalisis, dan melaporkan kemajuan, ancaman, dan peluang pada setiap proyek percontohan; dan hasilnya akan dibandingkan, ditulis, dan diumumkan.

Dalam kasus model IPI, pendanaan khusus untuk penelitian dan pengembangan sedang diamankan selama periode 4 tahun untuk memperbarui perangkat integrasi Forum Strategis untuk Konstruksi (2003) dan untuk menguji, bersama dengan proyek percontohan sektor publik, rancangan Kontrak Aliansi dan kebijakan IPI. Peluang spin-off lainnya juga akan dieksplorasi, misalnya untuk menantang kode dan standar yang telah lama berlaku yang secara tradisional diamankan oleh kontrak tetapi dapat menghambat inovasi. Ini memberikan peluang yang sangat berharga bagi industri dan akademisi untuk berkolaborasi dalam proyek langsung, untuk saling menguntungkan.

## **BAB 11**

### **PEMODELAN INFORMASI VIRTUAL DALAM BANGUNAN CERDAS**

Terjadi ‘demam emas’ informasi virtual di mana vendor perangkat lunak, organisasi pemerintah, badan perdagangan dan profesional berlomba-lomba untuk ‘memonetisasi’ atau memberikan penghematan melalui penerapan pemodelan informasi bangunan (BIM) untuk memenuhi kebutuhan informasi konstruksi dan proses operasi bangunan. Namun, agar BIM benar-benar berhasil, hegemoni kepentingan bisnis perlu membebaskan sepenuhnya dan menyerahkan kendali kepada pengguna, tetapi, seperti halnya prospek apa pun, pengguna harus berhati-hati terhadap ‘emas palsu’.

Didorong oleh pemerintah dan kecerdasan komersial, para pengadopsi awal menerapkan BIM untuk mengoptimalkan desain dan memenuhi kebutuhan pengadaan, pemasangan, komisioning, dan operasi, sementara ‘standar’ berkembang biak di sekitar mereka. Bab ini akan mempertimbangkan jalur yang mengarah ke BIM, dan bagaimana nilai riil dapat ditambahkan ke seluruh proses pembangunan melalui integrasi yang cermat. Bab ini akan berupaya menetapkan apa yang dibutuhkan untuk memastikan bahwa filosofi dan praktik BIM memberikan janji egaliternya, bukan kekayaan bagi segelintir orang.

#### **11.1. EVOLUSI INTEGRASI PEMODELAN INFORMASI BANGUNAN DALAM KONSTRUKSI**

##### **Desain**

Informasi adalah urat nadi proyek konstruksi, sementara desain adalah salah satu komponen utama urat nadi tersebut. Desain telah menjadi dasar industri konstruksi, terlepas dari sifat atau detail desainnya. Mendesain memerlukan pertimbangan estetika, praktis, fiskal, sosial, politik, lingkungan, dan dimensi lainnya. Dari garis besar dan gambar sketsa sebelumnya hingga cetak biru arsitektur yang lebih rinci, dan sekarang desain multidimensi digital yang sangat rumit, ini adalah proses yang mencerminkan peningkatan penekanan pada pentingnya desain dalam industri konstruksi, dan karenanya pelebaran aspek aktivitas terkait yang harus dipertimbangkan dalam desain.

Pemahaman yang lebih baik tentang subjek ini akan memungkinkan pengurangan pengerjaan ulang, dan dengan demikian pengoptimalan desain untuk manfaat seumur hidup semua pengguna. Penelitian desain merupakan fenomena yang lebih baru, yang telah memperoleh signifikansi dalam studi sistem informasi yang mampu memberikan berbagai perspektif. Sementara individu tertarik untuk mengakses informasi dengan mudah dan cepat menggunakan teknologi informasi dan komunikasi yang ada serta alat kerja kolaboratif dan sistem manajemen (misalnya Asite, Aconex, BIW, CLEVER, KnowBiz), mereka lebih tertarik pada informasi bernilai tinggi dan berkualitas tinggi.

Secara khusus mereka tertarik untuk memiliki informasi desain untuk berbagai pemangku kepentingan di sepanjang rantai pasokan konstruksi yang menyediakan keputusan desain yang berkelanjutan untuk masa pakai aset yang dibangun. Hal ini telah memperluas

pekerjaan dan tanggung jawab, serta pengaruh, para desainer, yang membutuhkan komunikasi yang lebih besar dan kolaborasi yang lebih erat di antara berbagai pelaku dan pemangku kepentingan utama (misalnya pemilik, surveyor, insinyur konstruksi, manajer fasilitas) untuk mencapai hasil yang diinginkan yang hemat biaya dan efisien sementara pada saat yang sama memenuhi persyaratan proyek lainnya waktu, kualitas, lingkungan, logistik, pembangunan dan keselamatan.

### **Desain berbantuan komputer**

Pengenalan desain berbantuan komputer (CAD) merupakan perkembangan signifikan dalam industri konstruksi, dan dunia teknik secara keseluruhan. CAD menghadirkan perubahan besar dari rancangan manual, menghemat waktu dan biaya, serta memfasilitasi peningkatan kolaborasi, distribusi dokumen, dan keterampilan manajemen data untuk terlibat dalam proses tersebut. Meskipun demikian, beberapa pihak mengkritik bahwa pengguna CAD sering kali memecahkan masalah komputer tetapi tidak arsitektur.

Kritik lainnya mencakup biayanya dalam hal pelatihan dan peralatan, serta menjadi aktivitas terisolasi yang tidak mendukung lingkungan tim yang komunikatif, dan klaim kemudahan penggunaannya telah ditentang. CAD menawarkan presentasi desain yang lebih baik dengan menyediakan representasi visual 2D dan, baru-baru ini, 3D dari informasi desain, sehingga mengendalikan kesalahan yang disebabkan oleh kesalahan manajemen informasi dengan lebih baik.

### **Pemodelan informasi bangunan: perspektif pemangku kepentingan**

Perkembangan lebih lanjut dalam bidang ini adalah pemodelan informasi bangunan (BIM) dan teknologi serta proses terkaitnya. Pemodelan parametrik tiga dimensi bangunan telah dikembangkan secara bertahap selama beberapa dekade, dan telah berevolusi menjadi BIM. American Institute of Architects mendefinisikan BIM sebagai representasi digital dari karakteristik fisik dan fungsional suatu proyek. Definisi yang lebih komprehensif diberikan oleh National Institute of Building Sciences.

BIM adalah representasi digital dari karakteristik fisik dan fungsional suatu fasilitas. Dengan demikian, BIM berfungsi sebagai sumber pengetahuan bersama untuk informasi tentang suatu fasilitas yang membentuk dasar yang andal untuk pengambilan keputusan selama siklus hidupnya sejak awal dan seterusnya. Premis dasar BIM adalah kolaborasi oleh berbagai pemangku kepentingan pada berbagai fase siklus hidup suatu fasilitas untuk memasukkan, mengekstrak, memperbarui, atau memodifikasi informasi dalam proses BIM untuk mendukung dan mencerminkan peran pemangku kepentingan tersebut.

BIM adalah platform yang jelas yang mengintegrasikan informasi tentang suatu proyek dari desain hingga konstruksi dan ke dalam manajemen operasi dan fasilitas. Dengan penerapan teknologi 3D, teknologi ini berpotensi menciptakan visualisasi yang lebih tepat, memberikan informasi akurat mengenai biaya, tampilan, dan kinerja suatu proyek. Karena berbagai dimensi desain dapat dilihat dengan semua detail terkait, koordinasi, kualitas, dan fleksibilitas dapat ditingkatkan, sementara penundaan, risiko, kerusakan lingkungan, dan pemborosan dapat dikurangi. BIM masih dalam tahap awal dan potensi penuhnya masih harus diwujudkan. Nisbet dan Dinesen menjelaskan bahwa:

*BIM adalah model digital suatu bangunan yang menyimpan semua informasi tentang suatu proyek. BIM dapat berupa 3D, 4D (mengintegrasikan waktu), atau bahkan 5D (termasuk biaya) hingga 'nD' (istilah yang mencakup informasi lainnya).*

Hasan menjelaskan penggabungan dimensi keenam dan ketujuh, yaitu desain berkelanjutan dan manajemen fasilitas. Bagi pemangku kepentingan BIM utama lainnya, waktu jelas memainkan peran utama dalam cara manajer atau operator konstruksi memandang BIM sebagai alat yang membantu menghemat waktu, dan karenanya mengurangi biaya, dalam pekerjaan sehari-hari mereka, karena sebagian besar proyek konstruksi yang kompleks kemungkinan besar akan selesai lebih dari 6 bulan terlambat karena kontrol waktu yang buruk.

Tujuh puluh lima persen (75%) responden (surveyor RICS) dan 85% dari mereka yang telah mengerjakan proyek BIM setuju dengan pernyataan: BIM adalah proses menghasilkan dan mengelola informasi tentang sebuah bangunan selama seluruh siklus hidupnya. Oleh karena itu, BIM dimaksudkan untuk menjadi gudang informasi bagi pemilik/operator fasilitas untuk digunakan dan dipelihara sepanjang siklus hidup fasilitas tersebut selain mendeteksi benturan atau konflik. Elemen deteksi dapat membedakan perbedaan dan tumpang tindih, dan karenanya potensi benturan dapat dihindari.

Meskipun survei yang dilakukan di Inggris oleh National Building Specification (NBS) pada bulan September/Oktober 2010 dan diselesaikan oleh 400 responden mengungkapkan bahwa hanya 58% responden yang mengetahui BIM (meskipun mayoritas responden secara keseluruhan adalah arsitek) dan, di antara ini, hanya 13% yang menggunakannya dibandingkan dengan 42% yang menggunakan CAD, namun tampaknya ada konsensus yang berkembang mengenai relevansi masa depan dan peningkatan penggunaan BIM dalam industri konstruksi. BIM tampaknya merespons dengan baik tuntutan yang semakin kompleks dalam industri konstruksi.

Sebagaimana dinyatakan dalam Survei BIM Nasional NBS, 'Tiga perempat dari 1000 profesional konstruksi yang saat ini mengetahui BIM memperkirakan mereka akan menggunakannya pada beberapa proyek pada akhir tahun 2012, dan hampir 19 dari 20 orang berharap untuk menggunakannya dalam waktu lima tahun'. Namun, ada kekhawatiran tentang aspek-aspek tertentu dari BIM, termasuk investasi waktu dalam mempelajari aplikasi BIM, gangguan pada alur kerja yang diterima, berkurangnya produktivitas selama transisi, perubahan budaya, interoperabilitas (yang dapat menjadi masalah karena file yang saling bertentangan) dan kepemilikan serta tanggung jawab hukum.

Survei NBS membuktikan dan menyoroti bahwa hampir 90% orang perlu mengubah praktik dan prosedur alur kerja mereka, tidak hanya pada tahap desain, tetapi juga di semua tahap proyek. BIM adalah pendekatan kolaboratif di antara beberapa pemangku kepentingan utama yang disebutkan di atas, yang menimbulkan masalah tanggung jawab dan akuntabilitas, serta kepemilikan kekayaan intelektual dan hak cipta. Lebih jauh, ini tidak hanya akan melibatkan perubahan dalam penggunaan perangkat lunak, tetapi juga perubahan budaya dan organisasi, yang membutuhkan kolaborasi tingkat tinggi dan tanggung jawab yang lebih jelas. Para pengguna harus lebih efisien dan cakap. Para pengguna BIM menekankan bahwa BIM,

oleh karena itu, bukan sekadar peningkatan pada CAD tetapi solusi baru untuk tantangan konstruksi.

Penggunaan BIM menjadi semakin populer di seluruh dunia, khususnya untuk proyek-proyek besar. Temuan menarik dari Laporan SmartMarket adalah bahwa pengguna BIM tertinggi adalah arsitek: 46% di Eropa Barat, 60% di Inggris, dan 40% di Jerman. Ada sinyal yang jelas tentang meningkatnya penggunaan BIM dan kegunaannya dalam industri konstruksi, dan semakin banyak contoh dari seluruh dunia tentang keberhasilan penggunaan teknologi ini. Baru-baru ini, data komersial dari sektor konstruksi Inggris menunjukkan pengurangan biaya yang konsisten sebesar 8–18% yang terkait dengan tahap desain RIBA C hingga E dengan penggunaan model desain yang kaya informasi ini, sementara potensi penghematan yang lebih besar dapat mencapai 40% dalam fase konstruksi. Diusulkan bahwa:

BIM harus dipertimbangkan dalam konteks meningkatnya globalisasi rantai pasokan konstruksi dan lebih banyak homogenisasi dan konsistensi yang lebih besar dari persyaratan informasi dasar klien konstruksi yang sekarang semakin didorong oleh regulasi nasional tentang kinerja energi dan akuntansi karbon. Ada banyak operasi BIM nasional yang saat ini sedang berlangsung di seluruh AS, Skandinavia, Eropa, dan Timur Jauh yang berada pada tingkat pengembangan yang berbeda. Salah satu faktor utama yang mempengaruhi meningkatnya penggunaan BIM adalah pandangan yang diterima secara luas bahwa: BIM pada akhirnya dapat membuat lokasi konstruksi lebih aman dan memberi mereka kemampuan yang lebih baik untuk meningkatkan penggunaan metode konstruksi ramping.

BIM memiliki implikasi untuk semua proses dan aktivitas yang terkait dengan rantai pasokan konstruksi, dan dengan demikian dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap konstruksi ramping. Dapat dikatakan bahwa BIM, sebagai teknologi yang berpusat pada desain dengan penekanan pada berbagi dan kolaborasi, dapat menjadi solusi utama untuk berbagai tantangan di lokasi konstruksi saat ini dengan meningkatkan dan mengoordinasikan rantai pasokan konstruksi.

Dimensi BIM yang ada tidak hanya memperhatikan sebagian besar aspek pekerjaan dan proses konstruksi, tetapi teknologi tersebut juga memiliki potensi untuk menambahkan dimensi lebih lanjut untuk menanggapi tantangan lain yang ada atau yang akan datang. Sebagian besar pemangku kepentingan dengan definisi BIM yang berbeda mendukung sentralitas desain dan penggunaan BIM sebagai teknologi desain yang saat ini sesuai, tetapi juga perlu diakui bahwa semua proses dan aplikasi ini dapat bekerja secara efisien dan efektif dalam konstruksi sehubungan dengan banyak dimensi pekerjaan lainnya dengan mengurangi kesalahan desain dan dengan manajemen informasi yang lebih baik, sehingga mengendalikan biaya, keterlambatan, dan kerusakan.

## **11.2. REVOLUSI ALAT PEMODELAN DARI DESAIN KE OPERASIONAL**

### **Bangunan cerdas**

Istilah 'bangunan cerdas' sering merujuk pada kemampuan bangunan untuk merespons penghuninya secara otomatis dan dalam waktu nyata. Untuk membuat proses desain dan konstruksi menjadi 'cerdas', alat pemodelan baru semakin banyak menyajikan

umpan balik cepat tentang kinerja desain juga. Ada beberapa jenis umpan balik yang dapat ditawarkan alat ini kepada desainer, konstruktor, dan operator bangunan untuk menciptakan desain yang lebih baik dan bangunan yang lebih tangguh.

### **Pemodelan informasi bangunan**

BIM berjanji untuk mempercepat proses desain dan evaluasi dengan memungkinkan konsultan mengakses informasi desain secara langsung dan melakukan analisis kuantitatif dan visual. Setelah diadopsi, opsi desain diubah lebih cepat, dan tim proyek dapat memperoleh manfaat dari keluaran informasi produksi yang terkoordinasi dengan baik. Visinya adalah agar data bangunan utama diserahkan kepada manajer fasilitas dan aset setelah selesai, yang kemudian dapat menghubungkannya langsung ke sistem manajemen bangunan dan program pemeliharaan.

Perangkat lunak BIM pada dasarnya 'menandai' komponen, seperti dinding, jendela, atau lampu, dalam model 3D dan memungkinkan komponen-komponen ini untuk dilampirkan ke basis data yang berjalan secara paralel dengan representasi 3D bangunan. Basis data dapat mencakup informasi seperti biaya, peringkat kebakaran, karbon yang terkandung, dll. Seiring dengan berkembangnya desain, tautan ke basis data memungkinkan informasi kuantitatif diperbarui secara langsung, dengan penjadwalan dan ekstraksi gambar yang sebagian besar diotomatisasi.

Kelemahannya adalah bahwa pemodelan memerlukan banyak keahlian untuk memastikan bahwa informasi yang diekstraksi benar. Jika model tidak terstruktur dengan benar, output dapat cacat atau, sering kali, tidak mungkin diekstraksi dan model perlu dibangun kembali. Informasi yang diperlukan dari model tersebut sangat bervariasi selama desain. Saat ini, model yang dibangun untuk tujuan analisis termal mungkin tidak cocok untuk penjadwalan elemen pelapis dan perkakas besi atau untuk memeriksa jembatan termal. Model alternatif mungkin perlu dibangun atau tim desain perlu menggunakan ekstraksi 'manual' dari informasi utama. Arsitek dan insinyur bercita-cita untuk mengembangkan proposal desain berdasarkan bukti manfaat kinerja.

Namun, umpan balik yang diberikan sering kali tidak instan, dan keputusan penting dibuat tanpa mempertimbangkan dampaknya terhadap kinerja bangunan yang sebenarnya, baik struktural, mekanis, maupun finansial. Untuk desain yang terkoordinasi, disiplin ilmu dapat 'berbagi' model BIM, tetapi tetap memerlukan informasi yang dikemas dan dievaluasi oleh tim ahli secara terpisah sebelum dapat diintegrasikan ke dalam model desain. Ini adalah proses yang panjang, dan keputusan tentang bentuk bangunan, tinggi lantai ke lantai, konfigurasi spasial, kepadatan penghuni, jenis layanan, zonasi, dan sebagainya sering dibuat tanpa masukan tahap awal tersebut. Ini berarti bahwa peluang untuk integrasi desain terlewatkan karena hal ini menjadi mahal untuk diubah di hilir.

Optimalisasi nilai U dinding merupakan contoh yang umum. Peningkatan nilai ini dapat mengurangi beban pemanasan dan pendinginan, tetapi akan menghasilkan penumpukan dinding yang lebih tebal, yang pada gilirannya menurunkan rasio bersih terhadap kotor. Untuk menyatakan bahwa insulasi yang lebih baik lebih penting daripada biaya modal yang lebih tinggi dan hilangnya luas bersih, desainer perlu menyajikan manfaat seumur hidup pada saat

keputusan ini dibuat. Itu berarti bahwa tim desain memerlukan cara umpan balik yang jauh lebih cepat.

### **Pemodelan informasi virtual**

Jenis pemodelan yang berbeda, yang sering disebut pemodelan informasi virtual (VIM) semakin banyak digunakan selama tahap desain. Istilah ini mencakup jenis pendekatan komputasional yang memungkinkan hubungan ditetapkan antara 'parameter' yang berbeda dari suatu desain, oleh karena itu istilah 'model parametrik' muncul. Setelah dibuat, parameter model dan geometri yang terkait dengannya dapat dimanipulasi dan diubah secara interaktif, dan umpan balik tentang kinerja bersifat instan.

Platform perangkat lunak arus utama yang mendukung model relasional tersebut meliputi Generative Components (GC) milik Bentley, Digital Project milik Gehry Technologies (berdasarkan CATIA V5 milik Dassault Systèmes) dan Grasshopper, yang merupakan add-on untuk Rhino. Di luar platform parametrik ini, aplikasi khusus sering kali dikembangkan untuk memanipulasi aspek-aspek tertentu dari bangunan. Kelompok penelitian dan pengembangan (R&D) dari Aedas Architects adalah salah satu organisasi yang dikenal karena menciptakan perangkat lunak tersebut, yang meliputi alat untuk manipulasi interaktif dari kedekatan spasial atau integrasi visual.

Model Simulasi Bangunan Tinggi milik Grup, yang dibuat bekerja sama dengan Arup, Hilson Moran dan Davis Langdon/AECOM, menggabungkan analisis struktural, mekanik-listrik dan biaya tahap awal untuk memberikan umpan balik instan mengenai dampak dari desain tahap awal dan keputusan pengarah. Perubahan pada bentuk, tinggi, spesifikasi fasad, jenis sistem struktural atau hunian menara dapat dilakukan dengan cepat. Model tersebut menghasilkan kuantitas dan indikator efisiensi yang terkait, serta implikasi karbon dan biaya sepanjang masa pakai. Dalam lingkungan VIM, informasi disusun sedemikian rupa sehingga banyak skenario dapat diuji secara kolaboratif.

VIM menangkap hubungan yang mendorong desain seringan mungkin. Lokasi dan parameter komponen, baik yang terkait dengan geometri atau kinerja, didorong oleh hubungan yang telah ditetapkan sedemikian rupa sehingga objek dapat beradaptasi dengan kondisi setempat. Misalnya, perubahan dalam pembangunan fasad memperbarui ukuran inti, pelat lantai, panel kaca, serta angka perolehan surya, dan lokasi kolom diperbarui secara real time sementara tata letak ruangan beradaptasi untuk mengakomodasi hal-hal tersebut. Peluang untuk desain tidak terbatas, dan Aedas R&D telah berupaya keras untuk mengeksplorasi hal ini melalui model 'parametrik' yang disesuaikan serta perangkat lunak yang dibuat khusus.

Mudah untuk berpikir bahwa platform yang ideal adalah platform yang cocok untuk semua pendekatan ini. Namun, mendesain dengan hubungan, sebagai lawan dari komponen, juga bisa jadi rumit. Terlalu banyak, dan suatu model tidak akan lagi interaktif, bahkan pada kecepatan komputasi kontemporer, dan struktur komponen dalam model domain yang berbeda bisa sangat berbeda, yang mengarah pada hubungan satu ke banyak dan banyak ke satu, yang juga bisa sangat rumit untuk dibuat dan dipelihara. Saat ini, tidak ada satu platform pun yang dapat menyediakan kemampuan pemrograman seperti GC, antarmuka ringan seperti



Rhino, manajemen data seperti Revit, parameter yang kuat seperti Catia, umpan balik surya seperti Ecotect, analisis seperti Energy Plus, IES atau Robot, fleksibilitas seperti Excel, struktur jadwal seperti Cobie, kontrol seperti Safe & Sound, atau perbandingan yang disediakan oleh situs web CarbonBuzz.

### **Operasi dan manajemen**

Salah satu tantangan terbesar bagi para profesional lingkungan binaan adalah menyampaikan informasi penting secara koheren di seluruh industri yang tersegmentasi melalui lini tanggung jawab yang rumit dan berbagai tingkat keahlian komputasi. Model BIM menjanjikan pelacakan data utama yang lancar dari desain hingga operasi, yang menawarkan penghematan besar bagi pemerintah dan industri konstruksi. Uji coba penyampaian data BIM secara langsung ke manual operasi dan manajemen sedang berlangsung.

Semakin 'cerdas' sebuah bangunan, semakin banyak sensor yang dimilikinya dan semakin rumit 'antarmuka penggunaannya', yaitu BMS. Sebagian besar bangunan non-domestik yang baru dan yang telah direnovasi dilengkapi dengan BMS, tetapi bukti dari penelitian baru seperti Program Evaluasi Kinerja Bangunan (BPE) dari Technology Strategy Board atau Program Bangunan Rendah Karbon (LCBP) dari Carbon Trust menunjukkan bahwa hal ini menghadirkan tantangan yang tidak terduga. Antarmuka perangkat lunak dan perangkat keras yang kompleks tersebut memerlukan komisioning menyeluruh serta pengoperasian dan pemeliharaan oleh ahli, jika tidak, sistem akan berjalan tidak efisien dan mengorbankan kinerja bangunan.

Platform BIM meningkatkan kemungkinan pelacakan proses komisioning secara digital dan menghubungkan manual pengoperasian ke sistem manajemen bangunan secara langsung. Hal ini dapat membantu mengatasi masalah yang sering terjadi berupa dokumentasi dan komisioning yang tidak memadai yang lazim terjadi di industri konstruksi di seluruh dunia. Bangunan rendah karbon menghadirkan risiko yang lebih besar: komisioning dan pengoperasian harus lebih 'cerdas' untuk memenuhi kompleksitas BMS, yang akan mengoordinasikan pengoperasian lebih banyak sistem dan sensor.

Pada bangunan rendah karbon, pemanas sering kali disediakan oleh pompa panas sumber tanah yang bekerja bersama boiler atau melalui boiler biomassa yang dilengkapi dengan boiler cadangan. Sistem air panas tenaga surya berkontribusi pada pembangkitan air panas gas atau listrik, dan sistem ventilasi mode campuran sering kali didukung oleh bukaan yang digerakkan. Masing-masing sistem ini memiliki mode operasi musim panas dan musim dingin dan dikontrol oleh banyak sensor. Sistem pencahayaan memiliki sensor cahaya siang hari serta sensor inframerah pasif, sementara sakelar sering kali semi-otomatis.

Dalam hal penggunaan energi untuk pemantauan, bangunan yang lebih besar sering kali dilengkapi dengan lebih dari 100 submeter, yang semuanya memerlukan kalibrasi dan rekonsiliasi untuk melacak di mana energi digunakan dalam suatu bangunan. Bagi pengguna akhir, sistem yang kompleks ini menghadirkan tantangan, dan kapasitas teknis serta persyaratan pelatihannya perlu dipertimbangkan terlebih dahulu. Salah satu manfaat terbesar dari model BIM mungkin adalah tumpang tindih dengan proses Soft Landings. Soft Landings adalah skema andalan Building Services Research and Information Association (BSRIA) yang dikembangkan dengan Usable Buildings Trust untuk mengatasi masalah kinerja bangunan baru



dan yang telah direnovasi.

Fokusnya adalah menetapkan target penggunaan energi dan kenyamanan yang realistis di awal proyek, mengajak klien, tim desain, dan kontraktor untuk menyetujui target ini, lalu memantau komisioning serta kinerja penggunaan. Pemerintah Inggris berupaya menerapkan ini di semua proyek publik. Aspek utama dari proses Soft Landings adalah menyiapkan daftar risiko untuk langkah-langkah efisiensi energi (EEM) melacak komponen dan properti bangunan yang berkontribusi pada kinerja rendah karbon dari desain hingga operasi. Melakukan daftar risiko EEM secara digital, yang terhubung ke BIM, dapat membantu mengomunikasikan area risiko kepada semua pemangku kepentingan secara visual melalui model 3D.

### **11.3. MEMAJUKAN BIM DALAM KONSTRUKSI KOLABORATIF**

#### **BIM sebagai pendorong kerja terpadu**

Bagi sebagian orang, BIM masih dianggap hanya sebagai tambahan biaya dan kompleksitas sistem perangkat lunak 'CAD' mereka, atau sekadar alat canggih untuk membuat model bangunan 3D dan rendering foto-realistis yang akurat. Namun, BIM harus dilihat sebagai paradigma, pendorong, katalisator untuk kerja terpadu yang sesungguhnya dalam desain kolaboratif dan rantai pasokan antara semua pemangku kepentingan dalam proyek konstruksi. 'Nirwana' BIM, mungkin, adalah 'proyek' yang terhubung secara digital dari konsepsi, melalui desain, manufaktur, dan konstruksi hingga operasi seumur hidup, dan akhirnya penghentian, pelepasan, dan daur ulang jauh dari 'BIM tunggal' yang ada di banyak aplikasi individual yang berbeda saat ini.

Dengan integrasi yang tepat ke dalam metode bisnis, BIM berpotensi untuk mempercepat pengambilan keputusan dan menghilangkan proses yang tidak diperlukan yang tidak menambah nilai meningkatkan efektivitas biaya dari seluruh proses konstruksi dan meningkatkan profitabilitas industri. BIM akan menjadi inti dari bangunan cerdas bertindak sebagai gudang pengetahuan, yang terus diperbarui dan dipelihara, mendorong operasi efektif seumur hidup yang proaktif. BIM memungkinkan aliran informasi yang diperlukan untuk VIM sejak awal proyek untuk ditambah dan diteruskan melalui tim desain, ke konstruksi, dan kemudian ke klien dan operator bangunan. VIM yang matang mempertahankan hubungan dengan detail asal usul pengembangan bangunan sambil secara cerdas memenuhi kebutuhan operasional bangunan dan secara efektif mendukung (dan mendorong) evolusinya.

#### **Adopsi BIM**

Dalam periode formatif ini, pengadopsi BIM yang antusias, baik dari klien individu, penasihat profesional mereka atau kontraktor yang berwawasan ke depan, dapat berarti bahwa anggota proyek lainnya berusaha mengejar ketinggalan dengan kompetensi BIM sehingga mereka dapat bekerja secara bermakna atau, dalam beberapa kasus, sehingga mereka dapat bekerja sama sekali. Kemampuan BIM dengan cepat menjadi pembeda utama antara organisasi dalam rantai pasokan terkadang hal ini dibenarkan, tetapi terkadang hanya sekadar sensasi pemasaran.

Namun, BIM tidak dapat tetap menjadi alat eksklusif dan tetap memberikan manfaat berskala luas yang akan diminta klien. BIM merupakan kekuatan yang memaksa seluruh rantai

perencanaan dan konstruksi untuk meninjau dan memperbaiki proses dan teknologinya, serta metode kolaborasi mereka dengan mitra proyek mereka. Untuk pertama kalinya sejak CAD menggantikan papan gambar, ada proses yang perlu dianut oleh semua pihak untuk memperoleh manfaat bersama.

Mungkin sulit untuk memetakan BIM secara langsung dalam hal pengembalian investasi atau perolehan produktivitas tertentu, tetapi kecerdasan terintegrasi yang melekat dalam BIM sudah digunakan dalam proyek-proyek contoh sebagai penghematan waktu, sumber daya, dan uang. Ada peran khusus yang harus dimainkan oleh lembaga dan asosiasi industri konstruksi untuk membantu para anggotanya memahami BIM dan mendorong para pengadopsi awal BIM untuk berbagi pengetahuan dan pengalaman mereka.

BIM merupakan fenomena global yang menyediakan peluang di pasar-pasar baru dan, melalui sifatnya yang sangat kolaboratif, akan merayap melintasi geografi dan sektor-sektor dengan data khusus kawasan yang mempersempit 'kesenjangan bahasa' antarnegara. Semakin banyak persyaratan untuk memiliki kemampuan terlibat dalam alur kerja BIM agar dapat berpartisipasi dalam sebuah proyek. Namun, kemampuan tersebut memerlukan perubahan yang pasti di mana ukuran bisnis tidaklah penting, tetapi keterbukaan pikiranlah yang penting. BIM bukanlah sekadar tambahan sederhana untuk keahlian profesional bangunan yang ada, dan memerlukan investasi yang signifikan dalam 'memperlengkapi ulang' tim dengan metode, keterampilan, dan sumber daya baru.

Banyak perusahaan besar telah melihat diri mereka sebagai yang terdepan, menanggung beban biaya pengembangan awal. Bisnis kecil mungkin kesulitan untuk mencapai kemampuan tersebut, apalagi membenarkan pengembalian investasi dalam jangka pendek, karena banyak manfaat yang dirasakan masih bersifat anekdot. Untuk bergerak maju, perlu ada komitmen dari atas ke bawah oleh industri untuk meningkatkan keterampilan tenaga kerja, bersama dengan sikap 'bisa melakukan' dari mereka yang mengembangkan dan menggunakan teknologi dan proses di tingkat akar rumput. BIM tidak akan berkembang dengan sekelompok kecil pengguna CAD atau teknisi yang bersemangat dan mencoba membenarkan kasus bisnis yang didorong oleh pembelian perangkat lunak yang glamor. Dan, mau tidak mau, beberapa mungkin tertinggal.

Meskipun beberapa orang sinis melihat BIM didorong oleh pengembang perangkat lunak, ada pelopor klien-desainer-kontraktor tripartit yang sudah melihat manfaat BIM dalam jangka panjang, dengan kontraktor besar semakin memengaruhi agenda BIM. Di beberapa bagian dunia, produsen telah cepat memproduksi objek BIM sebagai sarana untuk mendapatkan pijakan, meskipun banyak produsen Inggris lambat dalam menyediakan konten mereka. Hal ini sebagian disebabkan oleh kurangnya standarisasi dan arahan yang jelas dari profesi dan pemerintah Inggris. Dan memang beberapa produsen telah menghadapi kritik ketika memproduksi objek BIM yang terlalu rumit dan haus sumber daya.

Tanpa standarisasi yang tepat, hal ini praktis tidak dapat dihindari, karena objek mereka didorong oleh keinginan pemasaran daripada kebutuhan akan keanggunan fungsional. Pengembangan proaktif oleh pemerintah tampaknya menjadi pendorong utama dalam memajukan BIM. Persyaratan oleh Administrasi Layanan Umum AS (GSA) Validasi Program

Spasial untuk adopsi BIM standar terbuka dalam proyek mereka sejak 2007 telah menyebabkan pengembangan yang meluas oleh produsen, pemasok, konsultan, dan pengguna bangunan, serta pemasok perangkat lunak. Pada tahun 2011, Pemerintah Inggris mengamanatkan melalui Strategi Konstruksi Pemerintah bahwa BIM 3D kolaboratif harus digunakan (dengan semua informasi proyek dan aset, dokumentasi, dan data menjadi elektronik) pada proyek-proyeknya pada tahun 2016 hal ini telah bertindak sebagai semacam peringatan bagi industri konstruksi Inggris.

Pengadaan pemerintah harus disertai dengan saran yang jelas tentang bagaimana BIM akan memengaruhi peran, tanggung jawab, risiko, dan imbalan. Industri membutuhkan saran implementasi proyek dan bisnis sehingga dapat mengukur manfaat nyata. Ini adalah periode kritis. Beberapa pihak mengantisipasi bahwa, kecuali BIM terintegrasi sepenuhnya ke dalam proses konstruksi di Inggris pada tahun 2016, sebagian besar industri akan tertinggal dari pesaing internasional, dan berusaha mengejar ketertinggalan selama bertahun-tahun mendatang.

Pemerintah Inggris telah berupaya mencapai target efisiensi sebesar 20% melalui berbagai inisiatif, termasuk BIM, dan ini dipandang sebagai target keseluruhan yang realistis jika industri dilengkapi dengan kompetensi yang sesuai. Namun, karena BIM merupakan proses yang 'dimuat di awal', konsultan Mekanikal Elektrikal Perpipaan (MEP) biasanya harus melakukan lebih banyak, bukan lebih sedikit, dan meskipun ini akan menghasilkan efisiensi hilir, perlu ada beberapa redistribusi biaya proyek untuk mencerminkan perubahan peran dan tanggung jawab yang terjadi dalam proses BIM. Namun, bangunan yang dibangun di sekitar inti BIM akan menuai manfaat yang jauh melampaui sekadar penghematan konstruksi hasil nyata kemungkinan besar akan terlihat dalam masa operasional bangunan, melalui peluang untuk pengoperasian, kontrol, pemeliharaan, dan pengadaan yang cerdas.

Tak terelakkan, ketika berbicara tentang BIM, pembicaraan segera beralih ke perangkat lunak dan, yang lebih penting, standar, yang memungkinkan pengembangan, pertukaran, dan interogasi data BIM. Ada produk perangkat lunak yang mendominasi di berbagai wilayah dan disiplin ilmu. Beberapa cocok satu sama lain (dikenal sebagai 'interoperabel') dan banyak lagi yang tidak - ini belum merupakan pasar yang matang. Ada sejumlah besar 'standar' BIM yang sedang dikembangkan, tetapi tidak ada yang saat ini dianggap benar-benar komprehensif atau telah diterapkan dalam produk perangkat lunak, masalah utamanya adalah kurangnya implementasi antarmuka data yang andal. Kurangnya standarisasi/implementasi yang sebenarnya telah mengakibatkan banyaknya deskripsi 'parametrik' dari objek BIM yang dikembangkan secara ad hoc berdasarkan pekerjaan per pekerjaan ada peluang emas untuk menyatukan upaya industri guna menghasilkan pustaka terpadu dari objek dan proses yang terstandarisasi.

Hal ini dapat didorong oleh badan dan asosiasi profesional, yang bekerja sama dengan pemerintah. Standar untuk data, dan pertukarannya, harus terbuka dan dapat diakses, dan vendor perangkat lunak kemudian dapat memainkan peran penting dalam menerapkan standar yang konsisten, baik untuk masukan ke, maupun keluaran dari, paket mereka. Penerapan BIM yang berhasil memiliki beberapa untaian yang saling terkait keberhasilan

teknis dari memungkinkan berbagai paket perangkat lunak dan platform untuk bekerja berdampingan dan menghindari keterikatan teknologi; keberhasilan komersial dari memastikan bahwa kontrak dan ketentuan penunjukan memungkinkan keuntungan penuh BIM untuk diterapkan pada proyek; dan keberhasilan perilaku dari pendidikan, pelatihan, dan perubahan budaya yang tepat dalam profesi yang ada dan dalam organisasi klien.

Dan banyak lembaga dan asosiasi profesional berjuang untuk menemukan tempat mereka di BIM sehingga mereka dapat mendukung keanggotaan mereka dan memastikan bahwa disiplin ilmu tertentu mereka tidak terpinggirkan dalam pengembangan standar. Sejumlah besar survei terhadap pengguna dan non-pengguna BIM di seluruh disiplin ilmu bangunan secara umum menunjukkan bahwa, meskipun ada potensi besar, banyak yang masih tidak yakin apa yang harus mereka pahami tentang BIM dan bagaimana hal itu akan memengaruhi bisnis mereka. Ada minat yang besar dalam pelatihan dan pengembangan.

### **Ringkasan**

Pengembangan standar dan protokol BIM tidak boleh didominasi oleh satu lembaga profesional atau badan perwakilan. Sebaliknya, standar dan protokol ini harus muncul dari diskusi lintas-industri yang sesungguhnya. Kepemimpinan harus diberikan dari atas ke bawah, dari klien sektor publik dan swasta, dari pemerintah, lembaga, dan dari organisasi terdepan untuk memastikan bahwa kecerdasan bawaan dalam BIM sepenuhnya dieksploitasi di gedung-gedung masa depan untuk memberikan model informasi virtual yang benar-benar efektif.

## **BAB 12**

### **MANAJEMEN DESAIN**

Kecepatan konstruksi proyek bangunan modern dipengaruhi oleh kualitas desain dan informasi desain hubungan teknologi yang kompleks antara elemen, sistem, dan komponen yang digunakan dalam bangunan modern perlu diapresiasi demi keberhasilan proyek. Bab ini memaparkan aspek-aspek utama dari proses desain yang perlu dipertimbangkan, konsekuensi dalam hal volume informasi yang harus dikelola, dan berbagai pendekatan yang telah dicoba untuk menangani organisasi dan penjadwalannya.

#### **12.1. PENDAHULUAN**

Proses desain saat ini sama sekali berbeda dari sebelumnya. Hampir semua bangunan di Inggris sebagian besar dirakit di lokasi dari elemen yang diproduksi di pabrik dan dipasok oleh spesialis. Perubahan mendasar ini telah menyebabkan proses desain menjadi integrasi kompleks dari banyak kontributor desain dari berbagai domain dan organisasi. Oleh karena itu, desain telah menjadi cikal bakal proses industri yang kompleks, dan karenanya ada kebutuhan untuk merencanakan proses desain dan mengelolanya dengan baik sejak tahap awal proyek dan sepanjang tahap-tahap berikutnya.

Kualitas desain dan informasi desain untuk produksi memengaruhi kecepatan konstruksi proyek. Kekurangan dalam proses desain sebagian besar disebabkan oleh koordinasi yang buruk dan manajemen arus informasi yang buruk. Peningkatan penggunaan komponen telah menyebabkan peningkatan informasi yang dibutuhkan. Setiap aspek desain harus ditentukan dengan tingkat presisi yang semakin tinggi.

Peran spesialis yang semakin luas dari semua bagian industri untuk menyediakan pengetahuan komponen telah meningkatkan jumlah koordinasi dan manajemen perolehan informasi. Informasi harus diintegrasikan baik secara teknis maupun pada waktu yang tepat. Manajemen transfer informasi antara kontributor desain sangat penting untuk mengelola desain di seluruh tahap berikutnya. Hal ini terutama terjadi pada tahap awal ketika tim proyek gagal. Kegagalan ini mungkin disebabkan oleh kesulitan dalam menghargai hubungan teknologi yang kompleks antara elemen, sistem, dan komponen yang digunakan dalam bangunan modern.

Upaya untuk merencanakan desain menggunakan pendekatan konvensional sering gagal karena sangat sulit untuk mengisolasi terlebih dahulu area-area yang akan menimbulkan sebagian besar masalah. Sulit juga untuk mengidentifikasi iterasi reflektif yang diperlukan untuk merancang secara efektif. Karena alasan kontraktual, penunjukan spesialis sering kali dilakukan di akhir proyek. Pada tahap ini, harus jelas apa yang dibutuhkan dan informasi apa yang diperlukan untuk desain. Namun, karena pengetahuan rinci para spesialis tentang komponen sangat penting untuk pengembangan desain yang lengkap, gambar sketsa sering kali diberikan daripada gambar berdimensi akurat.

Oleh karena itu, keputusan antarmuka dibebankan kepada kontraktor. Gambar kerja menjadi kurang rinci karena proyek menjadi lebih kompleks. Bukti ini membuat koordinasi proses produksi jauh lebih sulit, karena memengaruhi aliran instruksi ke lokasi dan sering kali menyebabkan pengerjaan ulang, kesalahan, dan produktivitas yang lebih rendah, serta menyebabkan pekerjaan terganggu dan tertunda. Mengingat argumen di atas, kompleksitas desain menyebabkan banyak penundaan karena kompleksitas inheren dari proses tersebut tidak dipahami.

Bab ini mengemukakan aspek utama dari proses desain yang harus dipertimbangkan, konsekuensi dalam hal volume informasi yang harus dikelola, dan berbagai pendekatan yang telah dicoba untuk menangani organisasi dan penjadwalannya. Harus disadari bahwa hingga saat ini tidak ada solusi tunggal. Arah terbaru untuk menggunakan pemodelan informasi bangunan (BIM) dapat membantu, tetapi hanya jika setiap orang memiliki akses ke model tersebut dan masukan setiap orang kompatibel dengan model tersebut. Masalah akses dan waktu akses masih harus diselesaikan, dan kontrak mungkin harus direvisi secara mendasar agar hal ini dapat terjadi tanpa menimbulkan hambatan lebih lanjut pada aliran informasi.

## **12.2. PROSES DESAIN**

Akuisisi pengetahuan dan informasi yang dibutuhkan merupakan masalah penting yang perlu dikelola dengan cermat pada setiap tahap desain. Ini merupakan hasil langsung dari hubungan yang semakin kompleks antara semua kontributor desain spesialis. Spesifikasi dan perincian komponen yang akurat serta koneksi yang diperlukan untuk mengintegrasikannya merupakan masukan penting untuk desain. Kunci untuk manajemen desain yang lebih baik adalah pengendalian fragmentasi masukan untuk menghasilkan data berkualitas dalam aliran yang terorganisir.

### **Proses desain bangunan**

Aktivitas desainer bersifat kompleks sehingga untuk dapat mengelola proses secara efektif, perlu untuk bersimpati terhadap ambisi dan metode kerja desainer. Ini bisa jadi sulit karena pencarian solusi desain yang sempurna bisa jadi tidak ada habisnya kecuali kendala diidentifikasi atau ditetapkan. Proses desain melibatkan identifikasi masalah nyata yang harus dipecahkan. Proses ini juga menghadirkan penilaian nilai pribadi oleh desainer. Desainer bekerja dengan cara yang kompleks dan interaktif; hal ini memerlukan fokus tambahan berupa prioritas pada tujuan penyelesaian proyek.

Oleh karena itu, manajer desain harus memberikan waktu bagi desainer untuk refleksi. Mereka juga perlu bekerja sama dengan desainer yang memiliki pengalaman relevan dan mendorong mereka serta memberikan dukungan agar mereka dapat menemukan solusi untuk suatu masalah. Peran manajer desain adalah menetapkan kerangka kerja yang menjadi fokus tugas dan tujuan saat desain bergerak melalui tahap pengembangannya dan menyediakan akses kepada klien untuk meninjau dan memberikan informasi lebih lanjut. Manajer desain harus membantu desainer memahami implikasi penuh dari definisi baru masalah desain dan kemungkinan perlunya memasuki kembali siklus desain.

## **Pengarahan**

Siapa pun yang pernah sedikit berhubungan dengan konstruksi saat memulai proyek tahu bahwa ada seribu satu pertanyaan yang harus dijawab untuk menetapkan persyaratan proyek, baik itu renovasi dapur atau bangunan besar. Mantra dalam industri ini adalah bahwa proses akan gagal jika pengarahan tidak lengkap, jadi solusi yang ditentukan adalah agar klien memberikan pengarahan yang lengkap dan menyeluruh. Ini jelas merupakan pendekatan yang sederhana dan tidak realistis mengingat sifat proyek dan berbagai pengaruh baik di dalam maupun di luar organisasi klien.

Efek dari otoritas perencanaan, pemodal, dan iklim bisnis membentuk sejumlah besar variabel yang sering kali memiliki skala waktu tersendiri. Mengelola situasi ini biasanya berarti bahwa ada periode aktivitas intensif yang diikuti oleh periode panjang ketika sedikit yang tampaknya terjadi, karena berbagai proses evaluasi dan keputusan, yang sering kali panjang. Periode aktivitas intensif adalah ketika setiap orang dari tim proyek dan klien perlu dilibatkan dalam menanggapi kebutuhan tahapan dan hasil keputusan. Klien perlu berada di sana untuk memperkuat prioritas dan mengelola trade-off antara berbagai skenario solusi.

Hubungan antara klien dan tim desain, khususnya arsitek, sangat erat, khususnya di Inggris Raya. Meskipun klien mungkin memiliki gagasan yang baik tentang konsep tersebut, arsiteklah yang dapat mengembangkan dan memberikan berbagai pilihan kepada klien. Tidak semua hal dapat diselesaikan sekaligus, dan prosesnya juga bukan proses interaksi yang berkelanjutan. Arsitek dan tim desain memerlukan waktu untuk mengembangkan setiap pilihan ke tingkat yang memungkinkan kelayakannya diuji. Dalam suasana pemecahan masalah ini, tugas manajemen adalah membantu mendefinisikan masalah, pada tingkat apa pun yang sesuai, dan memberikan waktu sebanyak mungkin sehingga semua variabel dapat dipertimbangkan sepenuhnya. Ini bukanlah tugas yang mudah, khususnya jika tim proyek berada di bawah tekanan untuk memenuhi titik keputusan atau tanggal penting.

Salah satu tugas manajemen yang paling penting adalah menjelaskan kepada klien pentingnya memberi tim desain waktu yang cukup untuk berpikir dan mengevaluasi. Ini dapat dilakukan dengan menjelaskan proses desain dan memastikan bahwa klien dan organisasi, jika klien adalah klien korporat, memiliki struktur pengambilan keputusan yang tepat. Proyek konstruksi membutuhkan pengeluaran sejumlah besar uang, dan banyak klien tidak mengizinkan orang-orang yang telah mereka delegasikan tanggung jawab proyek harian untuk mengesahkan jumlah tersebut dalam struktur mereka. Rantai otorisasi yang panjang merupakan akibatnya, bersamaan dengan hilangnya keterkaitan dengan kebutuhan mendesak proyek. Oleh karena itu, pada tahap ini dan tahap-tahap selanjutnya, proses pengambilan keputusan klien harus disesuaikan dengan kebutuhan proyek.

## **Desain teknik**

Tahap teknik desain adalah tempat informasi terperinci yang menjadi dasar pembuatan dan pembangunan bangunan sebenarnya. Outputnya adalah informasi desain terperinci dalam bentuk gambar dan spesifikasi yang akan digunakan untuk konstruksi. Sifat iteratif dari proses desain terperinci muncul karena hampir tidak mungkin menghasilkan desain yang memperhitungkan semua faktor, dan oleh karena itu ada perkembangan alami informasi dari



awal ke kemungkinan hingga final.

Kualitas informasi pada setiap transfer menentukan apakah tugas selanjutnya dapat dipindahkan ke tahap kelengkapan berikutnya atau apakah harus dikembalikan untuk memulai putaran baru pengambilan keputusan. Oleh karena itu, tugas manajemen untuk proses desain rekayasa adalah mengidentifikasi

- Informasi dan masukan desain yang dibutuhkan
- Pengetahuan dan informasi tentang komponen dan sistem yang dibutuhkan
- Antarmuka antara komponen
- Pengetahuan dan transfer informasi di semua tingkat detail.

Manajemen tentu harus memastikan bahwa semua transfer informasi terjadi pada waktu yang tepat, yang hanya dapat dicapai jika pengetahuan yang dibutuhkan dan ketersediaannya telah diatur dan dikontrol. Hal ini harus dilakukan dalam strategi manajemen menyeluruh yang mencakup setiap kontributor terhadap desain, selain mengenali kebutuhan proyek secara keseluruhan.

#### **Tahapan pengambilan keputusan desain**

Proses desain dapat dibagi lagi menjadi banyak elemen dan tahapan. Akan tetapi, ada beberapa poin penting dalam pengambilan keputusan, yaitu desain beserta anggaran biaya dan waktu harus disetujui sebelum proyek dapat dilanjutkan. Tugas manajer adalah mengidentifikasi tahapan-tahapan ini dengan jelas, memutuskan apa yang harus diselesaikan di akhir setiap tahapan, dan memastikan bahwa para kontributor menyetujuinya. Manajer harus memastikan bahwa perjanjian formal dengan masing-masing praktik desain yang berkontribusi pada desain secara jelas menetapkan tahapan, tugas, dan perubahan tanggung jawab manajerial.

#### **Kontribusi kontraktor perdagangan spesialis terhadap desain**

Sebagian besar informasi yang dihasilkan untuk desain rekayasa melibatkan integrasi desain perdagangan spesialis ke dalam keseluruhan. Skala keterlibatan kontraktor spesialis dalam keseluruhan proses produksi informasi proyek sangat luas. Freeman (1981), dalam tinjauan studi perbandingan praktik di Inggris dan AS, mencatat bahwa Eden dan Green dalam studi rumah sakit AS menemukan bahwa untuk rumah sakit dengan 300 tempat tidur, tim desain membuat 204 gambar dan spesialis membuat lebih dari 3000 gambar.

Dalam studi tujuh proyek di Inggris, yang dilaporkan oleh Gray (1996), persentase total gambar yang dibuat oleh kontraktor perdagangan spesialis pada proyek bangunan khas Inggris adalah 42%, dengan kisaran 10–75%. Studi Senator House (Steel Construction Institute, 1993) melaporkan bahwa gambar desain dan fabrikasi untuk rangka baja yang terdiri dari 2930 potong baja memerlukan 1200 gambar konsultan struktural dan lebih dari 2000 gambar fabrikasi (bengkel).

Studi yang lebih baru tentang gedung menara senilai Rp2.681.594.500.000 di City of London dengan karakteristik yang sama seperti studi Senator House telah digunakan untuk melihat apakah situasi saat ini telah berubah. Desain skema dimulai pada awal tahun 2004, pekerjaan pendukung dimulai pada awal tahun 2005 dan proyek selesai pada tahun 2007. Kontraktor utama adalah penunjukan manajemen konstruksi, sedangkan perjanjian kontraktor



perdagangan adalah campuran.

Beberapa adalah tender langsung dan pembayaran sekaligus; beberapa adalah pembayaran sekaligus dua tahap. Ada sekitar 30 pemasok utama pada proyek ini. Studi menunjukkan bahwa jumlah total gambar pada proyek ini adalah 17.868, persentase total gambar yang diproduksi oleh kontraktor perdagangan spesialis adalah 64%, yang berjumlah 11.447 gambar, sedangkan persentase total gambar yang diproduksi oleh arsitek adalah 21,5%, yang berjumlah 3.844 gambar. Jumlah total gambar untuk konsultan lain adalah 2.579, yang merupakan 14,5% dari jumlah total gambar.

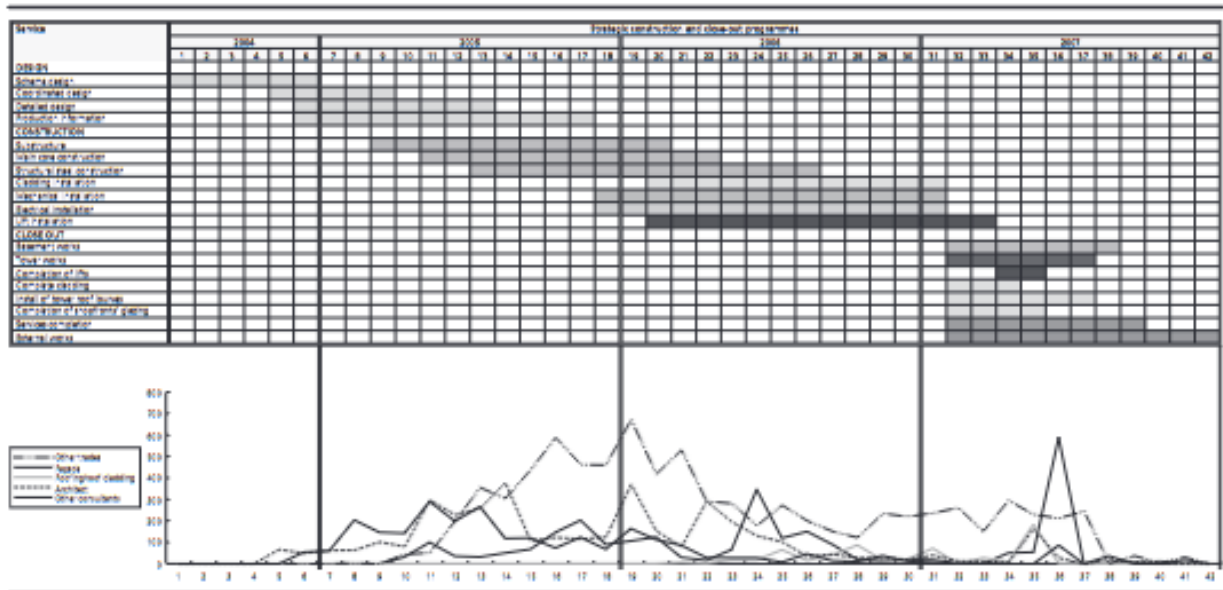
Enam puluh dua persen gambar dikeluarkan satu kali, sementara 38% gambar melalui sejumlah iterasi hingga diselesaikan. Delapan belas persen memiliki dua iterasi, dan 9% memiliki tiga iterasi. Iterasi ini meningkatkan jumlah total gambar dari 9.172 menjadi 17.868. Dalam studi ini, 15% dari total gambar proyek dibuat untuk pekerjaan spesialis fasad.

**Gambar: volume, waktu, dan iterasi**

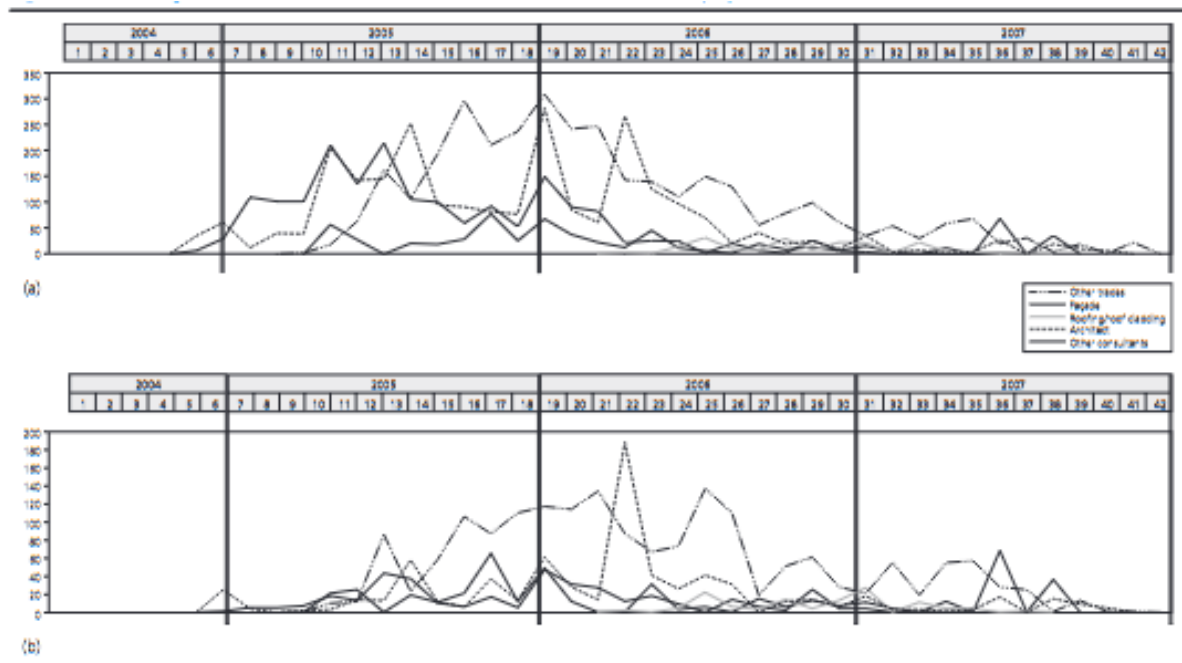
Bagan pada Gambar 12.1 memetakan jumlah gambar yang dibuat dalam kasus di atas terhadap program, dan menunjukkan bahwa selama tahap informasi produksi, jumlah gambar pekerjaan spesialis mencapai puncaknya sementara jumlah gambar yang dibuat oleh arsitek dan konsultan lain menurun. Namun, jumlah gambar arsitek dan konsultan lain meningkat serta jumlah gambar yang dibuat oleh kontraktor pekerjaan spesialis ketika instalasi mekanik dan listrik dimulai.

Bagan pada Gambar 12.2(a) menunjukkan tren iterasi selama proyek berlangsung. Bagan ini dibuat dengan menjumlahkan jumlah gambar, kecuali untuk masalah dengan nomor 1, karena semua masalah berikutnya sebenarnya adalah iterasi. Bagan kedua adalah pola finalisasi untuk setiap disiplin terhadap program tersebut. Garis waktu dibuat berdasarkan masalah final setiap gambar saja dan tidak termasuk gambar tanpa iterasi.

Gambar 12.2(a) menunjukkan bahwa iterasi meningkat selama tahap informasi produksi dan berlanjut ke tahap konstruksi setelah pemasangan pelapis, mekanik, dan listrik dimulai. Proses finalisasi gambar arsitektur mencapai puncaknya secara tajam setelah pemasangan pelapis, mekanik, dan listrik dimulai, yang dapat menjadi hasil dari kemampuan arsitek pada tahap ini untuk mendapatkan informasi yang diperlukan dari perdagangan spesialis untuk menyelesaikan desain mereka.



Gambar 12.1 Jumlah Gambar Terhadap Program



Gambar 12.2 Menggambar (A) Tren Iterasi Dan (B) Tren Finalisasi Selama Proyek Berlangsung

**Keterbangunan Solusi Desain**

Lawson (1990) menyatakan bahwa masalah desain bersifat multidimensi dan sangat interaktif. Sangat jarang ada bagian dari objek yang dirancang yang hanya melayani satu tujuan. Oleh karena itu, dalam desain, perlu untuk merancang solusi terintegrasi untuk sekumpulan persyaratan. Masalah desain dibangun dari kendala. Kendala sebagian besar berasal dari hubungan teknologi antara dua atau lebih elemen. Tujuan kendala adalah untuk

memastikan bahwa elemen yang dirancang menjalankan fungsi yang dituntut darinya sebaik mungkin. Setelah solusi desain dipilih, ada banyak kesempatan ketika desainer harus mengubah desain sepenuhnya atau menggunakan solusi lain sama sekali. Salah satu alasan untuk situasi seperti itu mungkin karena beberapa kendala tidak dipertimbangkan.

Masalah lain mungkin muncul karena beberapa interaksi yang tidak terduga antara berbagai komponen desain. Masalah-masalah inilah yang membutuhkan kecerdasan dan pengetahuan ahli untuk dipecahkan selain ukuran suatu anggota. Oleh karena itu, untuk meningkatkan manajemen desain, upaya harus dilakukan untuk menetapkan proses yang dapat memandu langkah-langkah yang harus diambil dalam menyelesaikan masalah dalam situasi di atas dengan meninjau keseluruhan atau sebagian desain. MacCallum (1982) menganggap bahwa masalah yang paling menantang dalam desain adalah kesadaran dan pemahaman tentang pengaruh satu karakteristik atau parameter sistem yang sedang dirancang terhadap yang lain.

### **12.3. PANDANGAN SISTEM TERHADAP PROSES DESAIN**

Seperti yang ditunjukkan di atas, jumlah iterasi gambar sangat besar dan penyempurnaan berkelanjutan merupakan masalah utama yang harus dikelola. Berikut ini adalah analisis yang dapat membantu dalam memahami proses yang mendasarinya bersama dengan beberapa pendekatan yang telah dicoba untuk mengelola interaksi yang kompleks antara desainer dan anggota tim lainnya.

Desain bangunan adalah sistem untuk memecahkan masalah pengguna dengan memecahnya menjadi sub-masalah, mengintegrasikan pengetahuan para ahli tentang masalah tersebut, bertukar informasi, dan membuat keputusan. Prosedur desain dapat dilihat sebagai interaksi antara pengetahuan dan keterampilan perancang dan masukan informasi tentang situasi tertentu, yang semuanya akan digunakan untuk menghasilkan keputusan desain.

#### **Desain sebagai sistem yang dapat diuraikan**

Setiap sistem selalu terdiri dari sistem lain (Melles dan Wamelink, 1993). Bangunan dapat dilihat sebagai sejumlah sistem, yang terdiri dari komponen-komponen dasar. Komponen dasar yang sama yang membentuk bangunan biasa dapat juga membentuk bangunan yang sangat kompleks dan besar. Hirarki sistem dan subsistem ini menyiratkan kerangka kerja yang memungkinkan keseluruhan sistem dibangun dari sistem yang lebih sederhana. Pada gilirannya, keberadaan hierarki memungkinkannya dipecah menjadi komponen-komponen dan subsistemnya.

Ini kemudian dapat dieksplorasi, pada gilirannya, untuk solusi yang memungkinkan secara independen dari submasalah lainnya. Hirarki membantu kita untuk mengatur, memahami, mengomunikasikan, dan mempelajari tentang kompleksitas sistem desain. Namun, pembagian yang sederhana seperti itu akan memiliki masalahnya sendiri, karena harus mengatasi interaksi antara subsistem, yang tidak dapat dilihat secara terpisah. Oleh karena itu, ketika masalah desain diurai menjadi submasalah, mendefinisikan antarmuka antara submasalah ini menjadi masalah. Solusi untuk submasalah dianggap sebagai solusi

untuk keseluruhan masalah, oleh karena itu solusi yang ditemukan desainer untuk satu submasalah memengaruhi solusi untuk submasalah lainnya, yang pada gilirannya dapat memengaruhi solusi untuk submasalah pertama.

#### **Desain: Pekerjaan Panel Pakar**

Keputusan selama proses desain tidak dapat dievaluasi berdasarkan prototipe atau riwayat sebelumnya, karena setiap desain merupakan peristiwa unik. Dalam setiap kasus, penilaian individu atau panel pakar dalam proses desain diperlukan. Proyek desain melibatkan sejumlah besar elemen dan banyak domain informasi yang berbeda sehingga keputusan untuk menetapkan solusi desain melibatkan banyak desainer. Setiap domain memiliki spesialisasi dalam teknologi atau sistem yang terpisah, tetapi juga memiliki pengalaman dalam keseluruhan proses desain.

#### **Keputusan Desain Memerlukan Transfer Informasi Antar Desainer**

Proses desain merupakan proses transformasi informasi menjadi Tindakan. Setiap keputusan desain dibuat sebagai hasil interaksi antara pengetahuan perancang dan informasi yang diterimanya tentang masalah tertentu dari perancang lain dalam domain yang sama, domain lain yang terlibat dalam proses desain, klien, otoritas hukum, calon penyewa atau kelompok kepentingan pengguna bangunan, dll. Seorang perancang membutuhkan informasi untuk memilih, di antara berbagai tindakan alternatif, hasil yang tidak dapat dibedakan di antara mereka tanpa informasi tersebut. Oleh karena itu, proses desain merupakan pertukaran informasi desain yang kompleks antara domain desain.

#### **Sifat iteratif dari proses desain**

Desain dilakukan oleh sekelompok perancang yang memiliki tujuan sesuai dengan persyaratan bangunan yang diharapkan. Tujuan tersebut tunduk pada pengembangan berkelanjutan selama desain, karena banyak yang sulit didefinisikan di awal. Oleh karena itu, elemen desain diputuskan dalam proses desain iteratif, dan desain merupakan hasil dari konsep awal, yang disempurnakan oleh siklus iteratif analisis dan evaluasi.

Antarmuka antara elemen desain menjadi lebih jelas saat elemen menjadi lebih jelas pada setiap iterasi. Keputusan dari satu bagian pekerjaan desain dapat digunakan sebagai informasi dalam tugas desain lain untuk menghasilkan keputusan lain. Sebaliknya, keluaran dari keputusan desain lain mungkin penting untuk menyelesaikan desain pertama. Pada setiap iterasi, informasi yang sifatnya lebih tepat atau terkoordinasi dipertukarkan, dan keputusan yang dihasilkan menjadi lebih pasti.

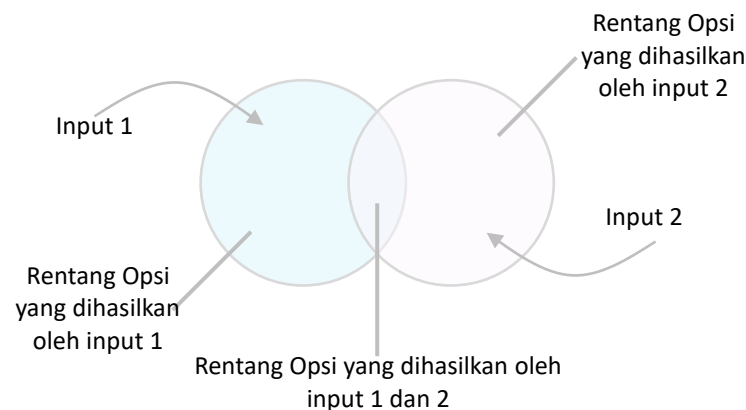
Jika tampaknya perlu untuk menelusuri kembali keputusan yang telah dibuat sebelumnya, pekerjaan desain kemudian dilakukan, dan informasi dipertukarkan dalam urutan yang kurang optimal. Poin terakhir tentang subjek iterasi adalah gagasan bahwa, melalui perencanaan, informasi yang sempurna selalu dapat tersedia, sehingga menghilangkan kebutuhan untuk mempertimbangkan loop iteratif. Namun, ini tidak mungkin, mengingat kekeliruan manusia dan sifat prototipe masalah desain.

#### **Desain sebagai keputusan**

Saat berhadapan dengan masalah keputusan desain, yang optimal tidak dapat ditemukan atau dihitung. Oleh karena itu, desainer bekerja dengan sub-optimalisasi. Solusi

semacam itu hanya dapat dievaluasi berdasarkan kontribusinya terhadap pemenuhan tujuan keseluruhan dari masalah desain. Pada akhir pencarian ini, masuk akal untuk mempertimbangkan solusi tersebut sebagai pilihan optimal mengingat alternatifnya.

Seorang desainer, sebagai ahli yang menangani masalah desain, bersifat selektif dan hanya menanggapi sinyal tertentu alih-alih memindai semuanya. Ia dapat membedakan antara faktor penting dan faktor yang tidak bernilai. Karakterisasi proses desain ini menunjukkan kemungkinan representasi proses: proses tersebut digerakkan oleh teknologi, perlu mengenali situasi antarmuka, dan memiliki iterasi yang terkandung di dalamnya untuk mencapai penyempurnaan.



**Gambar 12.3 Daerah Tumpang Tindih Opsi Yang Layak**

### **Lebih banyak informasi, lebih sedikit pilihan**

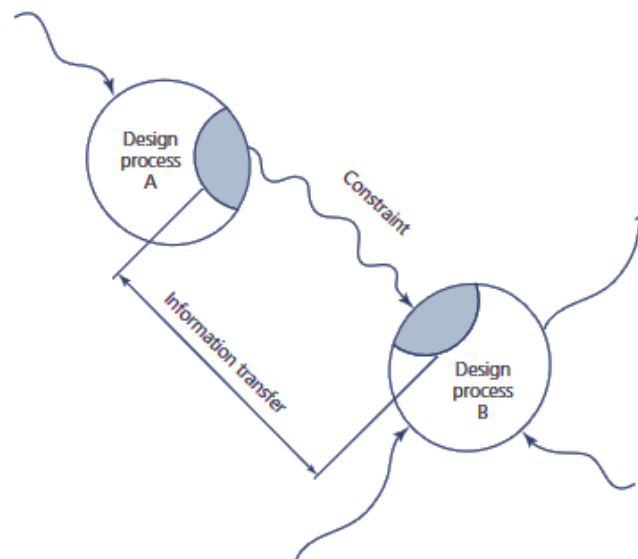
Dalam memecahkan masalah desain, terdapat berbagai pilihan yang layak. Menyediakan informasi yang relevan akan mengurangi jumlah pilihan hingga ke dalam wilayah tumpang tindih dari semua rentang pilihan yang layak, dan solusi tercapai saat jumlah pilihannya adalah satu. Dalam kasus di mana beberapa masalah desain dipertimbangkan baik secara bersamaan atau sebagai satu set yang saling terkait, keluaran dari satu masalah desain dapat menjadi masukan untuk masalah desain lainnya, dan berdampak pada pengurangan jumlah pilihan yang layak untuknya.

### **Desain adalah interaksi antara proses desain yang dipicu oleh pemilihan objeknya**

Aktivitas desain adalah hasil dari proses berulang dari transfer informasi. Pengetahuan tambahan, untuk proses desain, harus mengurangi jumlah pilihan yang layak, dan optimum lokal tercapai saat jumlah pilihannya adalah satu. Oleh karena itu, keluaran dari proses desain memengaruhi proses desain berikutnya. Di sisi lain, setelah komponen diidentifikasi, urutan linier untuk memperoleh pengetahuan dapat ditetapkan. Akibatnya, desain dapat dilihat sebagai interaksi antara proses desain yang dipicu oleh pemilihan objeknya.

### **Objek yang saling terkait membentuk jaringan desain**

Pemilihan objek untuk memenuhi serangkaian kriteria kinerja utama memengaruhi pilihan objek desain lainnya. Oleh karena itu, setiap transfer informasi dapat dilihat sebagai hubungan antara dua objek desain, seperti pada Gambar 12.4.



**Gambar 12.4 Definisi Transfer Informasi**

Dengan asumsi bahwa proses A dan B pada Gambar 12.4 merancang rangka dan selubung struktural secara berurutan, Gambar 12.5 menunjukkan contoh transfer informasi yang dihasilkan oleh pilihan objek pelapis yang memenuhi masalah desain dan desain rangka structural. Di sisi lain, proses desain dapat diidentifikasi berdasarkan masukan dan keluarannya oleh karena itu, sekumpulan objek yang ditentukan dapat mengidentifikasi proses desain dan jaringan keputusan desain yang kompleks dapat dibentuk dari objek yang saling terkait.

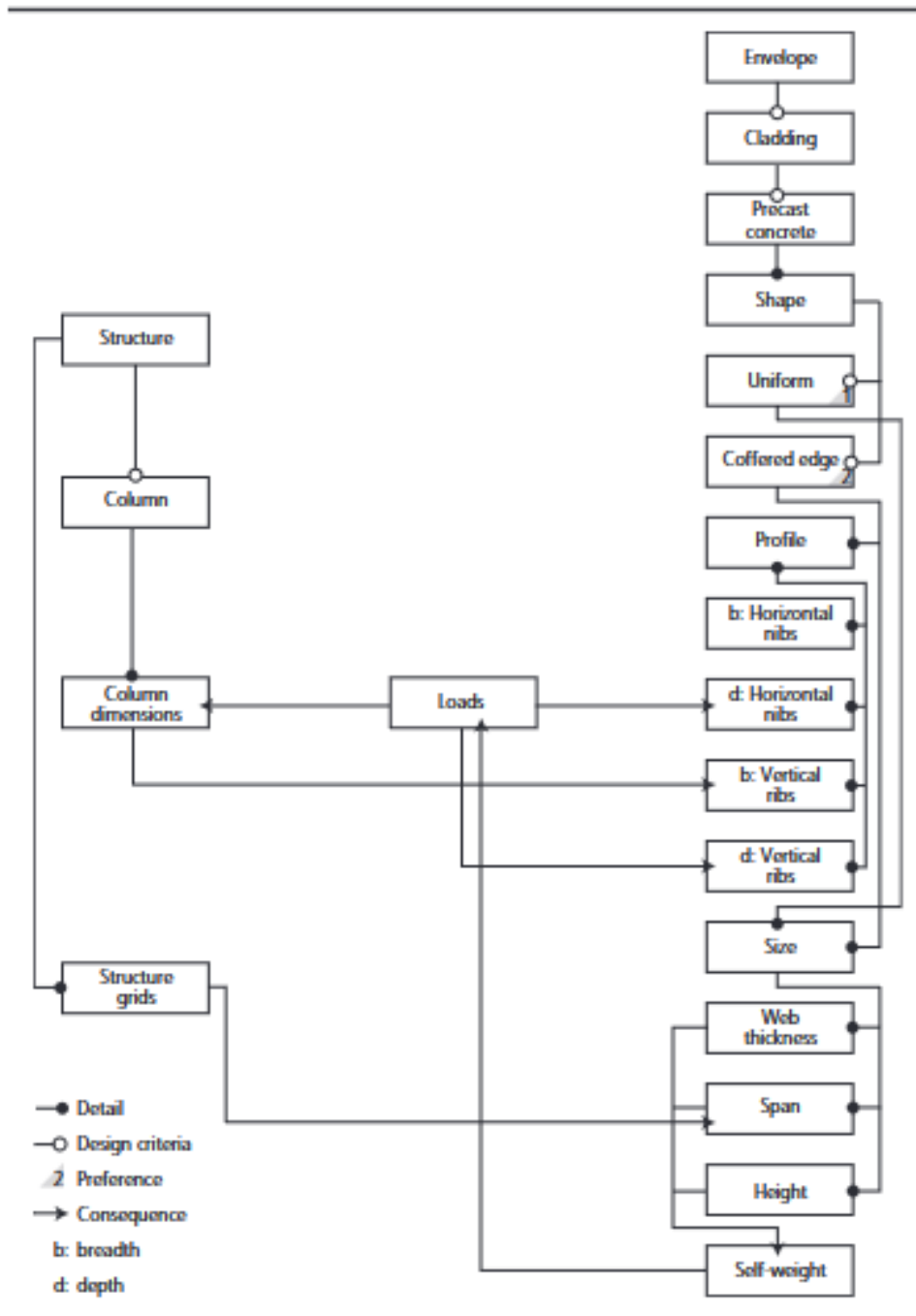
#### **12.4. PEMETAAN PROSES DESAIN**

Proses desain pada dasarnya adalah pemecahan masalah, tetapi dilakukan dengan cara yang sangat kompleks dan berulang. Jika semua informasi untuk membuat keputusan tidak tersedia, maka keputusan yang kurang optimal akan dibuat. Iterasi akan terjadi hingga informasi yang lebih lengkap tersedia. Proses pengambilan keputusan itu sendiri akan menentukan beberapa persyaratan informasi terperinci, tetapi pada intinya elemen dan tahap pengembangan akan menentukannya.

Oleh karena itu, masalah utama dari proses desain dapat dilihat sebagai mengidentifikasi titik-titik pemecahan masalah dan mendefinisikan pengetahuan yang dibutuhkan dari setiap domain desain. Desain dalam domain desain yang sama dapat dikelola secara paling efektif ketika antarmuka dengan domain desain lainnya dipahami. Untuk meningkatkan kualitas pengambilan keputusan di seluruh desain, koordinasi antara kontributor desain sangat penting. Oleh karena itu, model proses yang didasarkan pada antarmuka antara berbagai kontributor desain akan membantu desainer dan manajer untuk memahami proses desain yang kompleks.

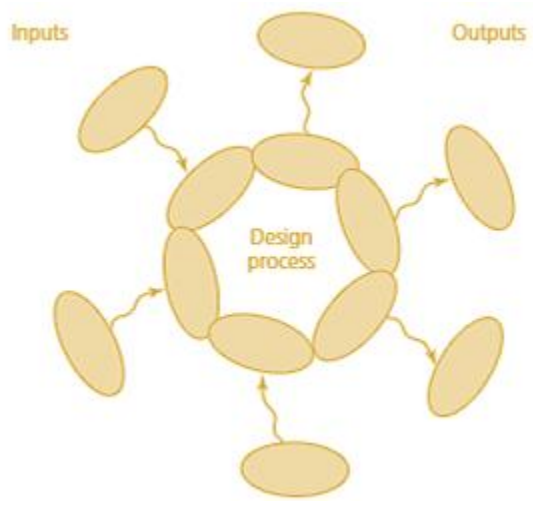
Berbagai metode pemodelan telah digunakan untuk memodelkan proses desain dan konstruksi. Metode umum, yang banyak digunakan oleh praktisi industri konstruksi, adalah penjadwalan. Selain penjadwalan, beberapa perusahaan telah menggunakan metode kotak

dan anak panah sederhana (alur proses sederhana) untuk menganalisis proses kerja mereka.



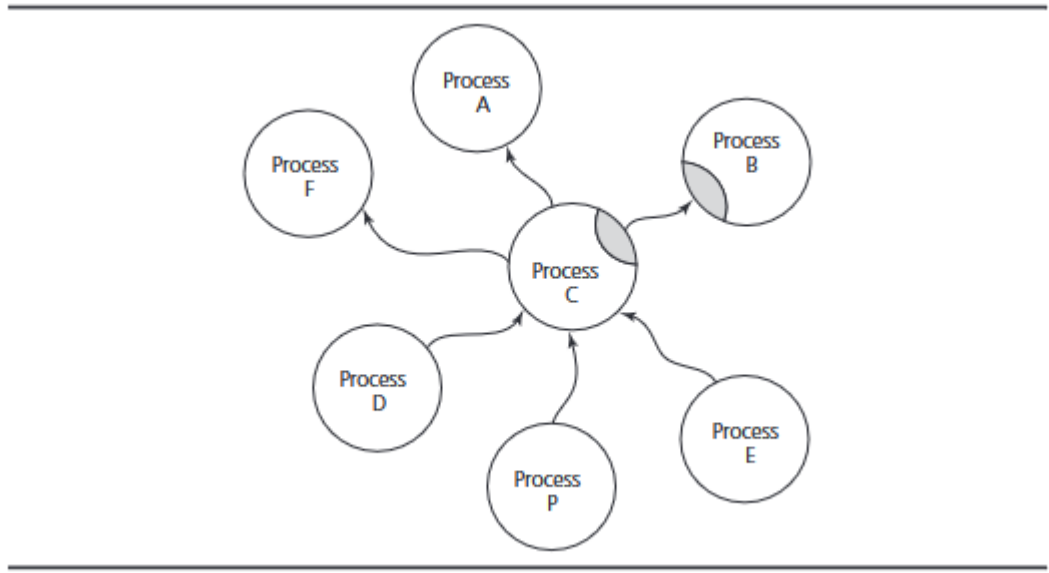
Gambar 12.5 Sifat Transfer Informasi





**Gambar 12.6** Menggambarkan Proses Desain

Metode yang lebih formal seperti IDEF0 dan DFD (lihat nanti) telah digunakan dalam proyek rekayasa ulang dan oleh para peneliti. Namun, model-model ini tidak dapat digunakan secara langsung untuk memetakan pertukaran informasi yang kompleks selama proses desain. Seperti yang telah dibahas di atas, proses desain memiliki sifat iteratif dan dibangun dari berbagai kendala. Metode pemetaan proses memetakan sistem yang sudah ada sebelumnya.



**Gambar 12.7** Pemetaan Proses

Teknik ini tidak cukup fleksibel untuk menghasilkan pola generik guna menangani sistem desain yang dapat berubah. Karena setiap masalah desain bersifat unik, maka ia memiliki persyaratan khusus menurut serangkaian kendala. Pemetaan proses akan menjadi sangat rumit untuk menangani kendala desain dan tidak dapat dikonfigurasi ulang untuk proyek tertentu dengan cepat. Proses perancangan bukanlah proses mekanis: ini adalah proses yang sangat kompleks dan interaktif.

### Contoh metode pemetaan proses

Model ideal dari apa pun adalah dirinya sendiri. Mencocokkan setiap elemen sistem nyata hanya mungkin dilakukan dalam sistem yang sangat sederhana. Ketika sistem yang dipertimbangkan adalah sistem yang sangat kompleks, seperti sistem desain, model tersebut dapat dianggap memadai jika tidak ada informasi penting yang hilang. Semuanya di sini bergantung pada tujuan model yang dibangun. Model harus akurat secara relatif dengan mempertimbangkan tingkat akurasi yang memadai untuk memahami masalah.

Mewakili proses desain berbeda dengan memperolehnya, karena pengetahuan dan representasi berbeda. Pengetahuan menggambarkan dunia sedangkan representasi adalah cara pengetahuan dikodekan. Mewakili proses desain melibatkan pendefinisian pengetahuan desain dan menghubungkannya dengan kemungkinan pola keputusan. Representasi harus cukup rinci untuk menghasilkan informasi yang diperlukan di setiap titik dalam proses dan untuk mengidentifikasi keputusan tertentu yang harus dibuat.

### Diagram aliran data (DFD)

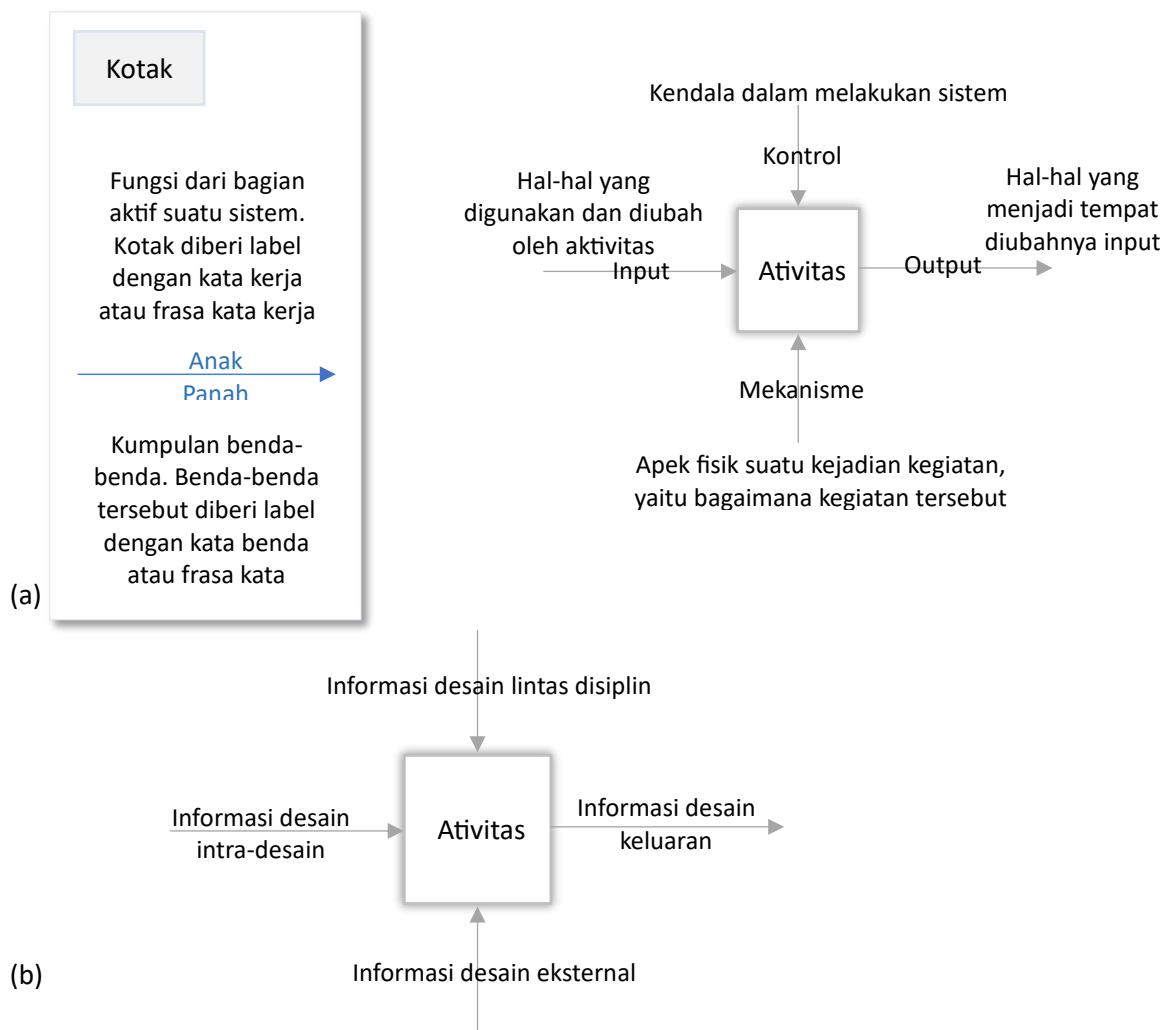
Aktivitas utama dalam desain adalah memproses dan mengomunikasikan informasi. Perencanaan aliran informasi akan menghasilkan proses desain yang jauh lebih efisien. Memetakan aliran informasi antara desainer akan membantu untuk memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang proses desain. DFD merupakan teknik yang cocok untuk memodelkan sistem desain, karena terdiri dari proses yang dihubungkan oleh antarmuka. Proses desain dapat didefinisikan berdasarkan masukan dan keluarannya. Jaringan proses desain dan masukan serta keluarannya dapat membentuk DFD sistem desain di mana lingkaran merupakan tugas desain yang terpisah dan tautannya merupakan transfer informasi.

Menurut definisinya, DFD merupakan representasi jaringan dari suatu sistem. Representasi tersebut dilakukan berdasarkan bagian-bagian komponen, dengan semua antarmuka informasi di antara komponen-komponen yang ditunjukkan. DFD menyajikan sistem dari sudut pandang data. Ini menyiratkan bahwa sistem dimodelkan di mana data merupakan gambaran besar sedangkan berbagai orang, mesin, dan organisasi yang bekerja pada data merupakan pendukung aktivitas tersebut. Konstruksi DFD terdiri dari

- Aliran data – diwakili oleh vektor bernama
- Proses – diwakili oleh lingkaran
- Berkas – diwakili oleh garis lurus
- Sumber data dan sink – diwakili oleh kotak.

Menurut Austin et al. (1994), DFD merupakan metodologi yang paling sesuai dalam memetakan transfer informasi desain. Akan tetapi, DFD tidak mengidentifikasi urutan proses yang saling terkait, DFD hanya memodelkan proses dan aliran informasi yang dibutuhkannya. Oleh karena itu, model DFD tidak dapat digunakan secara langsung untuk memetakan pertukaran informasi yang kompleks di seluruh proses desain seperti yang dibahas di atas.





**Gambar 12.9 (A) Konsep Dasar Metode IDEF0 Dan (B) Penerapan Metode IDEF0 Pada Proses Desain**

Klien mencari pengurangan biaya bangunan, yang hanya dapat dicapai melalui integrasi yang lebih erat antara fungsi desain dan konstruksi dalam siklus produk, seperti yang terjadi di sektor teknik lainnya. Aspek utamanya adalah kemampuan untuk merencanakan dan mengelola desain secara efisien, dengan mempertimbangkan sifat proses yang berulang dan perubahan kebutuhan klien dan kontraktor.

Perencanaan proses desain merupakan hal mendasar untuk mencapai manajemen rantai pasokan yang lebih baik dalam industri konstruksi; namun, perangkat perencanaan konvensional sering kali memiliki nilai yang terbatas dan umumnya gagal menangkap kompleksitas proses desain. Oleh karena itu, perlu untuk mengembangkan metode perencanaan yang menanggapi sifat desain yang berulang dan mendorong upaya kolaboratifnya. Berikut ini mengulas empat pendekatan untuk memodelkan proses desain yang telah dikembangkan untuk membantu perencanaan dan manajemen proses desain arsitektur. Model-model ini dijelaskan sebagai berikut.

- Model Proses Konstruksi: Sistematisasi Keadaan Sekarang Umum oleh IDEF0

- Metode Pemodelan Proses Konstruksi Umum (GEPM)
- Teknik Perencanaan Desain Analitis (ADePT)
- Buku Pegangan Integrasi Sistem Bangunan.

### **Model proses konstruksi: sistematisasi keadaan sekarang umum oleh IDEF0**

Studi ini telah memodelkan keseluruhan proses konstruksi, menciptakan model yang mencakup desain dan konstruksi proyek bangunan. Metode IDEF0 digunakan untuk membangun model, dengan fokus pada aktivitas desain dan konstruksi serta hubungan timbal baliknya dan arus informasi di antara keduanya.

#### **Struktur model proses konstruksi**

Model proses konstruksi menggunakan metode pemodelan IDEF0, dan dibagi menjadi enam submodel terintegrasi yang sesuai dengan pihak-pihak utama yang terlibat dalam proses desain dan konstruksi. Submodel ini adalah

- Model proses kerja klien
- Model proses desain arsitektur
- Model proses desain struktural
- Model proses desain layanan bangunan
- Model proses desain geoteknik
- Model proses produksi.

Gambar 12.10 menunjukkan pembagian utama dari keseluruhan model dan alurnya. Model proses terpadu menggabungkan semua disiplin desain utama, aktivitas produksi, dan kontribusi klien. Submodel proses desain dan kontribusi klien didasarkan pada definisi cakupan umum, sedangkan model proses produksi didasarkan pada sistem manajemen mutu kontraktor utama.

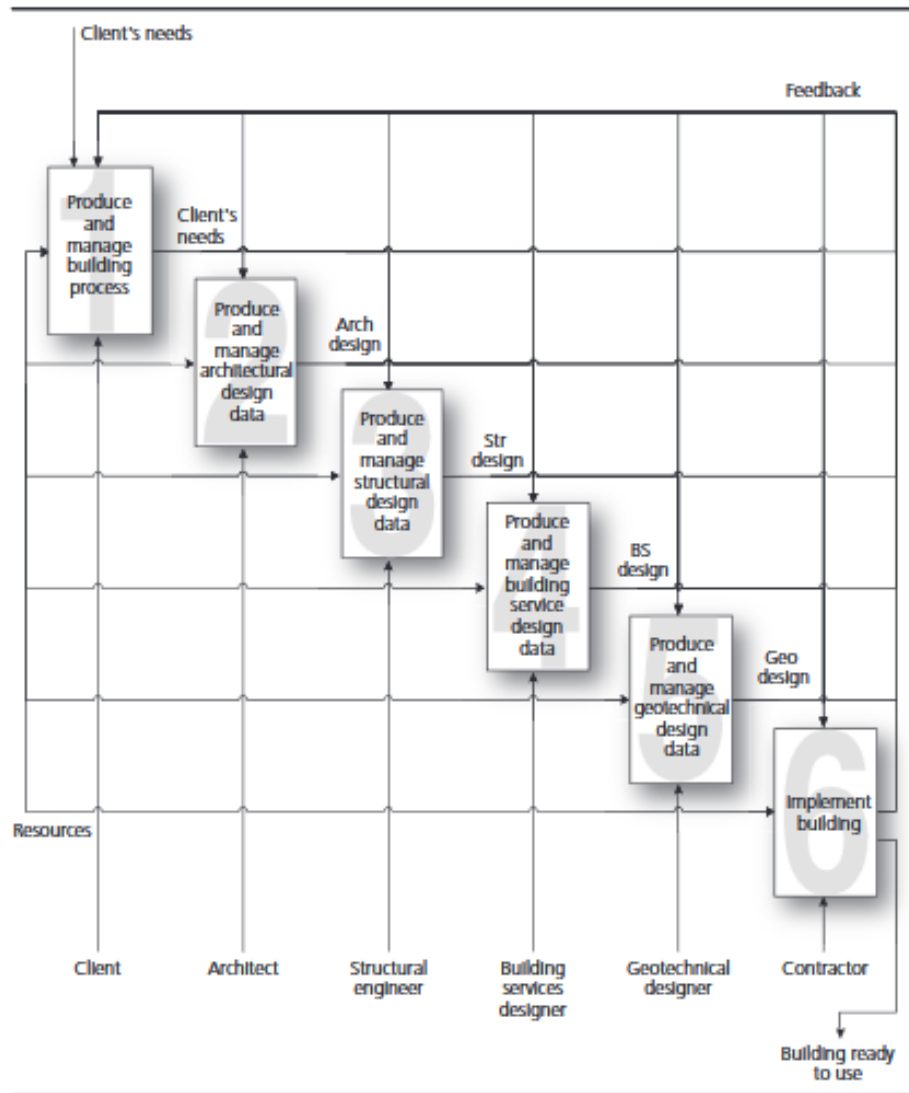
Model proses desain arsitektur dibagi menjadi enam subproses: pengarahan A1, pemrograman A2, desain global A3, desain terperinci A4, informasi produksi A5, dan pemeliharaan A6. Masing-masing subproses ini dibagi lagi menjadi subproses yang lebih terperinci, dan seterusnya. Gambar 12.12 menunjukkan pembagian tingkat ketiga dari desain global A3 menjadi subproses-subprosesnya.

#### **Ringkasan**

Fokus utama studi ini adalah pada fungsi dan alur proses pembangunan secara keseluruhan, berdasarkan metode IDEF0. Pengetahuan dasar tentang model ini diperoleh dari daftar tugas klien dan desainer serta sistem manajemen mutu kontraktor umum. Pendekatan ini diyakini dapat menghubungkan studi dengan praktik terbaik industri. Proses pembangunan tradisional dipilih dalam membangun model; oleh karena itu, penulis studi ini menyarankan studi lebih lanjut yang mempertimbangkan proses pembangunan alternatif dan bahwa pekerjaan subkontraktor dan pemasok harus lebih diperhatikan. Model ini mencakup fungsi klien, profesional desain, dan kontraktor umum. Model ini mencakup 300 aktivitas dan lebih banyak alur yang mendefinisikan hubungan timbal balik antara aktivitas.

Pekerjaan ini merupakan bagian dari entitas penelitian yang berfokus pada pengembangan metode dan kemampuan pemodelan proses konstruksi. Proyek lainnya adalah mengembangkan kemampuan pemodelan terkomputerisasi. Hasilnya adalah prototipe

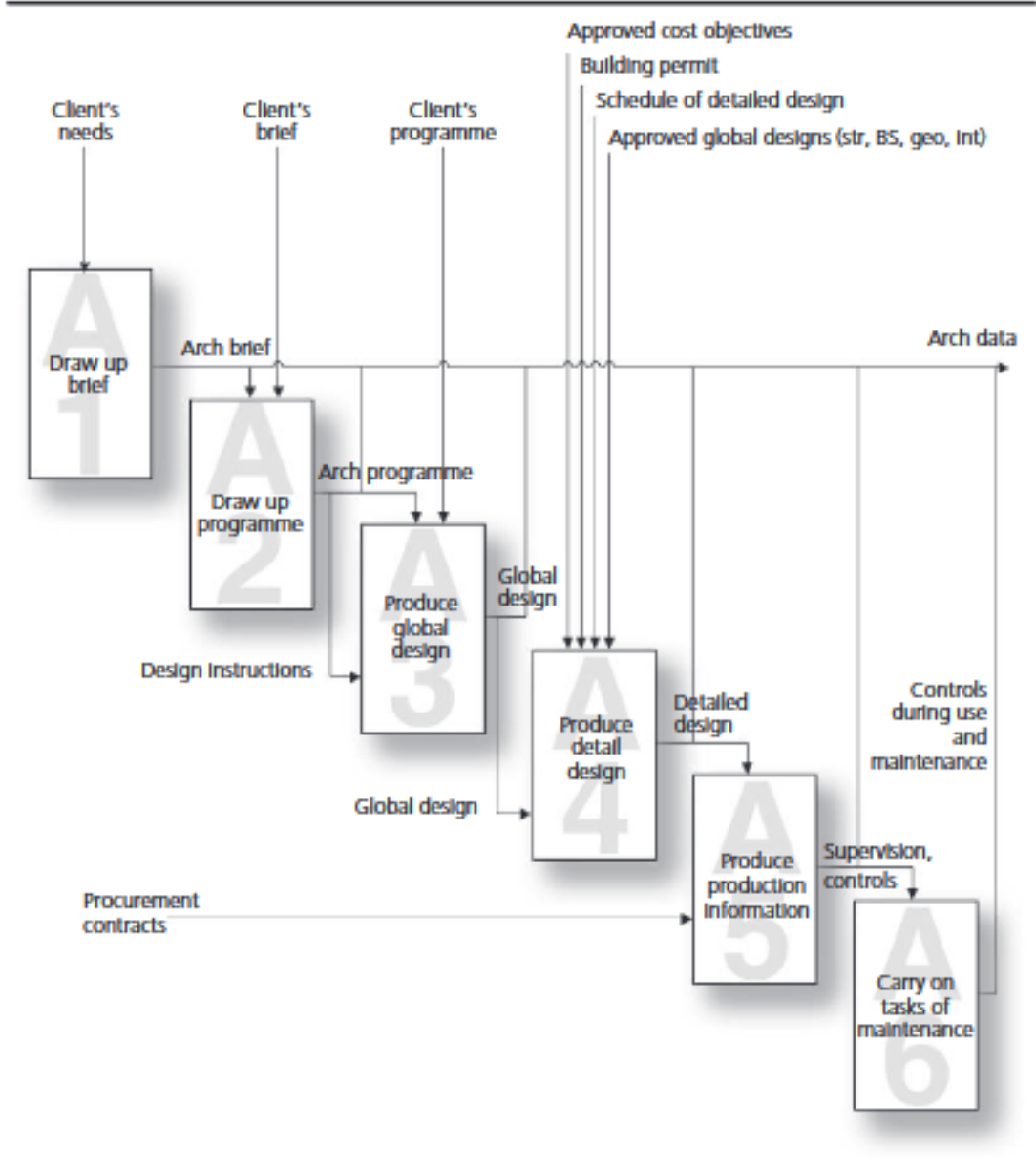
perangkat lunak untuk menelusuri, menyortir, dan menganalisis proses konstruksi.



Gambar 12.10 Model Proses Konstruksi Secara Keseluruhan (Karhu Et Al., 1997)

### Metode Pemodelan Proses Konstruksi Generik (GEPM)

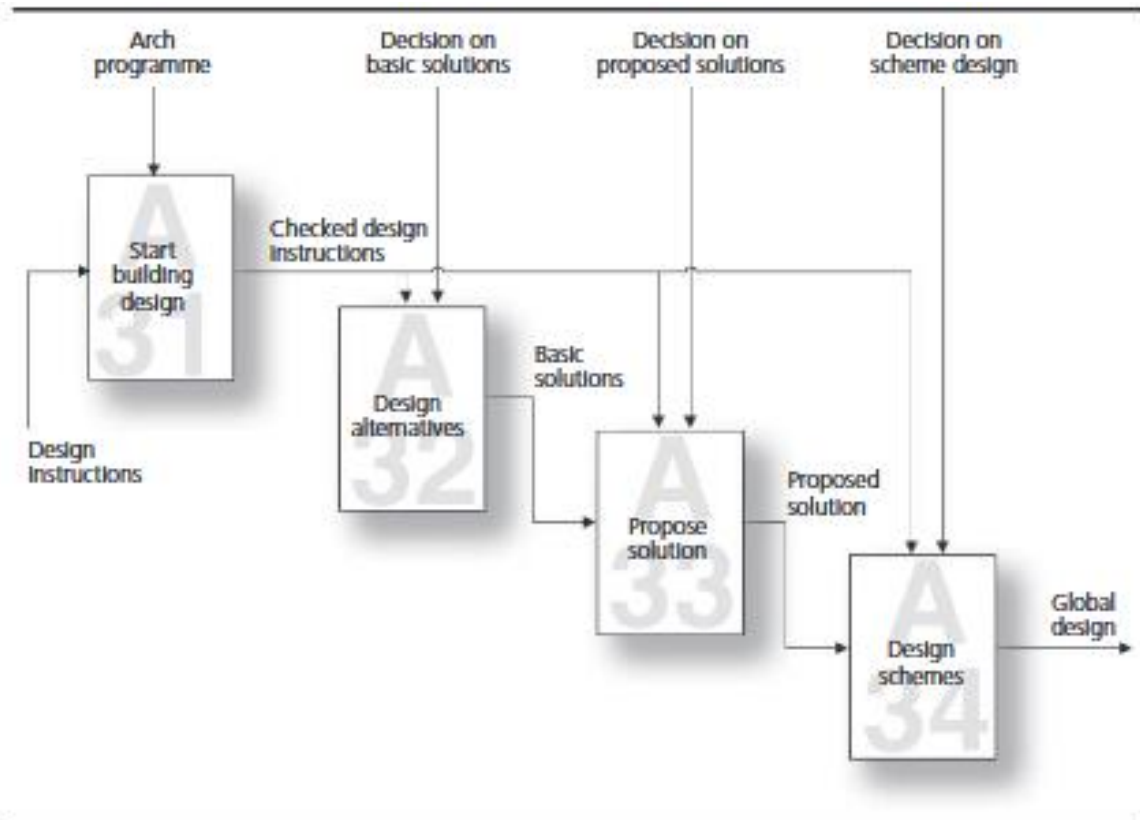
Penelitian ini berargumen bahwa metode pemodelan yang digunakan untuk memodelkan proses dan proyek konstruksi, baik selama perencanaan proyek normal atau untuk upaya rekayasa ulang proses atau penelitian, terbatas dalam cakupannya dan tidak dapat digunakan untuk memodelkan semua aspek proses, kemudian memperkenalkan metode pemodelan proses konstruksi generik (GEPM) baru yang dikembangkan untuk mengatasi kekurangan metode saat ini.



Gambar 12.11 Menghasilkan Dan Mengelola Data Desain Arsitektur

**Metode GPM untuk pemodelan proses konstruksi**

Metode baru ini merupakan sintesis dari fitur-fitur metode pemodelan proses lain yang sudah ada seperti penjadwalan, metode aliran sederhana, dan IDEF0. Namun, salah satu tujuan utama GPM adalah untuk membedakan antara aktivitas dan tugas serta bagaimana keduanya digabungkan.



**Gambar 12.12 Model Proses Konstruksi: Menghasilkan Desain Global**

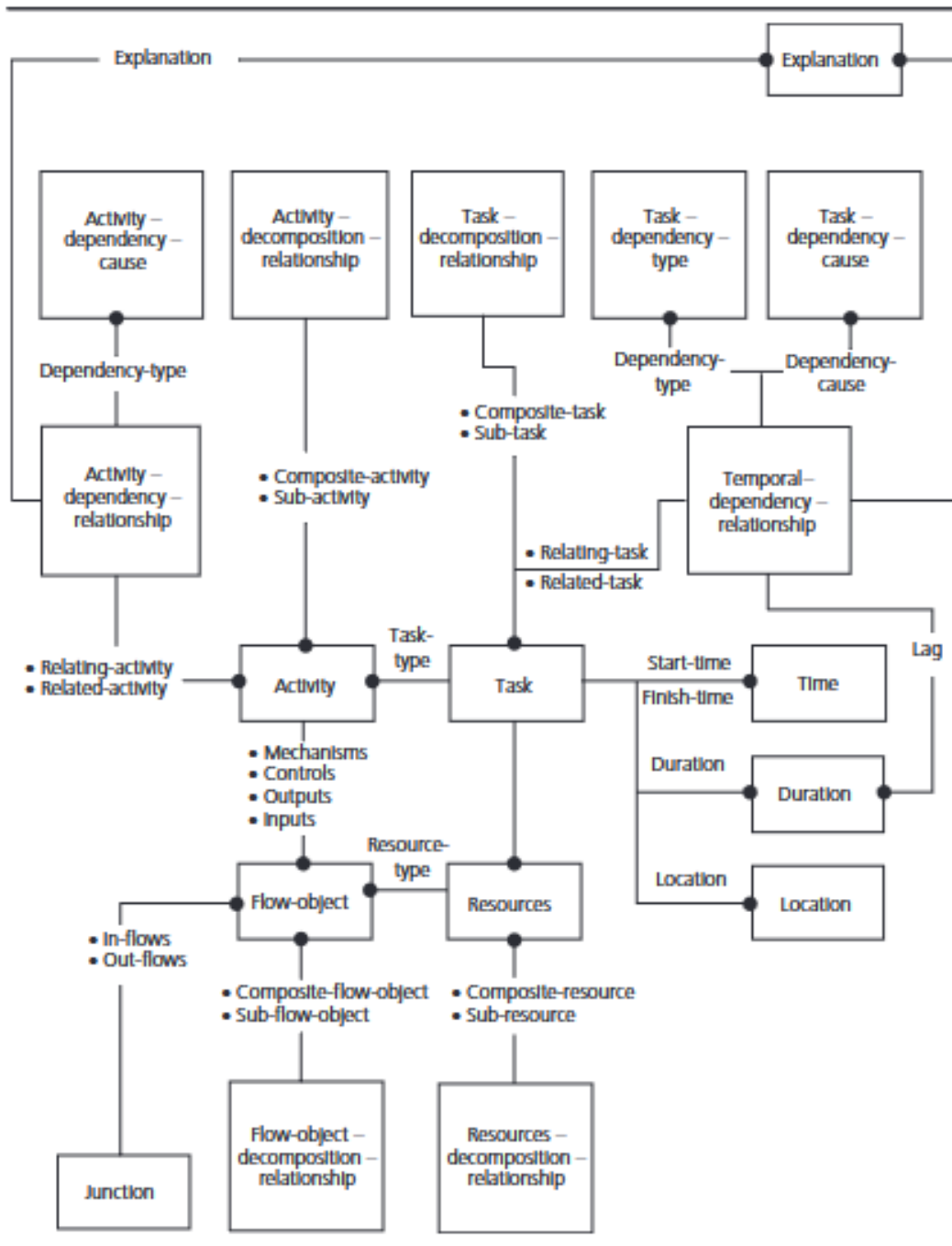
Gambar 12.13 menunjukkan hubungan utama menggunakan notasi EXPRESS-G. Aktivitas menunjukkan pelaksanaan sesuatu secara umum. Aktivitas-aktivitas tertentu disebut tugas. Tugas-tugas tersebut memiliki tipe tertentu, yang ditunjukkan dengan atribut 'tipe tugas'. Tipe ini mengacu pada suatu aktivitas. Hubungan antara aktivitas dan tugas dapat diilustrasikan dengan contoh pemasangan jendela. Model aktivitas proses akan memodelkan aktivitas 'pemasangan jendela', tetapi jadwal proyek untuk pemasangan jendela akan menetapkan tugas 'pemasangan jendela A', 'pemasangan jendela B', dst., yang menunjukkan identifikasi spesifik jendela tersebut.

Semua tugas akan memiliki tipe yang juga menunjukkan input, output, kontrol, dan mekanisme aktivitas. Sebuah aplikasi prototipe yang disebut peramban GEPM juga dikembangkan untuk menguji prinsip dasar metode itu sendiri. Ide utama di balik peramban ini adalah untuk menggunakan pendekatan basis data dan mempelajari bagaimana antarmuka pengguna yang berbeda dapat digunakan untuk berinteraksi dengan model proses yang sama.

### **Ringkasan**

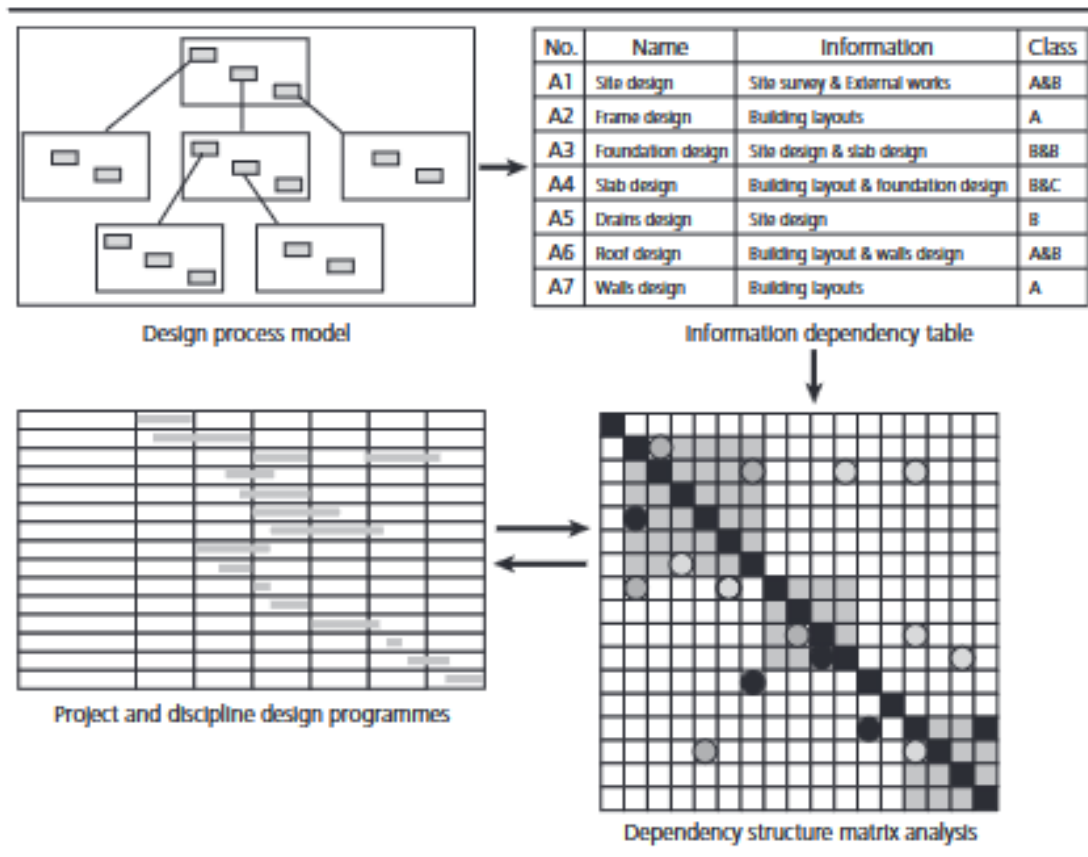
GEPM dapat digunakan untuk perbaikan proses, manajemen proses, dan peningkatan komunikasi dalam proses konstruksi. Salah satu skenario penggunaan GEPM adalah untuk menentukan sistem mutu dan model referensi, menggunakan submodel aktivitas, dan menyimpan hasilnya dalam basis data GEPM.





Gambar 12.13 Model Konseptual GPM

Model khusus proyek dapat diturunkan dari model referensi menggunakan aturan konversi, dan akhirnya berubah menjadi jadwal khusus proyek dengan tugas. Dengan kata lain, metode IDEF0 dapat digunakan untuk menggambarkan bagian atau aspek tertentu dari sistem mutu secara formal. Dengan demikian, model adalah model referensi sistem mutu. Mungkin ada banyak model alternatif yang berbeda dengan dokumen dan instruksi terkait untuk berbagai tujuan dalam sistem mutu. Peramban GPM dapat digunakan untuk menyimpan informasi ini sebagai model GPM parsial dan dalam format basis data. Kemudian, pengguna (misalnya, insinyur desain) berinteraksi dengan sistem mutu melalui tampilan seperti tampilan IDEF0.



**Gambar 12.14 Teknik Perencanaan Desain Analitis (Adept)**

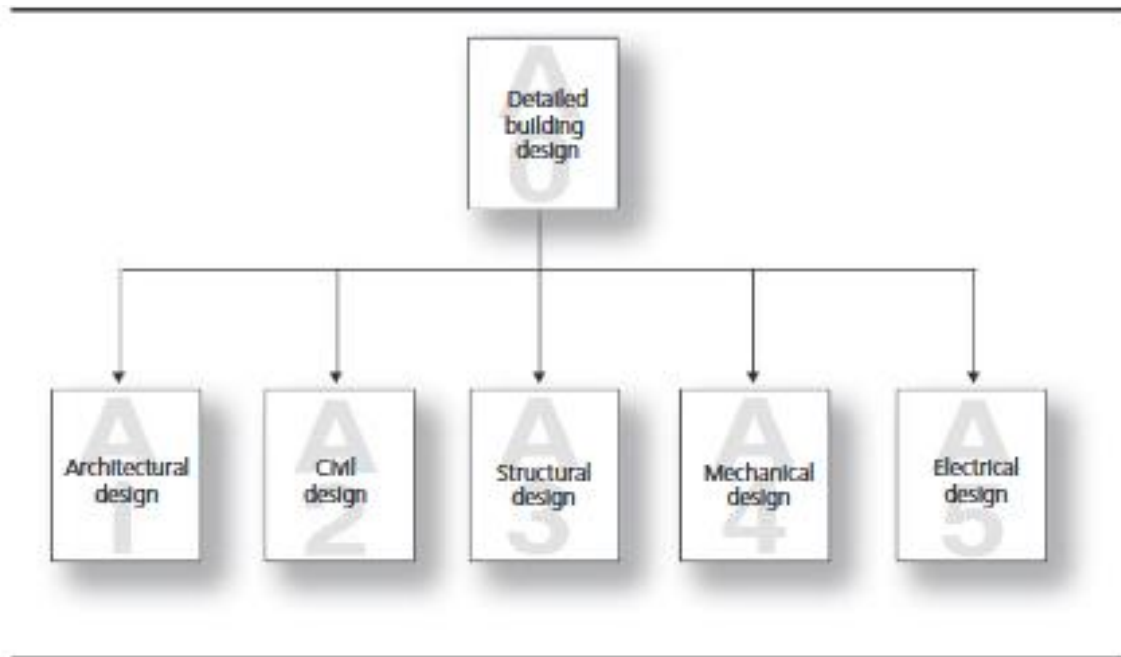
### Teknik perencanaan desain analitis (ADePT)

Metodologi ADePT dirancang untuk mengatasi keterbatasan teknik perencanaan desain bangunan tradisional yang tidak memungkinkan pengaruh variasi dan penundaan dipahami sepenuhnya dalam proses iteratif seperti desain. Metodologi ADePT terdiri dari

- Model proses desain (DMP) – yang merepresentasikan aktivitas desain dan persyaratan informasinya
- Tabel ketergantungan informasi – tabel ketergantungan informasi antara aktivitas model proses desain
- Matriks struktur ketergantungan (DSM) – alat analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi iterasi dalam proses desain dan menjadwalkan aktivitas dengan tujuan mengoptimalkan urutan tugas
- Program desain proyek dan disiplin – berdasarkan urutan proses yang dioptimalkan.

### Model proses desain

DMP ADePT menggunakan versi modifikasi dari metode IDEF0, yang lebih cocok untuk memodelkan proses desain bangunan. DPM memiliki struktur hierarkis.



**Gambar 12.15 Divisi Utama Proses Desain Bangunan Secara Rinci**

Tingkat pertama membagi proses menjadi desain yang dilakukan oleh disiplin ilmu profesional: arsitektur, teknik sipil, teknik struktur, teknik mesin, dan teknik listrik. Setiap disiplin ilmu kemudian dibagi lagi menjadi kelompok sistem bangunan, sistem dan subsistem, dan akhirnya aktivitas desain spesifik. DMP generik yang dijelaskan di atas dapat dimanipulasi untuk menghasilkan peta proses khusus proyek. Beberapa bagian DPM harus dihapus, beberapa bagian ditambahkan, dan beberapa diubah. Dalam beberapa kasus, lebih dari lima disiplin ilmu ini mungkin terlibat dalam desain.

#### **Tabel ketergantungan informasi**

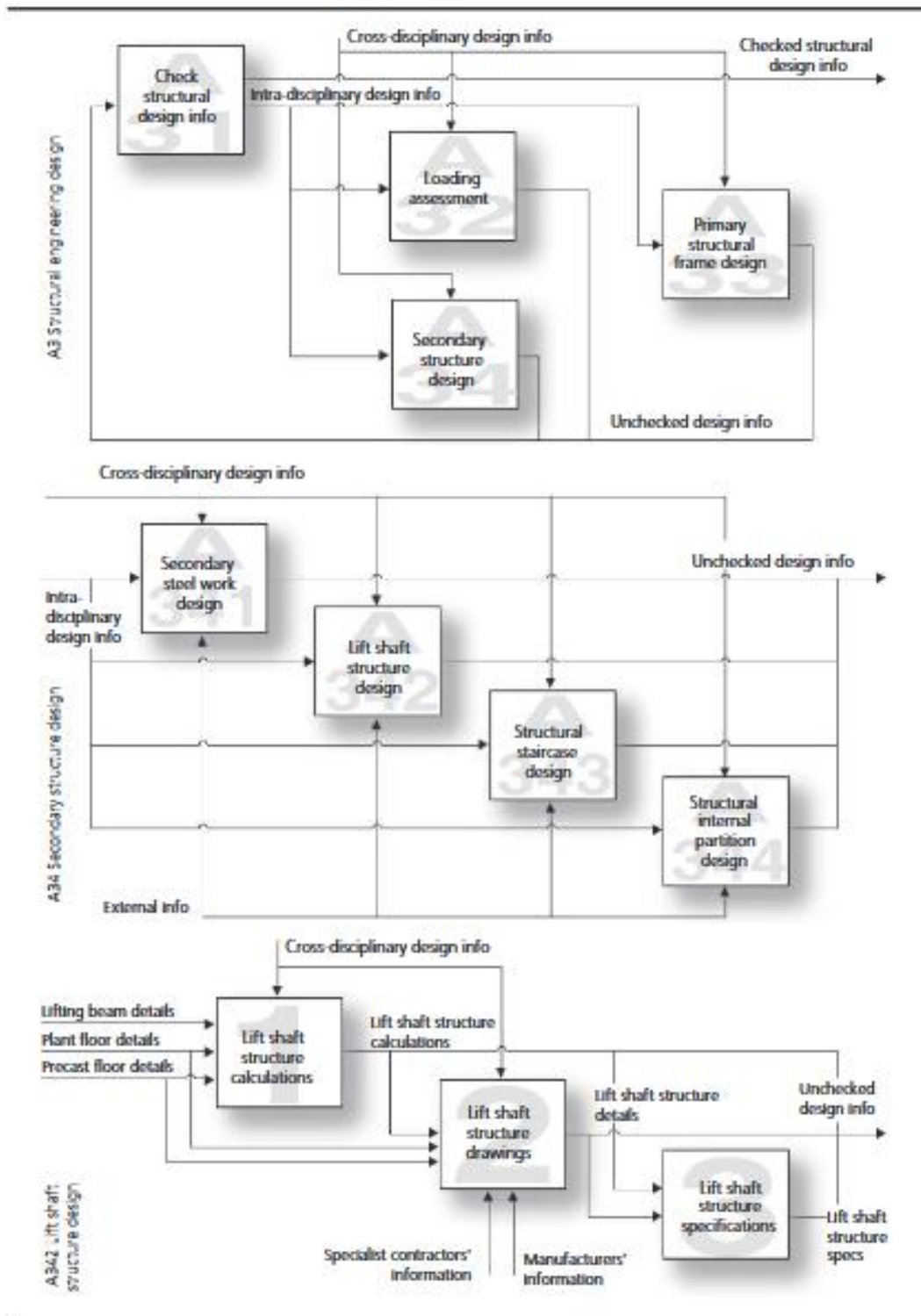
Setelah menetapkan hierarki aktivitas dalam proses desain bangunan terperinci seperti yang dijelaskan di atas, ketergantungan informasi dari setiap aktivitas desain individual perlu ditentukan. Informasi ini dikumpulkan dalam bentuk tabel berdasarkan masukan dari desainer yang berpraktik. Oleh karena itu, tabel ketergantungan informasi adalah daftar semua aktivitas DPM. Setiap aktivitas digabungkan dengan informasi yang diperlukan agar aktivitas tersebut dapat diselesaikan.

Setiap persyaratan informasi diklasifikasikan pada tiga tingkat kepentingan (A, B, dan C), untuk menunjukkan kekuatan ketergantungan dalam menyelesaikan aktivitas dengan mempertimbangkan informasi yang dibutuhkan: A adalah informasi yang paling penting dan C adalah informasi yang paling tidak penting. Perancang akan memberikan klasifikasi informasi berdasarkan tiga faktor: kekuatan ketergantungan aktivitas pada informasi, sensitivitas aktivitas terhadap perubahan kecil pada informasi, dan kemudahan informasi tersebut dapat diperkirakan.

#### **Matriks struktur ketergantungan**

Tahap ini melibatkan analisis aktivitas desain dan ketergantungan informasi dalam DPM. DSM adalah matriks aktivitas desain yang tercantum di sisi kiri matriks dan juga

tercantum dalam urutan yang sama di bagian atas matriks.



Gambar 12.16 Contoh Diagram Proses Desain

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
Tugas A		A																		
Tugas B	A																			
Tugas C	B	A			A							A								
Tugas D	B		C																	
Tugas E		C										A								
Tugas F		C	C																	
Tugas G	A		B													A		A		
Tugas H	B				A															
Tugas I				A		B														
Tugas J		C	C					B												
Tugas K							A						A							
Tugas L								B											B	
Tugas M			A					C						B	A				C	
Tugas N			B							A					A					
Tugas O			C								A									
Tugas P												C	A							
Tugas Q														C				A		
Tugas R																A				
Tugas S								A												
Tugas T												B								

	A	B	Q	R	D	G	J	L	E	I	S	O	P	F	H	K	N	C	M	T
Tugas A		A																		
Tugas B	A																			
Tugas Q				A								C								
Tugas R			A																	
Tugas D	B																	C		
Tugas G		A			B															
Tugas J		C					B			B								C		
Tugas L							B				B									
Tugas E		A					A													
Tugas I					B			A												
Tugas S									A											
Tugas O							A											C		
Tugas P																	A		C	
Tugas F		C		A									A					C		
Tugas H	B												A							
Tugas K														A		A				

Tugas N					B							A			A			
Tugas C	B	A							A									A
Tugas M									A	A	B	A					A	
Tugas T																		B

**Gambar 12.17 Contoh Analisis DSM (A) Sebelum Partisi (Dengan Tugas Dalam Urutan Acak) Dan (B) Setelah Partisi (Matriks Yang Dioptimalkan).**

Tanda dalam matriks menunjukkan bahwa aktivitas di sisi kiri bergantung pada aktivitas di bagian atas matriks, seperti pada Gambar 12.17(a). Dalam urutan aktivitas yang diasumsikan, tanda di bawah diagonal menunjukkan bahwa suatu aktivitas bergantung pada informasi yang telah dihasilkan oleh aktivitas sebelumnya, sedangkan tanda di atas diagonal menunjukkan bahwa suatu aktivitas bergantung pada informasi yang belum dihasilkan.

Area yang diarsir abu-abu pada Gambar 12.17(a) menunjukkan loop iteratif yang dihasilkan oleh aktivitas desain (tugas C). Menata ulang aktivitas dalam matriks sehingga tanda berada di bawah diagonal atau sedekat mungkin dengannya akan menghasilkan urutan aktivitas optimal yang menghasilkan iterasi optimal dari proses desain, seperti pada Gambar 12.17(b). Ketergantungan lemah yang diklasifikasikan sebagai C dapat dihilangkan dari penataan ulang matriks karena estimasi yang akurat dapat dengan mudah dibuat, dan beberapa ketergantungan kuat yang diklasifikasikan sebagai A atau B dapat dikurangi menjadi kelas C dengan bernegosiasi dengan tim desain. Dengan cara ini, ukuran loop iteratif dapat dikurangi, dan proses desain dibagi menjadi sub-masalah yang dapat dikelola.

**Desain program proyek dan disiplin**

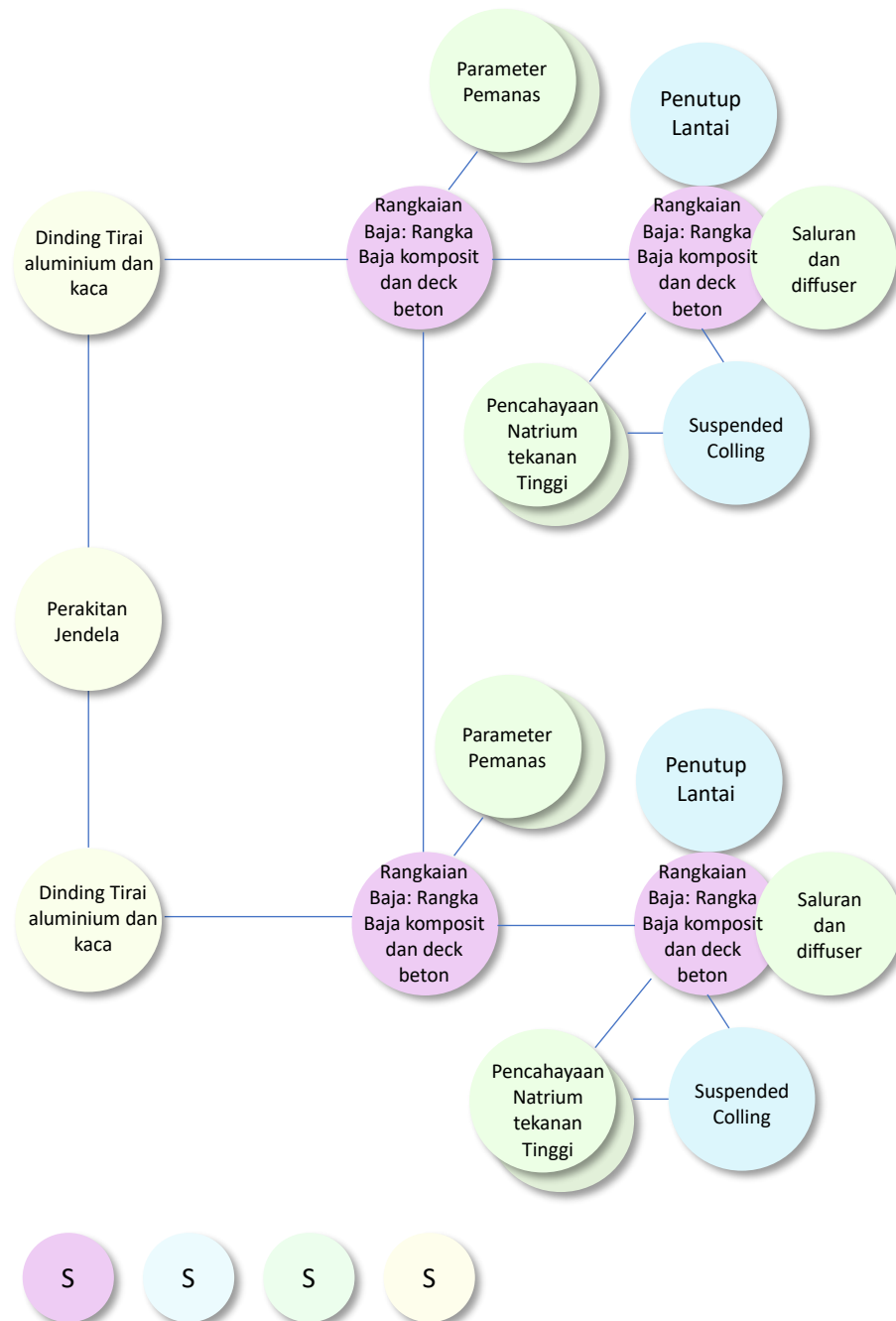
Hasil dari analisis DSM dapat dikaitkan dengan alat perencanaan proyek. Prosedur revisi yang diperlukan untuk menghasilkan program desain yang efektif menggunakan teknik tersebut telah dikembangkan melalui penerapannya pada berbagai proyek. Prosedur ini mencakup pemrograman loop iteratif dan integrasi program optimal dengan program pengadaan dan konstruksi.

**Ringkasan**

Metodologi perencanaan ADePT menyediakan cara terstruktur untuk menjadwalkan proses desain berdasarkan aliran informasi dan memahami saling ketergantungan antara tugas-tugas dalam proses desain. Pendekatan ini membantu menekankan kepada tim proyek pentingnya rilis informasi yang tepat waktu, kualitas informasi yang tepat, dan perbaikan desain. Metodologi ADePT menyediakan pendekatan terstruktur untuk perencanaan, berdasarkan aliran informasi daripada produksi hasil akhir dan mempertimbangkan sifat iteratif proses desain.

**Pendekatan Integrasi Sistem Bangunan**

Pendekatan ini memandang desain bangunan sebagai dua proses: pemilihan produk dan layanan yang ada serta integrasi dan penciptaan sistem (Gambar 12.18).



**Gambar 12.18 Hubungan Antar Sistem: Dinding Kaca Dan Aluminium (Rush, 1986). S, Struktural; I, Interior; M, Mekanis; E, Selubung**

Bangunan dibagi menjadi empat sistem utama: struktural, selubung, mekanis, dan interior, yang masing-masing harus disesuaikan dengan tujuan berdasarkan kebutuhan yang teridentifikasi.

- **Struktural:** Sistem yang mendukung bangunan dan menahan beban selain beban bangunan itu sendiri.
- **Selubung:** Sistem yang melindungi bangunan dari elemen iklim dan kerusakan fisik akibat kekuatan alam.
- **Mekanis:** Sistem yang menyediakan layanan bagi bangunan dan penghuninya.

- **Interior:** Sistem yang terlihat dari dalam bangunan.

Keempat sistem ini terintegrasi dengan tingkat yang berbeda. Di satu sisi, integrasi teoritis mencakup bangunan yang komponen-komponennya independen tetapi terkoordinasi dalam batas toleransi tertentu. Di sisi lain, ada bangunan dengan komponen yang saling terkait dan tidak dapat dipisahkan. Integrasi maksimum dapat mengurangi fleksibilitas. Lima tingkat integrasi yang ada adalah: jarak jauh, sentuhan, terhubung, berjejaring, dan terpadu, yang semuanya berdasarkan hubungan fisik yang dapat diidentifikasi

- Remote – kedua sistem tidak bersentuhan secara fisik.
- Touching – kedua sistem bersentuhan, tetapi tanpa sambungan permanen.
- Connected – kedua sistem tersambung secara permanen satu sama lain melalui las, baut atau perekat atau melalui perantara perangkat penghubung tambahan seperti cleat atau pasak.
- Meshed – kedua sistem saling menembus dan menempati ruang yang sama. Sistem juga dapat tersambung secara fisik. Dua sistem yang saling bertautan menunjukkan situasi yang lebih terbatas.
- Unified – kedua sistem menyatu, tidak lagi berbeda; material yang sama digunakan untuk lebih dari satu penggunaan.

## 12.6. PEMBENTUKAN TIM DESAIN/INTEGRASI TIM DESAIN

Setelah proses dipetakan dan rencana dibuat, perhatian dapat dialihkan ke desain organisasi tim desain. Tim desain biasanya terdiri dari orang-orang dari berbagai organisasi. Alasan mengapa ada begitu banyak orang yang terlibat didasarkan pada kompleksitas tugas desain dan kebutuhan masukan dari berbagai profesi dan perdagangan. Integrasi antara desainer, kontraktor perdagangan, dan pemasok material dan komponen sangat penting untuk mencapai target kualitas, fungsionalitas, dan waktu proyek konstruksi.

Peran manajemen desain adalah memastikan bahwa organisasi proses desain terstruktur dengan tepat untuk tugas yang ada dan memastikan bahwa ada mekanisme integratif dan koordinasi yang memadai agar pekerjaan dapat berjalan dengan baik. Kluster teknologi merupakan pendekatan inovatif untuk mengelola proyek konstruksi mulai dari desain hingga konstruksi hingga serah terima.

Pendekatan ini mengasumsikan fokus produk untuk mendukung dan mencapai solusi desain inovatif guna memenuhi kebutuhan klien. Setiap kluster menyatukan semua keterampilan desain dan produksi dengan cara yang sangat terfokus. Komunikasi yang terfokus oleh orang-orang yang berdekatan secara fisik dan kelompok orang mempercepat seluruh proses. Struktur manajemen sangat datar, sehingga membantu pengambilan keputusan. Berikut ini memperkenalkan peran manajemen penting dalam pendekatan kluster teknologi.

### **Tim proyek**

Pendekatan kluster teknologi menuntut orang-orang berkaliber tinggi, mungkin awalnya bekerja pada batas kemampuan mereka karena kemampuan mereka untuk berpikir ke depan guna memecahkan masalah sebelum masalah itu terjadi. Sistem tempat mereka bekerja harus mengendalikan tingkat ambiguitas yang mereka hadapi sehingga mereka jelas



tentang area kebijaksanaan mereka untuk membuat keputusan. Organisasi proyek tidak boleh rumit dengan sistem kontrol dan pemantauan yang terlalu rumit.

### **Manajer harus menjadi pemimpin**

Pendekatan klaster teknologi mengharuskan seluruh organisasi proyek untuk fokus pada proses produksi. Dengan menghilangkan banyak tingkatan manajemen, jalur komunikasi yang sangat pendek antara manajer dan operator tercapai. Selain itu, hubungan langsung dengan kontraktor perdagangan mendorong setiap orang untuk berkontribusi pada keputusan. Hal ini mengarah pada organisasi yang datar di mana peran manajemen adalah untuk memberikan kepemimpinan, dorongan, dan dukungan.

### **Diperlukan orang-orang berkaliber tinggi**

Struktur organisasi yang diperlukan harus menetapkan kerangka kerja untuk mencapai manajemen yang jelas dan tidak ambigu yang dibutuhkan. Ini harus ditafsirkan dan diterapkan pada masing-masing proyek dengan cara yang fleksibel, tetapi tujuan menciptakan manajemen situs yang jelas dan sederhana akan lebih diutamakan.

Sejauh mana proyek tertentu dapat berkembang ke arah yang ideal akan sangat bergantung pada sejauh mana kontraktor perdagangan mengembangkan kemampuan manajemen mereka. Mungkin masuk akal dalam jangka pendek untuk bekerja dengan spesialis yang memahami tuntutan bekerja dalam situasi seperti itu.

### **Pekerja bertanggung jawab atas produksi**

Ada dua isu penting terkait manajemen desain: konten dan jadwal. Untuk konten, ada dua penyedia, tim desain dan kontraktor pekerja spesialis, tetapi untuk jadwal, ada tiga set kebutuhan terpisah yang harus dipenuhi: kebutuhan tim desain, kebutuhan kontraktor spesialis, dan kebutuhan lokasi konstruksi. Fitur utama proyek pembangunan adalah bahwa masukan untuk desain oleh kontraktor pekerja diakui sebagai bagian yang lebih besar dari desain dibandingkan dengan konstruksi lainnya.

Mereka juga diharapkan untuk mengoordinasikan desain mereka di antara mereka sendiri dan mendapatkan semua persetujuan. Penting untuk ada pemahaman yang jelas bahwa perancang sepenuhnya bertanggung jawab atas kinerja bangunan secara keseluruhan, termasuk estetika terperinci, tetapi harus memungkinkan setiap kontraktor pekerja untuk mencapai efisiensi produksi melalui desain terperinci mereka.

### **Implementasi kerangka kerja manajemen**

Setelah proyek dimulai (yaitu skala dan jadwal pengirimannya telah ditentukan), maka program strategis desain, pengadaan, dan konstruksi harus dikembangkan. Program strategis merupakan gambaran terpadu dari keseluruhan tugas, dan mencakup analisis tahapan utama dalam setiap tugas dalam keseluruhan. Setiap tugas individual harus berorientasi pada penyelesaian aktivitas di lokasi dan didorong oleh kebutuhan untuk memasok sumber daya dan komponen ke lokasi pada waktu yang tepat.

### **Organisasi yang berorientasi operasional**

Struktur manajemen harus berfokus pada klaster teknologi, dan penekanan operasional harus pada klaster teknologi. Klaster teknologi hanyalah fungsi utama bangunan yang dapat diselesaikan sebagai suatu entitas. Dalam proyek yang kompleks, aturan untuk

membagi proyek adalah menjadi bangunan, kemudian berdasarkan wilayah, teknologi, dan waktu. Untuk sebagian besar kasus, klaster teknologi akan menjadi struktur (sub- dan/atau superstruktur), selubung eksternal, inti dan riser, dan penyelesaian internal. Dalam beberapa kasus, ruang pabrik bawah tanah telah ditetapkan sebagai klaster teknologi terpisah, meskipun dari sudut pandang teknis pengiriman sistem yang lengkap, hal ini tidak masuk akal.

#### **Organisasi prakonstruksi yang berorientasi operasional**

Organisasi proyek menyediakan layanan dukungan kepada tim produksi di setiap klaster teknologi. Setiap anggota harus memastikan bahwa layanan yang diberikan tim tepat waktu dan memiliki kualitas serta akurasi tertinggi, tetapi layanan tersebut tidak boleh dibiarkan menjadi tujuan akhir. Kelompok proyek harus bekerja sesuai dengan tujuan dan persyaratan jangka panjang dan menengah proyek.

Berdasarkan sifat dasar cara proyek berkembang dari waktu ke waktu, peran organisasi proyek akan berubah. Awalnya, organisasi akan menjadi pemrakarsa kegiatan dan akan bekerja sama erat dengan tim eksekutif dan desain, dengan masukan yang luas dalam pertimbangan mereka. Namun, setelah memasuki tahap produksi, penekanannya akan berubah menjadi tuntutan langsung dari aktivitas produksi di lokasi.

#### **Organisasi konstruksi yang berorientasi operasional**

Merupakan tanggung jawab kontraktor perdagangan untuk mengelola pekerjaan mereka guna menyelesaikan kontrak mereka. Tugas ini menyiratkan tanggung jawab penuh atas manajemen lokasi, karena bidang pekerjaan harus menentukan area kerja, statusnya, dan ketersediaannya, serta memastikan bahwa mereka dapat bekerja di area tersebut untuk menyelesaikan semua tugas mereka saat disetujui bersama. Peran tim manajemen konstruksi adalah memastikan bahwa tindakan masing-masing spesialis sesuai dengan tujuan proyek.

#### **Efektivitas pendekatan pengelompokan**

Pengelompokan teknologi pertama kali dievaluasi dalam uji coba skala penuh pada sebuah proyek oleh Kementerian Pertahanan. Hal ini menghasilkan pengembangan kontrak utama sebagai metode pengadaan yang disukai. Holti dkk., dalam tinjauan mereka terhadap proyek Building Down Barriers, mengidentifikasi sejumlah besar tantangan bagi para desainer dalam beroperasi di bawah rezim produksi baru ini. Ada keuntungan yang cukup besar dalam memiliki berbagai sumber daya desain dan informasi teknis yang tersedia sangat awal dalam proses proyek.

Dalam Al-Bizri dan Gray, masalah implementasi pendekatan pengelompokan teknologi diselidiki pada lima proyek yang telah mengadopsi pendekatan pengelompokan dan perubahan yang diperlukan dalam desain dan manajemen organisasi mereka untuk mencapai integrasi penuh rantai pasokan diperiksa. Studi ini menunjukkan perlunya memperluas peran manajer paket menjadi manajer klaster dan mengarah pada pengakuan bahwa terdapat kesenjangan mendasar dalam basis keterampilan industri, yaitu bahwa industri konstruksi membutuhkan manajer tingkat menengah yang dapat mencakup berbagai tugas, keterampilan, dan kemampuan untuk dapat memfasilitasi integrasi penuh antara desain dan rantai pasokan konstruksi.

Pengelompokan bukanlah satu-satunya pendekatan, tetapi pendekatan ini dapat

mencapai perubahan kinerja radikal yang dituntut oleh tim proyek modern. Manajemen desain ditempatkan dalam sorotan yang jelas sebagai satu-satunya proses yang dapat membuat atau menghancurkan proyek. Hal ini membutuhkan wawasan, kesabaran, dan kemampuan yang luar biasa. Alat manajemen mulai bermunculan, seperti halnya pemahaman yang lebih baik tentang masalah proses. Hingga alat tersebut berkembang, desain organisasi proyek yang buruk melalui asumsi dalam pendekatan pengadaan akan tetap menentukan efektivitas proses.

## **BAB 13**

### **MANAJEMEN FASILITAS YANG CERDAS DAN BERKELANJUTAN**

Industri konstruksi dan manajemen fasilitas sangat penting bagi perekonomian nasional, tetapi memiliki dampak besar pada percepatan perubahan iklim dan degradasi lingkungan kita, sebagian sebagai akibat dari fragmentasi penyampaian proyek ke dalam proses desain, konstruksi, fasilitas, dan manajemen aset. Bangunan cerdas menyediakan alat penting untuk memajukan keberlanjutan dalam manajemen konstruksi dan fasilitas, sekaligus memperhatikan jejak karbon dari penerapan teknologi digital tersebut.

Kendala yang sangat besar untuk menerapkan manajemen fasilitas berkelanjutan yang baik adalah kurangnya pemahaman dan fokus yang disepakati bersama pada keberlanjutan dan manfaat yang dapat diberikan oleh pemanfaatan teknologi digital; terdapat kesenjangan pengetahuan dalam penyampaian praktis manajemen fasilitas yang berkelanjutan dan cerdas.

Kemunculan dan semakin meluasnya penggunaan pemodelan informasi bangunan dipandang di banyak daerah pemilihan sebagai obat mujarab untuk fragmentasi manajemen konstruksi dan fasilitas, dan karenanya merupakan kendaraan penting untuk mencapai tujuan lingkungan binaan yang berkelanjutan.

Penyediaan keterampilan dan pelatihan dalam bangunan cerdas dan keberlanjutan, yang secara tradisional ditawarkan secara terpisah kepada desainer, kontraktor, manajer, dan manajemen fasilitas, perlu diorientasikan kembali untuk memenuhi kebutuhan industri saat ini dan dikembangkan untuk menyediakan struktur dan proses yang efektif guna menerapkan keberlanjutan sebagai tujuan bersama yang dapat dicapai.

#### **13.1 PENDAHULUAN**

##### **Sifat Yang Terus Berkembang Dari Industri Manajemen Fasilitas Dan Konstruksi**

Manajemen fasilitas (FM) dan konstruksi (desain dan konstruksi) adalah dua industri terpenting di semua ekonomi nasional di seluruh dunia, khususnya konstruksi di negara maju. Menurut angka dari Departemen Perdagangan dan Industri (DTI), industri konstruksi Inggris mempekerjakan lebih dari 1,9 juta orang, dengan 40% terdaftar sebagai wiraswasta (Kantor Statistik Nasional, 2011), dan didominasi oleh perusahaan kecil dan menengah dengan hasil tahunan lebih dari Rp 1.723.730.255.000.000. Karakteristik serupa terwujud dalam FM.

Kedua sektor, konstruksi dan FM, sangat terfragmentasi, dengan tingkat kontinuitas beban kerja yang rendah, sedikit saling ketergantungan dan komunikasi, serta kurangnya kepercayaan. Ada wacana perubahan yang meningkat menuju kolaborasi dalam proses desain dan konstruksi, yang mendukung peningkatan kontrak, komunikasi, dan manajemen. Wacana perubahan seperti itu terus menjadi aspirasi para pembuat kebijakan dan akademisi. Inisiasi, desain, konstruksi, dan pengoperasian setiap proyek konstruksi memerlukan partisipasi, dan kolaborasi antara, berbagai agen, termasuk profesional FM.

Namun, setiap konstituensi peserta memiliki agenda dan kepentingannya sendiri dan

akan memobilisasi sumber daya, pengetahuan, dan praktiknya, sebagai bagian dari proyek, untuk memenuhinya. Kepentingan ini terutama bersifat finansial, untuk mencapai keunggulan kompetitif. Realitas industri yang terfragmentasi dan kompetitif memiliki implikasi besar pada dorongan keseluruhan untuk agenda keberlanjutan, serta peran dan tugas FM di tingkat strategis, taktis, dan operasional.

Kurangnya informasi proyek yang memadai, bersama dengan kehati-hatian keuangan dan keterbatasan waktu, menyebabkan manajer fasilitas didorong oleh penghematan biaya dan respons ad hoc terhadap kebutuhan pengguna akhir. Perubahan iklim telah berdampak besar pada isu kebijakan publik, mendorong perusahaan global untuk menganut strategi berkelanjutan. Ada seruan yang meningkat untuk perubahan radikal dalam cara kita mendesain dan menggunakan produk untuk memajukan keberlanjutan dan mengurangi kerusakan pada lingkungan kita.

Menariknya, manajemen desain dianggap sebagai tujuan utama keberlanjutan dan model serta strategi untuk desain berkelanjutan terus berkembang. Namun, aspek fisik bangunan dan gaya desain masih mendominasi konstruksi, tanpa atau sedikit mempertimbangkan proses penggunaan atau FM. Profesi FM memiliki peran yang sangat penting, tidak hanya pada sisi operasi aset, tetapi juga penting dalam proses desain dan konstruksi untuk mewujudkan tujuan keberlanjutan

#### **Signifikansi Dan Pasar Industri FM**

FM, termasuk layanan yang dilakukan di dalam negeri, layanan yang dikontrakkan ke luar negeri, dan manajemen fasilitas total (TFM), dianggap sebagai salah satu profesi yang tumbuh paling cepat di Inggris, dengan nilai sekitar Rp2.435.812.000.000.000 pada tahun 2007, yang diproyeksikan akan naik menjadi Rp2.703.054.000.000.000 pada tahun 2015. Sektor layanan internal mewakili proporsi terkecil dari pasar FM Inggris, sementara sektor yang dikontrakkan ke luar negeri mewakili bagian terbesar, yang mencakup lebih dari 60% pasar.

Pasar FM terus berkembang, khususnya FM strategis, di mana penyedia layanan menyesuaikan diri dengan misi dan arahan klien mereka serta operasi bisnis harian, menyediakan layanan seperti kebijakan lingkungan, praktik kerja, sumber daya manusia, TI, dan pertumbuhan di masa mendatang. Skala pertumbuhan dalam lingkungan binaan dan pertumbuhan sektor FM yang diakibatkannya diantisipasi akan sangat besar, dan, oleh karena itu, kontribusinya terhadap masalah lingkungan juga akan demikian.

#### **Peran Dan Aktivitas FM**

Konsep FM terus berkembang telah menggambarkan FM sebagai integrasi proses dalam suatu organisasi untuk memelihara dan mengembangkan layanan yang disepakati yang mendukung dan meningkatkan efektivitas aktivitas utama atau intinya. Definisi FM yang umum digunakan ini pertama kali dirumuskan oleh Komite Standardisasi Eropa (CEN) dan kemudian secara resmi diadopsi oleh Institut Manajemen Fasilitas Inggris (BIFM)

Menurut Becker FM mengacu pada bangunan yang digunakan, pada perencanaan, desain, dan pengelolaan bangunan yang ditempati dan sistem bangunan, peralatan, dan perabotan terkait untuk memungkinkan dan (seseorang berharap) meningkatkan kemampuan

organisasi untuk memenuhi tujuan bisnis atau programnya. Berbagai lembaga, profesional, dan organisasi menawarkan definisi yang berbeda, tetapi gagasan yang mereka semua refleksi adalah hubungan dan interaksi yang kuat antara bangunan, layanan, dan kegiatan inti organisasi untuk menciptakan lingkungan yang dapat meningkatkan kinerja bisnis utama mereka.

Namun, kewenangan industri FM sangat luas, dan semakin berkembang dan berevolusi untuk mencakup lebih banyak kegiatan Atkin dan Brooks telah membahas berbagai latar belakang manajer fasilitas, banyak di antaranya 'bukan lulusan sekolah atau departemen manajemen fasilitas', dan menyarankan pengenalan pelatihan dan pendidikan khusus dalam FM. Meskipun latar belakang dan keterampilan diperlukan, manajer fasilitas perlu memahami cara orang beroperasi di gedung, cara gedung digunakan, dan cara memaksimalkan kinerja dan produktivitas gedung demi keuntungan organisasi dan masyarakat luas. Memang, manajer fasilitas memiliki peran besar dalam memajukan misi dan arah organisasi, serta agenda keberlanjutan, melalui praktik berkelanjutan FM yang berkelanjutan.

## 13.2 FM BERKELANJUTAN

### Pembangunan Berkelanjutan Dan Industri FM

Keberlanjutan menjadi semakin penting bagi pemerintah, organisasi bisnis, dan masyarakat luas. Uni Eropa dan Pemerintah Inggris terus-menerus memperkenalkan peraturan perundang-undangan baru yang memaksa industri konstruksi dan FM untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi emisi karbon. Di Inggris, bangunan menggunakan 45% energi yang dihasilkan untuk memberi daya dan memeliharanya, berbeda dengan 5% yang digunakan untuk membangunnya.

Selain itu, keterjangkauan dan keamanan pasokan energi dipertanyakan yang memiliki implikasi besar pada praktik FM yang berkelanjutan. Seperti yang dikatakan: 'Semua tujuan mulia ini untuk mengurangi konsumsi energi dan menjaga lingkungan dengan lebih baik memberikan manfaat yang jelas bagi pengelola fasilitas. Namun, mencapai tujuan ini lebih mudah diucapkan daripada dilakukan'.

Hal ini disebabkan oleh perbedaan antara kemampuan, pengetahuan, keterampilan, dan kemauan pengelola fasilitas untuk menerapkan keberlanjutan dalam bisnis mereka, dan fakta bahwa mereka sangat sering diberi mandat untuk mengelola fasilitas dengan biaya serendah mungkin. Kedua kecenderungan yang tidak sinkron ini mencegah disiplin FM menjadi lebih berkelanjutan. Keberlanjutan berfokus pada aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan sebagai tiga dasar utama untuk pembangunan berkelanjutan.

'Pembangunan berkelanjutan' memiliki banyak interpretasi dan banyak definisi. Definisi yang paling sering dikutip berasal dari Our Common Future, laporan Komisi Dunia untuk Lingkungan dan Pembangunan, yang juga dikenal sebagai Laporan Brundtland. Laporan tersebut menggambarkan pembangunan berkelanjutan sebagai 'pembangunan yang memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri'. Kesederhanaan definisi dari isu yang kompleks tersebut menimbulkan banyak kritik.

Manson dan Norton sepakat bahwa definisi tersebut tidak memiliki tujuan dan maknanya kosong, tetapi, di sisi lain, 'dapat berarti hampir apa saja bagi hampir semua orang'. Namun, konsep pembangunan berkelanjutan telah dihasilkan lebih dari 20 tahun sebelum Laporan Brundtland. Hubungan antara pembangunan ekonomi dan degradasi lingkungan pertama kali diungkapkan dan dimasukkan ke dalam agenda internasional pada tahun 1972 di Konferensi Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Lingkungan Hidup Manusia di Stockholm.

Sayangnya, ada sangat sedikit tanda-tanda implementasi praktis dari masalah lingkungan (upaya untuk meminimalkan penipisan lapisan ozon dan sumber daya alam, atau untuk memperlambat proses pemanasan global), dan situasi lingkungan terus memburuk meskipun ada kesadaran internasional dan permintaan untuk perubahan. Kini, fokus pada penggunaan sumber daya berkelanjutan semakin meningkat, seperti yang dianjurkan oleh Barton dkk yang menggunakan konsep manajemen aset strategis (SAM) sebagai prinsip panduan untuk penggunaan sumber daya strategis yang mencakup prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan secara ekologis untuk tujuan kualitas hidup.

Konstruksi berkelanjutan dan FM merupakan kendaraan penting untuk meminimalkan dampak terhadap lingkungan, menghasilkan limbah minimal selama proses konstruksi, dan menghasilkan bangunan hemat energi dan perawatan rendah. Inggris terus menangani masalah pembangunan berkelanjutan. Buku Putih tentang energi yang diterbitkan pada Februari 2003 menempatkan Inggris pada jalur untuk mengurangi emisi karbon dioksida hingga 60% sekitar tahun 2050, dengan kemajuan nyata terlihat pada tahun 2020.

Selain itu, tujuan lainnya meliputi: keandalan pasokan energi; promosi pasar yang kompetitif di Inggris dan sekitarnya sehingga laju pertumbuhan ekonomi berkelanjutan meningkat seiring dengan produktivitas; dan memastikan bahwa setiap rumah dipanaskan dengan cukup dan terjangkau. Pada bulan Maret 2005, Pemerintah Inggris meluncurkan strategi baru untuk pembangunan berkelanjutan yang disebut *Securing the Future*. Dokumen ini menyajikan serangkaian prinsip bersama yang akan membantu mencapai hal ini, dan menetapkan area tindakan prioritas yang dibagi di seluruh Inggris.

- Konsumsi dan produksi berkelanjutan.
- Perubahan iklim dan energi.
- Perlindungan sumber daya alam dan peningkatan lingkungan.
- Komunitas berkelanjutan.

Pemerintah Inggris telah lebih jauh menganjurkan agenda keberlanjutan dengan mengintegrasikan proses desain dan pengadaan. Semua proyek yang didanai publik harus menggunakan indikator kualitas desain (DQIs), atau yang setara, dan memenuhi standar BREEAM 'sangat baik'. Desain yang baik sangat penting untuk menghasilkan bangunan yang berkelanjutan; Namun, proses FM dan manajemen aset sedikit disinggung dengan menggunakan studi evaluasi pasca-hunian. Desain berkelanjutan yang baik dan FM yang efektif juga memiliki efek besar pada kesehatan dan kesejahteraan manusia.

Memang, semua konjungtur proses desain dan konstruksi dan masyarakat pada umumnya dengan jelas mengakui besarnya tugas dan wacana yang terpolarisasi dalam pencarian kita untuk keberlanjutan. Manajer fasilitas berada di garis depan jika desain dan



konstruksi berkelanjutan ingin terwujud; oleh karena itu, sangat penting untuk memahami persepsi keberlanjutan, tingkat komitmen saat ini terhadap agenda keberlanjutan, dan hambatan yang dirasakan terhadap FM yang menghasilkan bangunan berkelanjutan.

### **Kebutuhan Akan FM Yang Berkelanjutan**

Konsep FM yang berkelanjutan telah berkembang seiring dengan konsep menyeluruh pembangunan berkelanjutan dan meningkatnya apresiasi terhadap skala perubahan iklim yang diprediksi. Dengan pemerintah, baik di tingkat nasional maupun internasional, menggunakan regulasi untuk mengurangi emisi karbon dan mengelola permintaan, sebagian besar beban regulasi perlu diambil alih oleh manajer fasilitas di setiap tingkatan. Aspek utama FM berkelanjutan adalah kontribusinya dalam perang melawan perubahan iklim. Isu sosial, serta ekonomi, juga sedang dipertimbangkan dalam FM berkelanjutan. Bangunan adalah lingkungan tempat orang bekerja dan menghabiskan 90% waktunya di dalam ruangan.

Oleh karena itu, menciptakan lingkungan yang sehat dan kondisi kerja yang baik sangat penting untuk meningkatkan tingkat produktivitas karyawan, yang menguntungkan baik pemberi kerja maupun bisnis mereka. Mempekerjakan orang lebih mahal daripada memelihara dan mengoperasikan gedung, dan karena alasan ini 'mengeluarkan uang untuk meningkatkan lingkungan kerja mungkin merupakan cara yang paling hemat biaya untuk meningkatkan produktivitas'.

Kebutuhan akan FM yang berkelanjutan, dan bagi para manajer fasilitas yang terampil untuk menjalankan fungsi ini, karenanya terus berkembang, dan kebutuhan untuk mengembangkan cara kerja baru guna memenuhi kriteria keberlanjutan menjadi semakin penting. Para penggerak hadir untuk memenuhi tantangan penerapan kriteria pembangunan berkelanjutan pada pengelolaan fasilitas.

Ini mencakup siklus hidup fasilitas, dari desain dan konstruksi hingga pembuangan, tetapi sering kali dengan fokus yang kuat pada fase operasional di mana keberlanjutan dapat menjadi faktor dalam memelihara dan memperbaiki struktur fisik lokasi, memperoleh sumber daya berdasarkan kriteria keberlanjutan, dan memastikan bahwa hal ini meluas melalui rantai pasokan, meminimalkan limbah dan membuangnya secara bertanggung jawab, serta mengurangi permintaan energi.

Grimshaw mengusulkan pemahaman yang lebih baik tentang perubahan sosial, ekonomi, dan politik pada akhir abad kedua puluh, dan menganjurkan pendekatan manajemen perubahan terhadap hubungan yang berkembang antara organisasi, karyawan, dan fasilitas. Ia menyoroti perubahan yang mendalam dan perlunya lebih banyak apresiasi terhadap isu-isu yang memengaruhi FM. Kurangnya penyediaan profesional dan pelatihan ilmiah di seluruh tenaga kerja Inggris mungkin menjadi penghalang bagi pemahaman terkini tentang isu-isu FM secara umum, dan tidak diragukan lagi akan berdampak besar seiring dengan berkembangnya teknologi fasilitas berkelanjutan.

### **Tantangan Dan Hambatan Bagi FM Berkelanjutan**

Praktik FM tradisional memprioritaskan kehati-hatian finansial, efisiensi bisnis, dan pola kerja yang mapan di atas perubahan inovatif dan pemikiran kreatif. Target keberlanjutan pada perolehan, penggunaan, pembuangan, dan limbah sumber daya harus menjadi bagian



dari manajemen kinerja FM yang terampil dan terakreditasi, tetapi hal ini sering kali jauh dari kenyataan dalam organisasi yang sebagian besar fokusnya tetap pada finansial dan logistic.

Dalam praktiknya, hanya sedikit yang bertindak sebagai insentif bagi FM untuk merangkul keberlanjutan. Perubahan iklim dan fokus pemerintah yang berkembang pesat pada pengurangan emisi karbon menuntut inovasi, bukan konservatisme tradisional dan kepemimpinan yang baik di tingkat senior untuk mewujudkan perubahan budaya menganjurkan pendekatan manajemen proyek yang formal dan terencana untuk perubahan bertahap guna mewujudkan tujuan lingkungan, baik untuk mengatasi hambatan khusus industri maupun hambatan yang lebih umum.

Perubahan bertahap ini harus dikaitkan dengan dampak eksternal dan regulasi, yang memungkinkan organisasi mengelola perubahan mendasar dengan lebih baik. Pendelegasian kepada manajer fasilitas tidak disarankan, tetapi sekali lagi peran manajer senior dan strategis dalam memimpin proses manajemen perubahan diusulkan. Diversifikasi kewenangan FM juga mengakibatkan kurangnya waktu yang tersedia untuk mengatasi masalah keberlanjutan yang dianggap sebagai hambatan implementasi.

Namun, profesi FM telah memahami agenda perubahan dan bercita-cita untuk mengembangkan tujuan keberlanjutan praktis dalam industri yang berkembang pesat ini. Para penggerak mereka sekarang adalah untuk memenuhi tantangan penerapan kriteria pembangunan berkelanjutan pada pengelolaan fasilitas. Berbagai inisiatif sedang dibentuk untuk meningkatkan kesadaran akan praktik terbaik dalam industri dan menyediakan portal pengetahuan elektronik untuk berbagi informasi, yang memungkinkan para profesional untuk membangun keterampilan mereka di bidang ini.

Survei yang dilakukan pada bulan Mei 2022 (251 tanggapan) memberikan informasi tentang status pengetahuan teoritis dan praktis terkini di antara para profesional, dan mengidentifikasi area-area yang kekurangan alat praktis, panduan, dan informasi. Hasilnya menunjukkan bahwa kendala waktu, kurangnya pengetahuan, dan kurangnya komitmen manajemen senior merupakan hambatan utama untuk penerapan kebijakan dan praktik FM berkelanjutan yang konsisten dan komprehensif.

Penelitian ini menyimpulkan bahwa keragaman peran FM dan kurangnya penghargaan terhadap kontribusinya terhadap keberhasilan organisasi merupakan salah satu penyebab kurangnya keberhasilan dalam mencapai fasilitas berkelanjutan. Peran manajemen senior dalam memimpin FM berkelanjutan telah terdokumentasi dengan baik. Namun, sikap di antara para eksekutif senior saling bertentangan dan membingungkan: 60% memandang perubahan iklim sebagai hal penting dalam strategi keseluruhan perusahaan mereka, sementara hampir 70% menganggapnya sebagai masalah utama pencitraan merek dan reputasi.



**Gambar 13.1** Halaman Beranda Portal Pengetahuan Keberlanjutan Dalam Pengelolaan Sumber Daya Alam

Para manajer senior di organisasi yang lebih besar menunjukkan keterlibatan yang lebih sedikit, sementara para manajer di organisasi yang lebih kecil, yang kemajuannya cenderung terhambat oleh kendala keuangan, menunjukkan pemahaman yang lebih baik. Kendala yang sangat besar bagi praktik FM berkelanjutan adalah kurangnya pemahaman, fokus, dan komitmen para eksekutif senior dalam menghargai peluang, ancaman, dan kebutuhan akan kepemimpinan dan arahan strategis dalam mendorong perubahan penting, dan dengan demikian memajukan agenda keberlanjutan.

Selain survei tahunan, panduan praktik yang baik untuk FM berkelanjutan juga dibuat, bersama dengan portal pengetahuan Gambar 13.1 menunjukkan beranda portal pengetahuan. Portal ini berisi studi kasus praktis, artikel, dan tautan ke berbagai sumber informasi yang membahas perubahan iklim dan keberlanjutan secara umum, serta praktik pengelolaan sumber daya alam berkelanjutan secara khusus.

### 13.3 BANGUNAN CERDAS DAN INFORMATIKA FM

#### Peran Bangunan Cerdas Dalam FM

Para profesional FM telah sepenuhnya memahami peran yang dapat dimainkan oleh bangunan cerdas dalam menyediakan aset dan FM yang berkelanjutan. Penekanan yang muncul pada keberlanjutan ini menggabungkan fokus konvensional pada penyesuaian FM dengan tujuan strategis organisasi dan memaksimalkan kepuasan dan produktivitas penghuni.

Namun, para profesional FM dihadapkan pada tantangan asimetri informasi antara desain dan operasi, bersama dengan kesenjangan pengetahuan yang terus-menerus dalam hal hubungan antara praktik FM dan hasil yang berkelanjutan. Saat ini tidak ada alat yang terbukti untuk membantu pencapaian tujuan keberlanjutan, khususnya perbandingan dan indikator kinerja utama. Ada juga peningkatan pengakuan atas pengaruh pengguna akhir dan perilaku

penghuni terhadap konsumsi energi.

Sistem FM cerdas modern seperti sistem manajemen gedung terpadu (IBMS) dan FM berbantuan komputer (CAFM) mengenali hal ini dan mengumpulkan umpan balik, tidak hanya dari sistem gedung, tetapi juga dari penghuninya. Lebih jauh lagi, kemajuan dalam teknologi digital dan informatika, persyaratan bagi penghuni untuk mengendalikan lingkungan sekitar, dan perdebatan tentang keberlanjutan telah sangat merangsang minat dan penerapan yang lebih luas dari pendekatan terpadu yang dibutuhkan untuk gedung cerdas dan FM berkelanjutan, dengan mempertimbangkan nilai seumur hidup.

Temuan terbaru dari studi kasus mengarah pada dua pendekatan penting dan saling melengkapi untuk mencapai FM berkelanjutan: pengelolaan perilaku pengguna, dan sistem pemantauan dan kontrol cerdas. Telah dibuktikan juga bahwa tindakan efektif untuk mengurangi emisi karbon mengharuskan pengguna gedung untuk terlibat dalam proses dan fasilitas operasi. Ini berarti bahwa penghuni gedung lebih mungkin untuk berbagi tanggung jawab atas rencana pengelolaan karbon.

Yang tidak terpisahkan dari ini adalah kebutuhan untuk pemantauan penggunaan energi yang terperinci dan terperinci untuk memberikan umpan balik yang relevan. Hal ini perlu dikomunikasikan dengan cara yang mudah dipahami dan bermakna, untuk menunjukkan kepada pengguna dan manajemen hasil tindakan mereka, dan untuk memungkinkan pengambilan keputusan yang tepat tentang langkah-langkah efisiensi yang efektif. Sistem kontrol otomatis yang cerdas kemudian dapat digunakan secara konsisten untuk mempertahankan langkah-langkah yang diadopsi.

Penerapan teknologi digital dan informatika yang inovatif, termasuk teknologi komunikasi, dengan cepat diterapkan di FM untuk memenuhi kebutuhan penghuni. Sistem manajemen fasilitas (FMS) adalah jenis sistem teknologi informasi (TI) yang menyediakan sistem manajemen untuk gedung, dan lebih khusus lagi untuk IBMS yang dirancang. Penggabungan kecerdasan melalui TI membuat FM jauh lebih inovatif daripada FM konvensional. Ada berbagai penelitian yang sedang berlangsung untuk mengembangkan platform gedung cerdas yang mengintegrasikan BMS dan FMS pada jaringan area lokal serta memanfaatkan web di seluruh dunia (internet).

Transmisi data, melalui saluran telepon, kabel serat optik atau uplink satelit, memungkinkan integrasi teknologi sensor dan pemantauan; Sistem manajemen data yang memanfaatkan kontrol proses dan komunikasi data secara maksimal dikenal secara umum sebagai 'bangunan cerdas'. Satu-satunya karakteristik yang dimiliki semua bangunan cerdas adalah desain terstruktur untuk mengakomodasi perubahan dengan cara yang nyaman dan hemat biaya. Kompleksitas pemahaman konsep bangunan cerdas dan hubungannya dengan FM semakin diperburuk dengan ditemukannya definisi yang sesuai untuk FM.

Seperti bangunan cerdas, FM masih baru dan tidak memiliki definisi yang seragam. Baik Himanen maupun Clements-Croome merujuk pada korelasi yang dibuat antara bangunan cerdas dan kontribusi nilai, di mana beberapa bangunan membuat pernyataan yang jelas dan khas tentang organisasi yang ditempatinya dan dengan demikian menciptakan identitas merek yang jelas. Di sinilah FM berperan dalam manajemen strategis aktivitas non-inti yang berkaitan

dengan orang, proses, dan tempat.

Manajemen strategis yang tepat memastikan penyediaan ruang dengan biaya terendah dan hunian dengan kepadatan tertinggi sekaligus mencapai tujuan keberlanjutan yang lebih luas. FM terpadu adalah kombinasi bangunan cerdas dengan FM, termasuk pemanfaatan CAFM. CAFM dan Sistem Manajemen Energi Bangunan (BEMS) lainnya adalah alat untuk mendiagnosis, memantau, dan menyebabkan aktuasi pada aset, khususnya yang terkait dengan layanan energi dan konsumsi energi di sebuah gedung.

Pemikiran strategis adalah tentang mengantisipasi dan mengelola perubahan, untuk memprediksi kebutuhan fasilitas di masa mendatang, dan untuk mengembangkan strategi yang akan memungkinkan respons yang tepat waktu, khususnya dalam mengurangi emisi karbon dioksida di gedung-gedung. Jika alat CAFM ingin memanfaatkan keberlanjutan, sangat penting alat tersebut bekerja pada tingkat FM perkotaan, menyatukan semua jenis bangunan (komersial, pertokoan, hiburan, dan perumahan) dengan semua layanan dan infrastruktur perkotaan.

Lebih jauh lagi, CAFM ini penting untuk infrastruktur dan bangunan demi ketahanan. Alat tersebut memungkinkan berbagi informasi, peringatan dini, dan alarm jika terjadi bencana lingkungan (banjir, badai) atau masalah sosial (kepadatan penduduk atau kerusakan), atau jika terjadi kerusakan sistem seperti pipa air atau gas yang pecah. Saat ini tidak ada sistem CAFM yang menyediakan fungsionalitas terintegrasi tersebut.

Dinyatakan bahwa penerapan semua jenis CAFM dan BEMS sangat penting untuk memajukan tujuan keberlanjutan dalam FM, terutama karena manajer fasilitas berada di garis depan dalam mencapai tujuan organisasi untuk mengurangi konsumsi energi dan dengan demikian berkontribusi lebih lanjut terhadap pengurangan emisi karbon dioksida dari bangunan. Meskipun sangat penting untuk memanfaatkan bangunan cerdas demi keberlanjutan, komitmen manajemen senior dan pemberdayaan profesional FM dan pengguna akhir bangunan secara keseluruhan sangat penting untuk mencapai tujuan lingkungan organisasi.

### **Penerapan Bangunan Cerdas Dan Informatika Dalam FM**

Selama 20 tahun terakhir banyak bangunan berbeda telah diberi label 'cerdas'. Namun, penerapan kecerdasan dalam bangunan belum memberikan potensi sebenarnya. Industri memiliki banyak solusi bangunan cerdas yang mapan tetapi merasa sulit untuk menunjukkan dan membuktikan manfaatnya. Bangunan cerdas yang berkelanjutan meningkatkan nilai bisnis karena memperhitungkan kebutuhan lingkungan dan sosial, serta kesejahteraan penghuni, yang mengarah pada peningkatan produktivitas kerja.

Sistem yang ideal menghubungkan bangunan, sistem di dalamnya, dan penghuninya sehingga mereka memiliki sejumlah kendali pribadi. Kendali cerdas membantu mencocokkan pola permintaan. BMS yang terintegrasi memungkinkan sistem yang terpisah untuk bekerja sama. Kinerja bangunan dapat lebih ditingkatkan dengan strategi kendali cerdas yang menggunakan teknologi yang sudah ada dan yang sedang berkembang.

Sistem kendali dan jaringan komunikasi berkembang pesat dan, dalam waktu dekat, orang dapat berharap untuk melihat penghuni memiliki lebih banyak kendali atas dan

berinteraksi dengan bangunan dan sistemnya.

Dengan menggunakan jaringan sensor nirkabel untuk mengukurnya dan kemudian memproses datanya, gambaran dinamis tentang keadaan sebenarnya dari lingkungan dalam ruangan dapat dihasilkan. Namun, bagaimana penghuni menanggapi pola perubahan faktor-faktor ini? Reaksi subjektif juga perlu dinilai melalui kuesioner, audit, atau buku harian indra untuk mencatat kepuasan dan kesejahteraan indra penghuni.

Data yang dikumpulkan memungkinkan pengelola fasilitas untuk meningkatkan kondisi penghuni, dan individu untuk memahami bagaimana tubuh dan pikirannya bereaksi dalam berbagai kondisi lingkungan. Orang-orang perlahan-lahan mempelajari pola konsumsi energi mereka karena sistem manajemen data internet mulai tersedia untuk tempat tinggal domestik dan juga untuk jenis bangunan lainnya. Mengembangkan strategi ruang kerja yang efektif adalah kunci untuk tempat kerja yang produktif dan untuk bangunan yang memenuhi target kinerjanya.

Jenis strategi ruang kerja dapat sangat bervariasi tergantung pada bangunan dan organisasi yang dinilai; strategi ini dapat mencakup variabel seperti risiko bagi penghuni, kebutuhan akan peralatan khusus, peringkat pemangku kepentingan, dan rencana bisnis strategis. Strategi tempat kerja juga dapat bervariasi jika FM bertanggung jawab di seluruh departemen. Manajemen ruang telah menjadi isu yang semakin penting bagi banyak organisasi, dan dipengaruhi oleh elemen operasional lainnya seperti keberlanjutan, pengoperasian, produktivitas, kepuasan, dan kinerja keseluruhan.

Namun, kecil kemungkinan bahwa suatu organisasi telah sepenuhnya menerapkan solusi manajemen ruang yang efektif yang meresmikan serangkaian indikator kinerja utama (KPI) yang komprehensif ini. Penelitian yang dilakukan oleh Investment Property Databank untuk Office of Government Commerce (OGC) menyediakan kerangka kerja kinerja untuk sebuah bangunan yang mencakup produktivitas, keberlanjutan, dan pengoperasian sebagai 'efektivitas bangunan', bukan 'efisiensi bangunan', dan yang mencakup biaya per karyawan penuh waktu per meter persegi.

Elemen-elemen ini diberi bobot dengan skor yang dapat dijadikan tolok ukur di seluruh bangunan lainnya. Meskipun ini merupakan metode perbandingan yang efektif, metode ini tetap bergantung pada FM yang menafsirkan data dari sebuah bangunan dengan benar, dan tidak mencakup elemen-elemen penting lainnya seperti kepuasan penghuni, elemen lingkungan terperinci, dan kemampuan beradaptasi.

Selain itu, metode ini tidak menyediakan tindakan korektif apa pun kepada manajer fasilitas, dan merupakan alat terbatas untuk membandingkan data dengan data untuk bangunan lain, yang dapat sangat bervariasi dan mungkin memerlukan perhatian yang berbeda.

### **Munculnya Pemodelan Informasi Bangunan**

Pemodelan informasi bangunan (BIM) adalah proses pembuatan dan pengelolaan data bangunan selama siklus hidup bangunan. BIM menggunakan perangkat lunak pemodelan bangunan dinamis tiga dimensi dan waktu nyata untuk meningkatkan produktivitas dalam desain dan konstruksi bangunan dan FM. BIM dapat digambarkan sebagai desain dan

konstruksi virtual dengan prasyarat kolaborasi BIM dapat digunakan untuk menunjukkan seluruh siklus hidup bangunan, termasuk proses konstruksi dan pengoperasian fasilitas.

Kuantitas dan sifat material yang sama dapat diekstraksi dengan mudah; lingkup pekerjaan dapat diisolasi dan didefinisikan; sistem, rakitan, dan urutan dapat ditampilkan dalam skala relatif, dengan seluruh fasilitas atau sekelompok fasilitas. Tidak diragukan lagi bahwa pemodelan parametrik berbasis objek memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap kemunculan BIM.

Ada banyak alat desain, analisis, pemeriksaan, tampilan, dan pelaporan yang dapat berkontribusi pada BIM sebuah bangunan, seperti Revit, Bentley Systems, ArchiCAD, Digital Project, Architectural Desktop (aplikasi berbasis AutoCAD), Tekla Structures, DProfiler, dll. Banyak komponen informasi dan jenis informasi yang dibutuhkan untuk sepenuhnya merancang, mengembangkan, dan membangun sebuah bangunan. Alat-alat BIM yang dipertimbangkan di sini hanyalah yang terbaru dari beberapa generasi alat, tetapi mereka juga terbukti revolusioner dalam pengaruhnya.

Pemodelan parametrik berbasis objek menyelesaikan banyak masalah mendasar dalam arsitektur dan konstruksi, dan membuka jalan bagi transisi yang mudah dan bermanfaat bagi mereka yang berada di industri ini telah melaporkan beberapa hasil langsung menjadi pengurangan kesalahan gambar karena model bangunan pusat, penghapusan desain dan gambar yang berulang, penghapusan kesalahan karena gangguan spasial dan ambiguitas desain, dan basis data data pusat. Ada berbagai tantangan yang dihadapi industri terkait adopsi BIM, termasuk pelatihan, implementasi yang efektif, dan pemahaman tentang teknologi dan potensinya.

Mendesain di dunia modern adalah tentang desain-bangun dan proyek konstruksi jalur cepat, yang menuntut kolaborasi erat antara pelaku desain dan konstruksi serta FM. Keadaan industri saat ini dalam hal menggabungkan teknologi BIM menimbulkan tantangan sekaligus memberikan peluang untuk pencapaian. Teknologi BIM memberikan perubahan paradigma baru dalam cara bangunan dirancang, dibangun, dan dirawat. Perubahan paradigma ini menyerukan pemikiran ulang kurikulum untuk mendidik para profesional bangunan, secara kolektif.

#### **13.4 SISTEM EVALUASI PASCA-HUNIAN CERDAS (IPOE)**

Teknik evaluasi pasca-hunian (POE) telah banyak digunakan untuk menilai kinerja fasilitas. Ini adalah alat yang sangat diperlukan bagi profesional FM. Presiser menggambarkan POE sebagai proses mengevaluasi bangunan secara sistematis dan ketat setelah dibangun dan ditempati selama beberapa waktu. Penilaian dilakukan dengan mengumpulkan dan menghimpun data menggunakan umpan balik penghuni tentang lingkungan kerja mereka. Metode yang digunakan meliputi kuesioner, wawancara, dan lokakarya.

POE memang memberikan ukuran kinerja fasilitas, belajar dari keberhasilan dan kegagalan. Selain itu, POE dapat digunakan untuk menetapkan indikator kinerja utama dan perbandingan, baik untuk aset maupun untuk industri secara keseluruhan. Namun, berbagai studi kasus yang menggunakan POE menunjukkan bahwa bangunan tidak berkinerja sesuai



dengan desain sebagai akibat dari fragmentasi konstruksi Lebih jauh lagi, POE saat ini dapat mahal dan memakan waktu.

Dinyatakan bahwa terdapat kekurangan pendekatan multimetodologi menyeluruh dari POE yang didukung oleh metodologi rekayasa dan ilmu sosial serta metode-metode yang berasal dari psikologi yang membantu memengaruhi dan menginformasikan perilaku penghuni (misalnya teori perilaku terencana dan motivasi kesempatan kemampuan). Pendekatan multimetodologi sangat penting untuk memajukan keberlanjutan, melalui pemahaman dan memungkinkan interaksi penghuni yang efektif dengan bangunan; hasil terbaru menunjukkan bahwa suatu organisasi dapat mengurangi konsumsinya hingga 25% dengan memengaruhi perilaku penghuni.

Kemajuan teknologi digital menyediakan cara maju untuk mengembangkan POE cerdas, khususnya penggunaan sensor, pengukuran cerdas dan subpengukuran, BMS, dan CAFM. Memang, ada permintaan tinggi untuk pengembangan alat POE cerdas dan diagnostik analitis guna menilai kinerja aset atau tempat kerja. Pengembangan alat semacam itu penting, karena dapat digunakan pada tahap desain strategis bangunan dan tahap pascahunian.

Alat ini akan menyediakan panduan dan langkah-langkah perbaikan untuk desain dan perencanaan aset guna meningkatkan produktivitas pengguna akhir. Algoritma pengoptimalan ruang tingkat lanjut (ASOA), sebagai perangkat lunak mandiri, telah dikembangkan, yang memungkinkan pengelola fasilitas menyesuaikan ruang secara efektif dengan KPI terpilih dalam ruang kerja terkait. Elemen penting dari perangkat lunak ASOA adalah fitur yang memungkinkan penghuni mengomunikasikan evaluasi mereka sendiri, mirip dengan pengujian POE, kembali ke FM, tetapi secara cerdas dan terus-menerus.

POE dapat memberikan indikator utama dalam proses peningkatan kualitas yang melibatkan pelanggan dalam menentukan prioritas mereka dan menilai kepuasan mereka terhadap hasilnya. Dengan menggunakan iPOE, penghuni dapat mengomentari sejumlah faktor di dalam gedung, komentar yang paling terperinci terkait dengan lingkungan mereka dan rencana pergerakan mereka sepanjang hari melalui antarmuka buku catatan harian yang memungkinkan mereka merencanakan paket kerja harian dan pergerakan mereka di seluruh gedung, seperti pemesanan ruang rapat, penggunaan aset, dan waktu masuk/keluar. Antarmuka ini juga memungkinkan penghuni untuk melihat status terkini layanan gedung yang ditentukan oleh FM.

Terdapat kurangnya kesadaran penghuni gedung tentang operasi FM; merupakan anggapan umum bahwa FM sering kali hanya dikenali jika terjadi kegagalan layanan gedung, ketika pengeluaran operasional melebihi targetnya dan ketika kinerja gedung gagal memenuhi harapan. Dengan memberikan informasi terperinci tentang layanan gedung, pemangku kepentingan selalu mengetahui kesalahan, dll. yang mungkin terjadi dan perkiraan waktu yang diperlukan untuk memperbaikinya, dan dengan demikian yakin bahwa gedung dipelihara dengan sukses secara konsisten. Cuplikan layar yang ditunjukkan pada Gambar 13.2, menunjukkan rancangan antarmuka yang diusulkan untuk bagian status layanan gedung dan arsitektur fungsional perangkat lunak ASOA. Daftar di sisi kiri menampilkan jenis layanan gedung yang ingin dikomunikasikan FM kepada penghuninya; item baru dapat ditambahkan

atau dihapus jika perlu. Kotak di sisi kanan menampilkan peringkat terkini menggunakan spektrum lampu lalu lintas untuk mencerminkan skor layanan terkini. Setiap layanan dapat dipilih untuk menunjukkan penilaian yang lebih terperinci, beserta kesalahan terkini dan pembaruan kesalahan.

Dalam sebuah laporan yang diterbitkan oleh British Council for Offices (BCO, 2007) dikemukakan bahwa kecerdasan gedung tingkat lanjut dapat meningkatkan produktivitas penghuni hingga 10% per tahun, dan meningkatkan efisiensi untuk memenuhi kebutuhan pemilik dan penghuni. Sebaliknya, kecerdasan gedung standar dapat meningkatkan efisiensi hingga 8% per tahun dan menghasilkan pengembalian modal dalam waktu 2–4 tahun. Dalam daftar layanan, kesegaran gedung, peringkat keberlanjutan, dan kinerja keseluruhan juga dicantumkan. Ini adalah pendekatan yang memungkinkan penghuni untuk lebih sadar diri akan kinerja keberlanjutan kantor mereka sendiri agar dapat berbagi akuntabilitas atas emisi karbon gedung mereka. Peringkat keberlanjutan dihitung dari emisi energi gedung saat ini. Selain itu, disarankan juga agar kinerja gedung secara keseluruhan (kombinasi dari produktivitas, kepuasan, keberlanjutan, penggunaan ruang, dan kualitas udara) ditampilkan kepada para pemangku kepentingan.

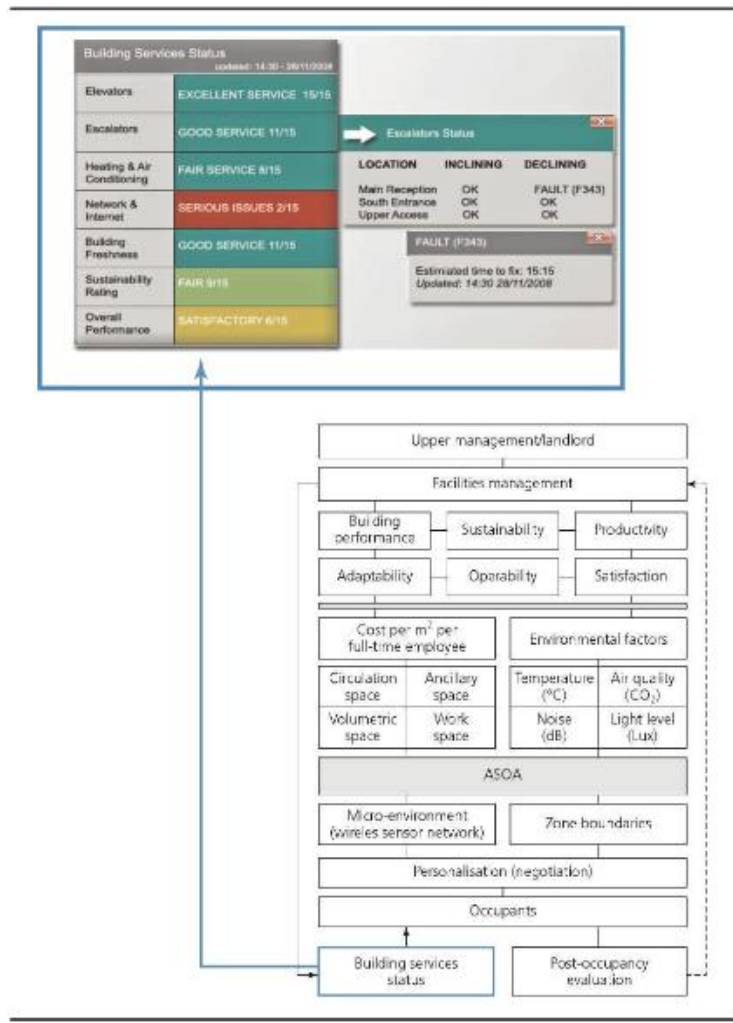
Ini dihitung dari skor yang dicapai dalam perhitungan ASOA yang dikombinasikan dengan hasil dari iPOE dalam proses personalisasi. Metrik, KPI, dan perbandingan sedang dikembangkan untuk membantu para profesional FM mengukur dan mengurangi dampak sumber daya dari penyediaan layanan dan penggunaan produk dengan bekerja sama dengan rantai pasokan mereka. Metrik dan KPI harus realistis dan dapat dicapai untuk kontrak yang ada dalam konteks peningkatan berkelanjutan (BCO, 2007). Metrik yang mungkin termasuk:

- Mengurangi penggunaan energi operasional (kilowatt-jam kw h) dan dampaknya terhadap karbon setara (CO<sub>2</sub>e) (ton)
- Mengurangi karbon yang terkandung (ton CO<sub>2</sub>e)
- Mengurangi penggunaan air operasional (meter kubik)
- Mengurangi limbah (ton)
- Mengurangi penggunaan material (ton)
- Nilai material yang dibeli, digunakan, dan dibuang (£)
- Biaya pengelolaan sumber daya (£)
- Manfaat ekonomi dan sosial.

Namun, terdapat variasi dalam KPI dan perbandingan di tingkat bangunan, organisasi, dan industri. Misalnya, konsumsi energi ditetapkan sebesar 100–500 kW h/m<sup>2</sup>, yang merupakan rentang yang luas dan mencerminkan perlunya perbaikan yang pragmatis dan berkelanjutan. Demikian pula, nilai dalam rentang 18–208 kW h/m<sup>2</sup> untuk penggunaan listrik dan 79–140 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> untuk emisi CO<sub>2</sub> juga digunakan.

Tidak diragukan lagi, iPOE akan memberikan peluang untuk meningkatkan pengukuran kinerja bangunan dengan mengumpulkan data dan informasi instan dalam format basis data. Akses FM ke basis data tersebut akan menawarkan peluang untuk menyediakan KPI dan perbandingan yang kuat yang dapat diterapkan secara luas di seluruh industri FM, serta industri konstruksi, terutama pada tahap desain.





**Gambar 13.2 Tangkapan Layar Antarmuka ASOA, Menampilkan Status Layanan Gedung Kepada Penghuni Dan Arsitektur Fungsional ASOA**

### 13.5 KESIMPULAN

Terdapat kritik yang meningkat terhadap industri konstruksi dan FM dalam hal fragmentasinya. Oleh karena itu, ada tekanan yang meningkat pada kedua industri untuk berubah ke arah kolaborasi guna memajukan tujuan keberlanjutan. FM merupakan profesi yang berkembang dan merupakan pasar yang cukup besar. Profesional FM merupakan penjaga gedung, dan oleh karena itu berada pada posisi yang tepat untuk tidak hanya memberikan hasil dalam hal mencapai misi dan arah strategis suatu organisasi, tetapi juga untuk mewujudkan keberlanjutan.

Berbagai alat terus dikembangkan untuk memungkinkan para profesional FM mencapai tujuan keberlanjutan yang luhur. Berbagai alat tersebut memanfaatkan peluang yang ditawarkan oleh perkembangan dan penerapan teknologi digital dan gedung pintar yang pesat dalam upaya tersebut.

Penggunaan BMS, CAFM, dan studi POE yang inovatif akan memberikan informasi dan

interaksi yang diperlukan untuk memanfaatkan peran penghuni dalam berkontribusi pada penyediaan FM dan lingkungan binaan yang berkelanjutan secara keseluruhan. Meningkatnya adopsi BIM selanjutnya akan memberikan, sebagian, solusi menuju desain terpadu dan praktik FM untuk keberlanjutan. Namun, penting untuk memberikan semua profesional di lingkungan binaan dengan pelatihan dan pendidikan berbasis pengembangan keterampilan terpadu yang konsisten dan koheren.

## **BAB 14**

### **PERUBAHAN BUDAYA HIDUP DAN KERJA: FISIK DAN VIRTUAL**

Bab ini menanggapi evolusi teknologi, budaya, dan desain yang muncul dari penyebaran dan penanaman teknologi informasi dan komunikasi (TIK) yang sedang berlangsung. Dengan menggambarkan peningkatan virtualitas dan kelincihan dalam operasi, dan pelepasan yang sesuai dari kebutuhan akan banyak aktivitas yang terikat tempat, bab ini membahas implikasi untuk lokasi dan sifat bangunan dan infrastruktur, serta kebutuhan dan beban yang harus dilayaninya.

Dengan menegaskan kembali pandangan penulis bahwa bangunan cerdas baik yang baru maupun yang didaur ulang mendukung aktivitas penghuni, bab ini berpendapat untuk penelitian empiris guna mengidentifikasi kebutuhan pengguna dan memasukkannya ke dalam ringkasan untuk konsepsi, desain, dan pengelolaan lingkungan binaan yang efektif. Mengingat meningkatnya perhatian terhadap lingkungan, bab ini melihat melampaui skala bangunan individual ke kriteria berkelanjutan untuk kota cerdas.

Dengan mengenali dampak individual dan kolektif, bab ini mencari dasar untuk mengkorelasikan biaya dan nilai dalam kinerja bangunan yang produktif, melalui strategi seperti multiguna. Dengan merujuk pada keberlanjutan, kecepatan dan sifat perubahan yang bercabang, serta keharusan untuk ketahanan versus fleksibilitas, buku ini memperingatkan terhadap kekhususan yang berlebihan dalam desain.

Dengan mempertimbangkan tantangan praktis dalam menyelaraskan keterlibatan kehidupan dan pekerjaan, bab ini berfokus pada kebutuhan untuk integrasi dalam pemrograman kuantitas dan desain ruang antara domain kehidupan, modalitas virtual dan fisik, distribusi spasial fasilitas dan skala. Buku ini mengusulkan pertimbangan aktif terhadap kinerja siklus hidup dan potensi masing-masing dari pembangunan dasar dan penataan bangunan untuk mengoptimalkan pertemuan agenda yang kompleks ini.

#### **14.1 TEKNOLOGI DAN PENGATURAN TERDISTRIBUSI**

Selama kurun waktu di mana istilah 'bangunan cerdas' telah digunakan, budaya hidup dan bekerja telah berubah secara drastis. Dalam edisi pertama buku ini, bab ini mengidentifikasi tren budaya utama yang memengaruhi persyaratan pengguna, dan implikasi untuk desain dan manajemen bangunan. Kini, hampir satu dekade kemudian, teknologi data dan komunikasi disebarluaskan secara luas dan tertanam dalam, sehingga sulit untuk mengingat sejauh mana aktivitas yang terikat tempat dan ketetapan waktu terkait yang baru-baru ini begitu meluas.

Pergeseran yang meningkat drastis ke modalitas tangkas memiliki implikasi signifikan bagi hubungan kontemporer banyak aktivitas. Hal ini terbukti secara luas di seluruh sektor ekonomi dan budaya dan domain kehidupan, termasuk pemasaran dan penjualan, sumber produk, pengadaan, belanja, bekerja, pendidikan, kesehatan dan perawatan lansia, layanan

profesional, tata kelola, dan keterlibatan masyarakat.

Pergeseran ini pada gilirannya memengaruhi sifat, ukuran, dan lokasi lingkungan tempat aktivitas terjadi. Oleh karena itu, mereka memiliki implikasi yang kuat bagi lingkungan binaan lokasi dan distribusi spasial bangunan dan infrastruktur, dan beban fisik yang dilayaninya. Teknologi yang mudah diakses juga mendorong otonomi pribadi; dan selera dan preferensi gaya individu sekarang mewakili pengaruh budaya yang kuat yang membentuk bangunan dan lingkungan.

#### **14.2 LEBIH BANYAK TEKNOLOGI VERSUS TEKNOLOGI RENDAH**

Terlepas dari konteks keseluruhan pemberdayaan teknologi yang kuat, bab ini masih berlandaskan pada pandangan 'teknologi rendah' yang diajukan penulis di awal tahun 2000-an, bahwa bangunan cerdas baik yang dirancang baru atau didaur ulang selaras untuk mendukung aktivitas pengguna. Variabel independen dari bangunan cerdas adalah penggunaannya yang efektif. Kriteria ini berlaku terlepas dari motivasi finansial yang umumnya mendorong proyek pembangunan. Jika ruang yang dibangun ingin mengoptimalkan kapasitas kinerja utamanya, aspirasi dan persyaratan pengguna harus tercermin dalam cara bangunan dirancang, dirancang, dan dikelola.

#### **14.3 KEBUTUHAN KOLEKTIF: KEBERLANJUTAN LINGKUNGAN**

Pergeseran mendalam paralel sejak edisi pertama buku ini adalah intensifikasi agenda lingkungan, karena prospek perubahan iklim dan kebutuhan mitigasi yang diakibatkannya telah meningkat dan tumbuh dalam pengakuan sosial. Meskipun pengaruh lingkungan pada pendekatan terhadap desain dan pengelolaan lingkungan yang dibangun telah beragam, dan bisa dibilang lebih lambat dari ideal, dekade terakhir telah melihat kebijakan dan praktik untuk mempromosikan tindakan yang lebih jinak dan hemat sumber daya.

Telah ada fokus terpadu untuk merancang, membangun, dan mengoperasikan secara lebih berkelanjutan pada skala bangunan, dan saat ini ada minat yang meningkat dalam desain dan operasi berkelanjutan pada skala kota. Sejak dimulainya bangunan cerdas pertama sebagai konsep dan kemudian sebagai bidang subjek pendekatan praktisi dan ilmiah telah mengakui signifikansi sosial dan global dari pendorong lingkungan, dengan fokus pada pertimbangan yang mendukung.

Tahun-tahun berikutnya telah melihat berbagai pengaruh yang mempromosikan desain dan manajemen bangunan lingkungan, yang secara beragam didasarkan pada niat baik, kekuatan pasar, dan regulasi. Langkah-langkahnya berkisar dari produk hijau dengan daya tarik etis, melalui pelabelan energi, indikator bangunan dan sistem akreditasi, hingga persyaratan wajib pada praktik seperti isolasi.

Mengingat kekuatan keharusan lingkungan saat ini, penulis memperlakukan kebutuhan masyarakat yang bersyarat untuk desain dan manajemen yang bertanggung jawab terhadap lingkungan sebagai bagian integral dari pendekatan yang berguna untuk bangunan cerdas. Peran individu dalam transisi ke penggunaan bangunan dan kota yang lebih berkelanjutan bergantung pada dorongan dan koordinasi, serta regulasi, untuk mencapai pengurangan

agregat yang signifikan dalam dampak lingkungan yang negatif.

### **Cakupan**

Oleh karena itu, bab yang direvisi ini membahas bagaimana kebutuhan individu dan kolektif dapat secara sistematis diperhitungkan dalam lingkungan binaan. Tujuannya adalah untuk membangun dasar guna mendefinisikan kinerja bangunan dengan cara yang produktif secara sosial, serta menginformasikan, meninjau, dan mengulangi strategi desain terhadap agenda manusia yang bertujuan. Hal ini relevan di semua tahap proyek utama, tidak terkecuali dalam mengevaluasi hasil.

### **Mengoptimalkan Desain Untuk Perubahan Sosial Yang Cepat**

Masalah utama menyangkut antarmuka antara tren budaya dan potensi bangunan untuk meresponsnya. Mengingat laju perubahan saat ini yang dinamis, orang mungkin berpendapat bahwa bangunan cerdas adalah bangunan yang dirancang untuk selaras dengan rentang hidup kebutuhan dan preferensi budaya yang dirancang untuk didukungnya. Hal ini dapat ditafsirkan secara sempit, menghasilkan bangunan yang secara tepat dicakup pada pernyataan persyaratan tertentu, atau ditafsirkan secara luas untuk melayani kebutuhan yang ditetapkan secara luas yang dinilai tahan lama dan konsisten.

Berdasarkan tantangan prediksi yang sejalan dengan perhatian terhadap penggunaan sumber daya yang efisien, pandangan yang berkelanjutan mendukung desain yang tahan lama. Terlepas dari pertanyaan tentang apa yang tahan lama, bagaimanapun, ketahanan saja tidak cukup sebagai kriteria penentu untuk bangunan cerdas.

Lebih jauh, jika diterapkan secara tidak kritis, ketahanan dapat menjadi kontraproduktif, karena spesifikasi yang melibatkan tingkat redundansi yang tinggi untuk mencakup kemungkinan penggunaan potensial bertentangan dengan pengadaan cerdas. Yang dibutuhkan adalah 'tahan lama plus ramping' dalam kombinasi. Ketahanan masa depan yang fleksibel berdasarkan pendekatan ini merupakan desain cerdas secara ekonomi, lingkungan, dan sosial.

### **Perubahan Teknologi Dan Budaya: Disjungsi Dari Kekhususan Yang Berlebihan**

Menebak-nebak daya tahan pastilah keputusan yang tidak tepat; kemungkinan yang tidak terduga dan kesalahan penilaian pasti akan terjadi. Tantangan dalam menyelaraskan desain bangunan dan tren budaya diilustrasikan dengan memetakan perubahan bertahap yang dapat terjadi selama periode 25 tahun. Sementara kecepatan dan jangkauan perubahan semakin intensif dengan penyematan dan penyebaran teknologi yang berkelanjutan, interaksi kompleks antara TIK, modalitas operasional, dan ruang yang dibangun sudah terlihat dalam dua dekade dinamis menjelang penerbitan awal buku ini.

Analisis itu tetap bersifat instruktif. Versi Mark I dari bab ini ditulis pada tahun 2003; komputer pribadi pertama kali diperkenalkan ke lingkungan kantor pada awal tahun 1980-an, yang menandai perubahan besar dalam perilaku orang-orang, termasuk cara menggunakan gedung. Perkembangan TIK berikutnya terutama dalam data seluler, komunikasi, dan aplikasi internet telah lebih jauh memengaruhi, dan terus memengaruhi, banyak aspek kehidupan dan pekerjaan.

Namun, budaya tempat kerja dan cara pengoperasian era PC awal berperan dalam

kontinum temporal yang melibatkan rentang waktu 25 tahun yang sama dengan bangunan yang dibangun pada paruh kedua tahun 1950-an. Hal ini menunjukkan potensi disjungsi antara desain bangunan dan persyaratan pengguna, terlebih lagi jika desain terlalu spesifik secara budaya atau terikat waktu. Intinya diperbesar dengan pengakuan bahwa gestur bangunan sering kali memiliki jangkauan mundur yang panjang.

Dalam contoh yang sedang dibahas, potensi kurangnya kesesuaian antara ruang yang dibangun dan penggunaannya terkait dengan akomodasi modalitas yang timbul dari revolusi TI, pada bangunan yang dirancang sebelum akhir tahun 1950-an. Kasus yang menjadi pokok bahasan mengenai kekhususan desain dan perubahan persyaratan pengguna adalah tinggi penampang. Dengan munculnya PC dan ketergantungan awal pada kabel konvensional untuk melayaninya, tinggi bersih menjadi kendala yang menantang penggunaan bangunan yang berkelanjutan.

Persyaratan untuk lantai yang ditinggikan dan langit-langit yang ditanggihkan memaksa munculnya masalah apakah bangunan lama dengan tinggi lantai-ke-langit-langit bersih 2,6 m dapat digunakan secara efektif, dan untuk tujuan apa. Pengenalan kabel datar dan teknologi nirkabel selanjutnya membuat tinggi bagian dari tahun 1950-an atau 1960-an tidak lagi menjadi kendala, sehingga membuka ruang lingkup baru untuk penerapan bangunan yang efektif dari era tersebut.

Namun, baik budaya maupun bangunan bersifat multivariat. Selama periode antara sejak penyebaran PC, dan khususnya pada akhir tahun 1990-an dan 2000-an, norma untuk tinggi kantor yang jelas di kantor mulai meningkat menjadi 2,75 m dan kemudian lebih tinggi lagi, sehingga 'praktik yang lebih baik' sekarang melibatkan ketinggian 2,8–3,0 m. Hal ini terkait dengan penetrasi cahaya matahari serta faktor pengalaman dalam penggunaan bangunan, seperti aspek eksternal, pemandangan internal, dan kualitas spasial.

Dengan paparan pengalaman spasial alternatif, preferensi budaya berubah pada gilirannya, sehingga kondisi baru dalam hal ini, tinggi bagian yang lebih tinggi menjadi norma tersendiri. Penyesuaian dengan preferensi pengguna yang terbukti baik untuk lingkungan yang 'terang dan lapang' dan rasa keterbukaan dalam membangun interior mendukung aspek desain cerdas ini dengan dasar pemikiran dan kosakata yang kini juga bersifat kultural, bukan hanya teknis.

#### **14.4 PERUBAHAN DALAM PEKERJAAN, PERUBAHAN DI TEMPAT KERJA**

TIK juga telah membawa jenis pekerjaan baru, proses dan alur kerja baru, cara baru dalam mengatur orang, dan banyak jenis bisnis baru. Perubahan terkait dalam budaya sosial, organisasi, dan komersial diarahkan untuk kemudahan komunikasi dan kelincihan dalam pengoperasian, mendorong persyaratan penghuni untuk pelat lantai yang lebih dalam untuk mengakomodasi tim besar yang terlihat oleh rekan kerja dalam pengaturan rencana terbuka, dan mudah dikonfigurasi ulang sebagai respons terhadap peluang yang berkembang.

Jika kondisi ini dicari, bangunan dengan kedalaman dangkal memiliki efektivitas yang rendah. Hal ini membatasi utilitas bangunan lama dengan pelat lantai sempit, terlepas dari kriteria lain seperti tinggi penampang yang mungkin relevan. Namun transformasi budaya

bersifat multi-utas, dan perubahan bersamaan lainnya menghasilkan tuntutan alternatif.

Bila sebuah gedung bertingkat dengan pelat lantai sempit mungkin tidak sesuai untuk ditempati oleh perusahaan besar, gedung tersebut dapat menjadi bangunan yang berguna sebagai ruang asrama untuk populasi mahasiswa yang bertambah, sebagai tempat tinggal untuk peningkatan jumlah rumah tangga, sebagai kamar hotel yang melayani ekonomi pariwisata yang berkembang, atau untuk bisnis yang cocok untuk unit ruang kecil di lokasi yang disukai termasuk perusahaan rintisan di bidang usaha baru yang dimungkinkan oleh TIK.

Secara kolektif, perubahan-perubahan ini menunjukkan interaksi yang kompleks antara perubahan sosial dan struktur bangunan. Poin-poin pentingnya adalah bahwa perubahan terjadi secara serentak di banyak bidang, dan bahwa perubahan-perubahan yang tampaknya terpisah sering kali saling terkait dan saling bereaksi. Oleh karena itu, penting untuk melihat perubahan budaya hidup dan bekerja secara holistik, dan untuk desain cerdas guna mendorong penggunaan yang berkelanjutan, melalui ruang lingkup untuk beradaptasi dengan evolusi dalam profil dan persyaratan hunian.

#### **14.5 INDIVIDUALISME DAN PEROMBAKAN ORGANISASI**

Di antara tren nyata dalam evolusi budaya terkini, munculnya otonomi individu dan pilihan pribadi adalah yang paling menonjol. Poros dari pergeseran ini adalah globalisasi teknologi dan ekonomi, yang menghadirkan berbagai barang dan jasa yang belum pernah ada sebelumnya dalam lingkup individu dari segala usia, di hampir semua tingkat ekonomi, dan di banyak lokasi.

Bukti akses ini ada di mana-mana: dalam komputasi yang disebarluaskan, perangkat seluler, dan peralatan televisi, makanan beku, cepat saji, dan yang dapat dipanaskan dalam microwave, dan pilihan yang tersedia dalam bahan pakaian, bacaan, mendengarkan, dan menonton. Tren ini diidentifikasi dalam edisi pertama bab ini, dan didukung dengan data sebelumnya; karena ketersediaan barang-barang konsumen dan sumber daya teknologi telah meningkat sejak saat itu, pokok bahasan tersebut ditegaskan kembali di sini, dengan mengacu pada data yang lebih baru.

TIK memberi peluang bagi orang untuk memasuki dan berpartisipasi dalam kegiatan ekonomi tanpa hambatan alat produksi yang padat modal. Sekarang ada peluang yang luas bagi orang untuk bekerja secara independen dari karier linier dalam pekerjaan suatu organisasi. 'Pekerjaan portofolio' memungkinkan orang untuk beroperasi secara independen dan dalam jaringan dengan intensitas, durasi, dan loyalitas timbal balik yang bervariasi.

Dengan para peserta memasukkan diri mereka sendiri ke dalam organisasi besar dengan cara yang selektif dan terfokus sebagai pekerja paruh waktu, pembagi pekerjaan, afiliasi, pembuat jaringan, kontraktor, dan 'konsultan' struktur organisasi menjadi lebih permeabel. Tren sosial dan teknologi juga telah membuat organisasi kurang hierarkis. Layanan mandiri yang dipromosikan oleh TIK telah berdampak pada kelompok sekretaris dan pengetikan; pertumbuhan dalam layanan relatif terhadap manufaktur telah berdampak pada pekerjaan kerah biru dalam kedua kasus menyebabkan penurunan, dan hilangnya banyak keterampilan khusus.

Ruang lingkup lain telah muncul setelahnya. Pengembangan teknologi yang berkelanjutan, seperti munculnya pencetakan 3D, menandai perubahan yang sebelumnya tidak terduga dalam simpul-simpul produksi secara ekonomi, sosial, dan lokasi, yang menghadirkan peluang untuk partisipasi aktif dalam akses langsung bagi individu yang sebelumnya tidak dapat mengaksesnya.

#### **14.6 KORELASI BANGUNAN**

Wilayah pilihan pribadi mencakup ekspektasi kontemporer yang meluas akan lingkungan bangunan yang relevan dan menyenangkan. Ini mencakup lokasi yang akan dikunjungi orang dengan senang hati, bentuk bangunan, kualitas spasial dalam interior bangunan, kondisi lingkungan internal yang nyaman sebaiknya dengan kendali pengguna, dan fasilitas di lokasi seperti rak sepeda dan pancuran. Ekspresi desain juga semakin penting secara dramatis.

Meningkatnya kesadaran merek yang terkait dengan meningkatnya konsumerisme, penyebaran teknologi yang berpusat pada visualisasi dan manipulasi gambar, dan liputan media yang membahas desain telah mendorong minat yang meluas pada gambar, tampilan, dan nuansa. Kita semua sekarang adalah desainer, Individualisme mendukung etos desain yang permeabel dan ramah, sementara struktur organisasi yang lebih datar telah menghasilkan norma desain bangunan yang lebih inklusif; misalnya, standar perusahaan sebelumnya tentang ruang makan siang yang berbeda menurut peringkat organisasi sekarang sudah sangat ketinggalan zaman.

##### **Pekerjaan Jarak Jauh, Berpindah-Pindah, Dan Interaktif**

Paradigma teknologi yang mengubah kemampuan bekerja dan berkomunikasi tanpa ikatan fisik ke lokasi tertentu telah memicu cara-cara baru dalam penggunaan ruang. Sementara platform tempat aktivitas dan transaksi dilakukan terus mengalami transformasi aktif atau 'pergeseran saluran', aktivitas jarak jauh dan koneksi virtual kini menjadi modalitas operasional yang mapan. Hal ini memiliki implikasi signifikan terhadap perubahan permintaan berkenaan dengan fasilitas yang sudah ada seperti gerai ritel dan kantor, serta untuk lingkungan baru dan distribusi spasialnya.

Implikasi terhadap jalan-jalan utama di Inggris menjadi perhatian utama pada awal tahun 2013, dengan wacana aktif tentang faktor budaya yang didorong oleh teknologi yang berperan dalam kegagalan rantai ritel yang sudah lama ada. Akibat dari operasi yang fleksibel adalah sejauh mana orang bekerja di tempat lain selain di stasiun kerja atau di gedung tempat mereka bekerja, sebagai gantinya memilih tempat-tempat seperti pusat konferensi atau kedai kopi, atau ruang kolaborasi dan area proyek di gedung tempat kerja.

Di era di mana banyak pekerjaan berbasis informasi atau pengetahuan dan di mana spesialisasi sangat menjadi ciri khas, nilai tambah dicari dari pemupukan silang yang produktif antara orang-orang yang dapat berbagi ide dan informasi tentang produk, layanan, dan pasar. Oleh karena itu, ruang yang memfasilitasi interaksi menjadi semakin penting.



## 14.7 ANGGARAN RUANG INTERNAL

Sudah terlihat sebelum pergantian milenium, pergeseran budaya dalam jenis ruang yang disukai orang ini terus memengaruhi profil dan anggaran ruang dalam periode sejak saat itu. Meningkatnya pekerjaan keliling dan jarak jauh sebagian diakomodasi oleh ruang lingkup untuk bekerja di rumah, tercermin dalam definisi ulang konsep dan infrastruktur ruang hunian dari 'rumah' menjadi 'tinggal-kerja' atau 'kantor-rumah'. Tren ini juga telah memunculkan kategori baru tempat 'tempat ketiga', yang didefinisikan sebagai tempat yang berbeda dari rumah atau tempat kerja konvensional.

Sifat tempat ketiga juga merupakan operasi pihak ketiga yang tidak mengharuskan pengguna maupun organisasi mereka untuk memilikinya. Sebagai kedai kopi, perpustakaan, dan pusat bisnis, tempat-tempat tersebut tersebar luas, sehingga memberikan akses yang mudah di banyak lokasi. Lokasi yang strategis memang menjadi faktor utama yang menarik penggunaan tempat ketiga tertentu, yang kemudian membuat pengguna menilai tempat-tempat ini berbeda dari rumah dan karakteristiknya sebagai lingkungan sosial, yang keduanya mereka laporkan sebagai hal yang memotivasi.

Faktor sosial fitur tempat ketiga yang umum paling jelas terlihat dalam tren lingkungan 'kerja bersama' dan 'kerja sama'. Penggunaan yang kini diakomodasi di tempat ketiga di luar kantor terjadi seiring dengan fokus yang diperluas pada pengaturan kolaboratif yang relatif terhadap ruang untuk kerja solo di dalam gedung tempat kerja. Kedua faktor tersebut selanjutnya mendorong transposisi dalam anggaran ruang kantor, dari ruang individual ke ruang interaktif.

Penyusutan ruang menghindari pemborosan yang terlibat dalam rendahnya tingkat pemanfaatan yang biasanya dikaitkan dengan tingkat kerja jarak jauh dan keliling saat ini dan peningkatan penggunaan pengaturan kolaboratif daripada pengaturan individual di tempat kerja. Model efisiensi ruang yang membahas hal ini menyediakan ruang berdasarkan kehadiran pengguna, bukan sebagai hak atas ruang kerja yang dialokasikan terlepas dari penggunaan sebenarnya.

Strategi semacam itu cerdas dalam menghindari pemborosan melalui ruang berlebih dan utilitas untuk melayaninya, dan efek demotivasi yang diidentifikasi penelitian dari pemanfaatan ruang yang rendah. Pemanfaatan yang lebih baik berkontribusi pada tujuan lingkungan dengan cara lebih jauh, dengan menghasilkan lebih sedikit bangunan dan lebih sedikit perjalanan di antara keduanya, sehingga mengurangi energi yang terkandung dan jejak karbon. Penghematan finansial bagi penghuni yang proaktif dalam menyelaraskan ruang dengan kebutuhan aktual dapat menjadi sangat signifikan.

## 14.8 Mendukung dan Mengukur Strategi Ruang Baru

Tren ruang kerja yang tidak dialokasikan untuk penggunaan bersama berdasarkan 'kebutuhan aktual' telah menyebabkan perkembangan terkait untuk mendukung koordinasi ruang yang lancar. Aplikasi perangkat lunak telah dikembangkan untuk 'hotelling', yang memungkinkan pengguna untuk memesan ruang di gedung sesuai jenis, dengan kedekatan dan fasilitas, pada saat itu, dan untuk durasi yang mereka butuhkan. Peran manajemen

fasilitas baru telah berkembang untuk petugas dan koordinator ruang, untuk mengelola pembagian ruang oleh gelombang pengguna yang terus berubah.

Memang, model bisnis baru telah muncul, menggunakan alat daring sebagai dasar untuk menginformasikan ruang yang tersedia, menerima reservasi, dan menerima pembayaran untuk pemesanan ruang tepat waktu yang disesuaikan dengan preferensi pengguna. Banyak organisasi kini menghargai manfaat signifikan dari mengoptimalkan permintaan, teknologi, kuantitas, dan jenis ruang, bagi orang-orang yang didukung teknologi untuk mencapai kinerja bangunan yang produktif.

Namun, hubungan timbal balik tersebut rentan terhadap perubahan di setiap untaian komponen. Oleh karena itu, manajemen sumber daya yang cerdas memerlukan pemantauan berkelanjutan dan perhatian proaktif berkala untuk menyelaraskan penyediaan dan penggunaan. Realitas baru penggunaan ruang dan pergeseran terkait dalam profil ruang memiliki implikasi untuk metrik ruang yang informatif dan bermanfaat.

Ukuran tradisional area internal bersih/stasiun kerja berkaitan dengan kapasitas statis; ini merujuk pada efisiensi tata letak, dengan relevansi yang berkelanjutan tetapi hanya sebagian diberikan pada penggunaan banyak bangunan yang lebih bertekstur dan bervariasi saat ini. Metrik alternatif mencerminkan ruang lingkup yang sekarang diberikan TI bagi orang-orang untuk terhubung dari jarak jauh: khususnya, stasiun kerja/pengguna adalah ukuran 'kepadatan dinamis' yang mencerminkan penggunaan yang gesit.

Ini merujuk pada kapasitas untuk mendukung populasi pengguna yang gesit atau sebagian gesit, dengan mengakui bahwa semua pengguna potensial jarang jika pernah hadir secara bersamaan. Dan mengingat penekanan baru pada pengaturan interaktif, kursi/pengguna yang mencakup semua pengaturan internal masih merupakan indeks kapasitas yang lebih komprehensif.

### **Integrasi Kehidupan Kerja**

Pengaruh budaya lebih lanjut adalah fokus kontemporer pada kehidupan kerja; ini sejalan dengan penekanan pada otonomi pribadi. Sementara domain pekerjaan, rumah, dan waktu luang diperlakukan secara terpisah selama sebagian besar abad kedua puluh, minat saat ini dalam integrasi mencerminkan perhatian individu, organisasi, dan pemerintah untuk fleksibilitas dan pengurangan stress dan ruang lingkup teknologi sekarang memungkinkan untuk terlibat dalam konten yang berkaitan dengan domain pekerjaan, keluarga, atau waktu luang saat secara fisik berada di salah satu dari berbagai macam pengaturan yang terkait dengan domain lain.

Melengkapi rumah orang dengan teknologi informasi dan komunikasi untuk memungkinkan kerja jarak jauh memberikan fasilitasi penting. Namun, keharusan yang dirasakan secara luas untuk bekerja jauh dari rumah memicu permintaan untuk bekerja secara terdistribusi secara spasial, di tempat ketiga yang terpisah dari, tetapi dekat dengan, rumah. Ini menggabungkan fleksibilitas lokasi yang diberikan oleh TIK dengan ruang yang mudah dijangkau dari rumah.

Penelitian menunjukkan serangkaian manfaat yang saling terkait: memudahkan interaksi antara pekerjaan dan keluarga, menjaga keseimbangan antara pekerjaan dan

kehidupan, dan memungkinkan pekerjaan yang produktif. Tanggapan lain adalah merancang lingkungan tempat kerja dengan infrastruktur untuk mendukung kebutuhan pribadi dan waktu luang. Fasilitas seperti pusat kebugaran dan tempat cuci kering di gedung tempat kerja kini sudah umum; fasilitas lain kurang tersedia: tempat penitipan anak di tempat kerja, pusat pijat dan kecantikan, pengiriman ke tempat penyimpanan berpendingin di tempat kerja setelah memesan bahan makanan secara daring.

Dalam hampir semua kasus, fasilitas tersebut memengaruhi manajemen ruang dan fasilitas. Tempat kerja dengan skala yang mendukung tingkat penyediaan pelengkap ini pasti besar; biasanya tempat kerja tersebut merupakan hasil dari program konsolidasi, yang efeknya yang sering menyertai adalah peningkatan perjalanan ke lokasi yang dimaksud. Penelitian menunjukkan bahwa jarak tambahan yang terlibat dan tantangan terkait dalam memenuhi tanggung jawab dalam ranah pribadi dan rumah tangga dapat membebani minat dan energi pengguna untuk bepergian secara teratur ke lokasi tersebut.

#### **14.9 RUANG SERBAGUNA**

Secara keseluruhan, dorongan budaya untuk integrasi kehidupan dan pekerjaan menggarisbawahi tren yang menjauh dari bangunan dan distrik monofungsional demi penggunaan yang lebih beragam. Hal ini membutuhkan inovasi dalam perencanaan, desain, pembiayaan, kepemilikan, dan pengelolaan Gedung. Pembangunan pembangunan penggunaan campuran baru merupakan evolusi penting sejak edisi pertama buku ini, dibuktikan baik pada skala perkotaan, seperti di King's Cross Central London, maupun pada skala bangunan, melalui bangunan inovatif seperti Kings Place.

Campuran aktivitas yang sukses dan kaya dalam bangunan ini menantang penolakan lama terhadap berbagai penggunaan fungsional dan konstituen pengguna dalam satu bangunan. Kings Place memfasilitasi hal ini melalui visi dan konsep yang selaras dengan budaya, desain yang disempurnakan, dan pendekatan konstruktif terhadap pengelolaan fasilitas.

##### **Apa Yang Membuat Ruang Menarik Dan Desain Yang Tahan Lama?**

Bagaimana desain bangunan dapat menanggapi agenda sosial ini di mana banyaknya pengguna bangunan sebagai individu menjadi dominan? Kinerja bangunan dari perspektif penghuni dan jenis pengguna lainnya dapat diteliti secara sistematis; ini adalah inti dari studi pasca-penghunan, atau memang penelitian yang dilakukan pada setiap tahap penggunaan bangunan. Biasanya pembelajaran tersebut menginformasikan strategi ke depan secara khusus dan umum, berdasarkan data yang mengidentifikasi kinerja efektif dan ruang lingkup untuk perbaikan lebih lanjut melalui pembelajaran kumulatif di seluruh studi serial.

Penelitian sistematis mengidentifikasi faktor-faktor yang secara konsisten memengaruhi penggunaan bangunan dan lingkungan perkotaan oleh masyarakat secara positif dan negatif. Faktor-faktor tersebut melibatkan aspek desain tertentu, yang memberikan pengaruhnya baik secara terpisah maupun dalam kaitannya dengan komponen lainnya. Secara individual maupun bersama-sama, faktor-faktor tersebut membentuk dan mendukung pengalaman masyarakat.

Dalam kelompok terkait, faktor-faktor tersebut dapat diringkas di bawah tajuk yang dikenali oleh pengguna sebagai faktor yang memengaruhi mereka: pengaturan eksternal yang dapat digunakan dan terasa menyenangkan; kemudahan koneksi antara ruang eksterior dan interior; identitas dan rasa tempat yang relevan; arsitektur yang menunjukkan 'makna' naratif tanpa kendali preskriptif; dan berkelanjutan dalam arti yang menyeluruh nyaman, aman, dan menghindari pemborosan.

Kualitas spasial sangat penting bagi pengguna bangunan; matahari, cahaya, dan bayangan merupakan sumber daya yang relevan untuk tujuan estetika, serta merupakan faktor lingkungan yang memerlukan optimalisasi fungsional untuk kenyamanan internal dan penggunaan sumber daya yang efisien. Masyarakat menghargai animasi dari rute dan ruang yang direncanakan dan saling berpotongan secara efektif yang memeriahkan jalannya penggunaan bangunan mereka, dan dari perawatan permukaan yang memperkaya dan menawarkan stimulasi.

Semua ini juga dapat berkontribusi pada desain bangunan yang mempromosikan keterbacaan, komunitas, kepastian, dan keamanan. Penelitian yang efektif mengidentifikasi faktor-faktor penyusun yang memengaruhi pengalaman pengguna, menyediakan basis bukti untuk menginformasikan desain cerdas yang mendukung kebutuhan dan minat orang, tanpa pemborosan yang tidak semestinya.

#### **14.10 DESAIN YANG EFEKTIF DAN PRODUKTIVITAS**

Pertanyaan tentang manfaat produktivitas yang berkaitan dengan bangunan dan lingkungan yang 'dirancang dengan lebih baik' memicu serangkaian penelitian dan perdebatan di awal tahun 2000-an. Tidak mengherankan, dengan banyaknya variabel desain dan kombinasi yang terlibat, pengukuran dan verifikasi objektif terbukti menantang.

Pencarian tersebut diperparah oleh fakta bahwa lingkungan yang dibangun tidak sendirian dalam memengaruhi kinerja manusia dan organisasi, sehingga bahkan ketika dampak elemen desain dapat diukur secara konsisten secara terpisah dan dalam kombinasi, elemen-elemen ini beroperasi bersamaan dengan banyaknya faktor ekonomi, sosial, dan manajemen dalam memengaruhi keluaran dan hasil.

Meskipun demikian, ada banyak bukti proyek yang telah dilakukan berdasarkan pandangan bahwa desain yang lebih baik akan meningkatkan kinerja penghuni. Kepercayaan pada 'holy grail' ini telah memengaruhi tindakan dalam pengadaan gedung tempat kerja dibuktikan dalam pengajuan penghuni untuk penghargaan British Council for Offices (BCO), sekolah berdasarkan pandangan bahwa anak-anak dididik secara lebih efektif di ruang yang dirancang dengan baik yang disukai siswa, rumah sakit mencerminkan pandangan bahwa tingkat pemulihan ditingkatkan dalam lingkungan yang dirancang dengan baik yang disukai pasien serta lingkungan penahanan,

Di mana ruang yang memberikan tampilan dan nuansa yang lebih menyenangkan dilaporkan membuat operasi lebih tenang dan mudah. Seperti yang diidentifikasi untuk berbagai tipologi bangunan lainnya, faktor desain yang kondusif dalam lingkungan penahanan meliputi pengenalan cahaya dan warna alami. Penelitian penulis sendiri dengan staf yang

bekerja di lingkungan tahanan untuk evaluasi pasca-penghunan kantor polisi oleh ZZA, membahas tipologi ini, baik sebagai lingkungan operasional garis depan maupun tempat kerja personel yang terlibat di sana.

### **Biaya Dan Nilai**

Pertanyaan yang sering muncul adalah mengenai biaya untuk menyediakan ruang yang lebih menarik, yang mana tanggapan terhadapnya adalah pandangan bahwa 'desain yang bagus tidak memerlukan biaya lebih' telah berkembang. Apakah desain yang lebih baik sebenarnya hanya memerlukan lebih banyak pemikiran di awal, atau apakah desain tersebut juga melibatkan bahan dan konstruksi yang lebih mahal? Jawabannya jelas 'tergantung'.

Contoh yang diteliti seperti Abbey Mills Pumping Station menunjukkan bahwa komitmen yang terfokus pada kualitas desain dan manajemen biaya dapat menghasilkan keunggulan desain yang sejalan dengan pengurangan biaya yang menunjukkan bahwa hubungan yang meluas antara rekayasa nilai dan lapisan negatif 'kekejaman' tidak perlu melekat. Lebih jauh lagi, sementara setiap proyek mendapat manfaat dari kejelasan strategi desain dan ringkasan, ada keadaan di mana masukan yang lebih mahal bahan, dimensi, antarmuka, dan/atau aspek konstruksi lainnya dapat lebih mendukung tujuan proyek, dan di mana kompromi tidak akan optimal.

Contoh Kings Place menunjukkan bagaimana proporsi yang besar dan bahan-bahan berkualitas tinggi dapat berkontribusi pada hasil bangunan yang sesuai dengan aspirasi ringkasan. Dalam kasus ini, volume spasial dan penyempurnaan pengaturan atrium yang dapat diakses publik pada bangunan tersebut telah menghasilkan lingkungan tempat berbagai konstituen penghuni dan pengunjung yang sangat kontras menggunakan ruang dan hidup berdampingan dengan pengguna lain, dengan penuh rasa hormat.

'Fokus pada orang' yang menjadi dasar bab ini membantu dalam memperjelas jalur tersebut. Rasio 1 : 5 : 200 mengacu pada masing-masing biaya penyediaan bangunan, pengoperasiannya selama 25 tahun, dan aktivitas yang ditampungnya selama periode tersebut. Ini jelas merupakan aturan praktis: biaya pembangunan bervariasi menurut lokasi, nilai tanah dan jenis bangunan, dan biaya aktivitas bervariasi menurut sektor dan lokasi, tetapi urutan besarnya menunjukkan biaya pertama versus nilai yang disediakan oleh akomodasi selama masa pakai bangunan.

Atas dasar ini, seseorang mungkin berpendapat bahwa, dengan biaya pengadaan bangunan dibandingkan dengan biaya aktivitas di dalam bangunan yang relatif rendah, ada alasan untuk membuat bangunan lebih menarik bagi pengguna, bahkan jika biayanya lebih mahal daripada desain dasar atau yang kurang 'direkayasa'. Pendekatan ini diakui dalam fokus pada minimalisasi nilai daripada biaya dalam pengadaan sektor publik Inggris, sebagai pengganti prioritas otomatis terhadap biaya minimum yang berlaku hingga akhir tahun 1990-an.

Pengakuan nilai seumur hidup selanjutnya dipromosikan oleh Prakarsa Keuangan Swasta dan skema pengadaan serupa, di mana kontrak melibatkan pihak yang menyediakan bangunan juga mengelolanya selama jangka waktu 25 tahun atau yang serupa. Ketentuan ini berkontribusi pada kesadaran industri bahwa solusi biaya terendah dapat terbukti lebih mahal

daripada alternatif dengan biaya awal yang lebih tinggi selama jangka waktu kontrak. Faktor-faktor yang berperan adalah ketahanan, pemeliharaan, dan manajemen fasilitas, dan mengingat luasnya perubahan fisik yang mungkin diperlukan jika pengguna tidak puas dengan ketentuan awal perbaikan untuk menyelaraskan akomodasi dengan persyaratan dan harapan pengguna.

#### **14.11 SIKLUS HIDUP BANGUNAN**

Mengingat kecepatan perubahan dan potensi sifat sementara dari tren budaya, bagaimana keutamaan dalam memenuhi kepentingan pengguna dapat dipadukan dengan pendekatan cerdas terhadap desain bangunan? Dengan menyadari kenyataan dalam merancang, mendanai, dan membangun lingkungan binaan, bab ini mengasumsikan umur bangunan 25 tahun sebagai minimum cerdas.

Perlu dicatat bahwa dengan nilai tanah yang sangat tinggi, misalnya, di London dan Hong Kong, bangunan secara teratur dihancurkan untuk pembangunan kembali dalam periode tersebut karena penggunaan lokasinya dapat ditingkatkan, seperti di Kings Place London atau karena spesifikasinya menyimpang dari persyaratan yang berkembang, seperti pada fase awal pembangunan Broadgate London.

Di tempat lain, bangunan dihancurkan setelah umur pakainya pendek karena kualitas konstruksinya gagal bertahan secara efektif. Agenda yang mendorong strategi pembangunan dan faktor teknis yang memengaruhinya memiliki banyak segi dan kompleks. Pendekatan cerdas mendapat manfaat dari pengakuan pengaruh ini; untuk mencapai hasil yang produktif dan berkelanjutan, mereka berfokus pada pengoptimalan nilai hasil relatif terhadap masukan.

#### **Penataan Sebagai Arena Untuk Mengakomodasi Perubahan Budaya Jangka Pendek**

Banyak elemen desain bangunan yang paling terlihat oleh pengguna bangunan dan yang berinteraksi langsung dengan mereka, disampaikan sebagai bagian dari penataan interior. Ini mencakup rentang pengaturan internal yang kini diperluas yang telah dijelaskan. Keuntungan untuk pengadaan adalah kemudahan relatif di mana elemen penataan dapat disesuaikan atau diganti, sedangkan bangunan dasar memiliki masa pakai lebih dari 3,5 kali lebih lama. Masa pakai penataan yang lebih pendek memfasilitasi banyak hal yang dapat dicapai untuk memenuhi kebutuhan pengguna yang terus berkembang.

#### **Potensi Khusus Dari Selubung**

Namun, aspek yang lebih longgar yang lebih rentan terhadap perubahan budaya tidak memperhitungkan semua aspek pengalaman membangun yang penting bagi pengguna. Secara khusus, kondisi kualitas spasial dan lingkungan yang secara konsisten ditunjukkan penelitian sebagai pusat pengalaman pengguna bergantung pada desain bangunan dasar. Hal ini ditekankan ketika yang diinginkan adalah bangunan yang bergantung pada sistem pasif. Sementara penataan menghadirkan beberapa peluang untuk mengurangi dampak negatif yang berasal dari desain bangunan dasar, selubung bangunan menawarkan ruang lingkup yang khas untuk memberikan manfaat yang penting dan berkelanjutan ini.

#### **Masukan Pengguna Untuk Ringkasan Proyek**

Mengingat pilihan dan keselarasan yang semakin dicari orang untuk ruang yang mereka

gunakan, tidaklah efisien untuk memulai proyek pembangunan tanpa visi yang berasal dari dan terkait dengan pengguna bangunan. Ini bukan pengganti keahlian profesional; pengarahan yang efektif tidak menyerahkan desain kepada pengguna, tetapi melibatkan pengguna aktual atau tipikal untuk menetapkan tuntutan fungsional yang akan dibuat dari bangunan dan pengalaman utama yang dicari darinya. Menyusun ringkasan strategis dengan mengacu pada kebutuhan dan aspirasi yang diungkapkan pengguna memerlukan fasilitasi yang terampil.

Metode yang digunakan meliputi kuesioner, wawancara, lokakarya, observasi dan pemantauan penggunaan yang ada, serta wawasan yang imajinatif dan terinformasi mengenai ketahanan masa depan dan penciptaan nilai. Persyaratan penting adalah membantu orang dalam membayangkan kemungkinan yang berada di luar pengalaman mereka saat ini. Pengetahuan dan penilaian yang cukup besar terlibat di pihak para profesional yang memimpin proses pengarahan untuk mendapatkan masukan yang berguna dan menerjemahkannya menjadi ringkasan desain.

#### **14.12 EVALUASI PASCAHUNIAN**

Pengetahuan dan penilaian yang diperlukan untuk memimpin proses pengarahan dan menyaring hasilnya menjadi persyaratan proyek diperoleh dari evaluasi sistematis bangunan yang telah selesai. Pengetahuan ini harus mencerminkan berbagai perspektif pengguna. Persyaratan utama evaluasi pascahunian adalah data yang terstruktur dan sistematis. Pengumpulan berbagai sudut pandang pada setiap sistem bangunan, atau rangkaian elemen, yang dievaluasi oleh sampel representatif pengguna bangunan, merupakan alternatif yang kuat untuk informasi anekdotal selektif yang sering dianggap sebagai umpan balik pengguna.

Pentingnya pengetahuan yang diperoleh dengan cara ini mudah dikenali ketika seseorang memperhatikan bahwa pengguna mungkin menyuarakan komentar ramah kepada seorang arsitek atau manajer proyek yang berjalan melalui suatu ruang, pada saat yang sama sejumlah besar mungkin mengalami masalah akomodasi yang bermasalah yang mereka anggap sia-sia atau merasa terlalu canggung untuk disebutkan. Evaluasi bangunan yang menyeluruh dan berorientasi pada pembelajaran dari sudut pandang pengguna dapat menguji berbagai elemen dan kondisi bangunan yang memengaruhi penggunaan akomodasi oleh orang-orang.

Ini mungkin memerlukan sebanyak 150 variabel terpisah yang dicakup oleh sistem bangunan, termasuk: kedatangan dan masuk, sirkulasi, udara, pencahayaan, akustik, kualitas spasial, dan tampilan dan nuansa. Jalur penelitian yang sistematis, elemen demi elemen, dan sistem demi sistem, yang menggabungkan pandangan pengguna, menghasilkan pengetahuan desain tentang kondisi yang berkinerja baik atau dapat diterima oleh pengguna bangunan, serta yang tidak memenuhi standar.

Karena spesifikasi cerdas harus menghindari redundansi yang tidak semestinya dan pemborosan yang terkait, pembelajaran ini bersifat instruktif untuk desain yang berkelanjutan. Dengan mengidentifikasi di mana desain dan spesifikasi yang ada telah melampaui harapan dan persyaratan pengguna, dan di mana kondisi yang dicapai sudah mencukupi, evaluasi



pasca-hunian dapat membantu menginformasikan tingkat spesifikasi yang tepat. Peneliti menggunakan skala yang bervariasi untuk mengukur respons pengguna.

Untuk menginformasikan pembelajaran dan tindakan, perbedaan penting adalah antara aspek yang pengguna anggap berkinerja positif, aspek yang mereka terima sebagai memuaskan, dan aspek yang mereka nilai berkinerja negatif. Diskriminasi tiga arah ini berguna untuk menginformasikan intervensi yang relevan setelah evaluasi pasca-hunian, dan perbandingan berikutnya setelah tindakan apa pun yang ditunjukkan oleh temuan studi telah diterapkan. Data tersebut juga menginformasikan perbandingan dengan respons pengguna terhadap bangunan lain.

Pendekatan terstruktur ini memberikan dasar rasional untuk memandu desain dan manajemen bangunan, memungkinkan fokus pada aspek yang dinilai pengguna sebagai kekurangan atau bermasalah, dan menghindari 'perubahan demi perubahan' yang tidak perlu demi evolusi yang paling relevan bagi pengguna. Studi berturut-turut dengan pengguna gedung perkantoran telah menunjukkan aspek yang sama muncul secara negatif dari berbagai evaluasi.

Dengan mendaftarkannya sebagai prioritas desain untuk pengembangan, pemodelan, dan pra-pengujian alternatif yang diusulkan, ketidakpuasan pengguna dengan sistem seperti kualitas udara, pencahayaan, akustik, dan sirkulasi internal dapat diprioritaskan dalam agenda desain. Bekerja dengan klien yang telah mengadopsi pendekatan strategis ini, penulis telah melacak peningkatan yang dihasilkan dalam penilaian pengguna pada proyek-proyek selanjutnya, dengan sebagian besar aspek pencahayaan sekarang menjadi contoh penting dari pengembangan desain terfokus yang mencapai hasil yang lebih memuaskan dalam penggunaan.

Sebaliknya, mengidentifikasi aspek-aspek yang cukup dalam konteks budaya tertentu dapat membebaskan sumber daya untuk mengatasi masalah yang lebih menantang, dan secara berguna membatasi rentang variabel yang berubah pada proyek tertentu. Dengan rentang variabel yang luas dan saling terkait yang terlibat dalam penyediaan dan pengelolaan lingkungan binaan, kontrol tersebut memungkinkan desain untuk maju lebih rasional, dengan mengenali faktor-faktor yang membuat perbedaan dalam setiap kelompok efek riak

### **Mengurai Berbagai Dampak**

Masalah kecil dapat sama relevannya dengan masalah besar bagi pengguna bangunan. Meskipun orang mampu membedakan antara masing-masing dampak yang memengaruhi mereka, mereka tidak selalu tahu bagaimana dampak spesifik muncul, atau apakah dampak tersebut berasal dari lokasi bangunan, desain dasar bangunan, penataan, manajemen, perilaku mereka sendiri dan pengguna lain atau memang melalui interaksi antara sejumlah faktor.

Misalnya, ketidakpuasan pengguna terhadap kualitas udara mungkin terkait dengan varians antara hunian aktual dan kepadatan desain, atau partisi ruang interior yang tidak tepat. Terserah kepada para profesional untuk menetapkan penyebab dan pengaruh silang, sebagai pengetahuan penting untuk intervensi yang efektif untuk mitigasi di gedung studi, dan menghindari kondisi serupa dalam proyek berikutnya. Ini memerlukan pertanyaan yang jelas



dan informatif, keterlibatan kritis dengan data, dan penilaian dalam mengusulkan tindakan tindak lanjut yang relevan.

### **Teknologi, Budaya, Desain**

Desain bangunan cerdas berkembang di persimpangan teknologi dan budaya pengaruh yang membentuk konteks sosial penggunaan bangunan dan ruang lingkup teknis untuk produksi bangunan. Kecepatan perubahan menghasilkan pergeseran perilaku yang melampaui kode dan undang-undang, menghasilkan mode dan tuntutan baru yang tidak dapat disesuaikan secara tepat dengan bangunan. Implikasinya ada dua. Kata kunci untuk ketahanan adalah desain yang memfasilitasi daripada desain yang preskriptif dengan menghindari kekhususan yang berlebihan.

Hal ini juga meminimalkan pemborosan, persyaratan utama untuk respons cerdas terhadap agenda lingkungan. Namun, ekspektasi dan penggunaan terus berkembang, dan ini memengaruhi lokasi, skala, dan profil fungsional bangunan yang dibutuhkan. Tempat dan ruang fisik tetap menjadi pusat bagi banyak kebutuhan manusia, tetapi peralihan banyak aktivitas ke ranah virtual memberi peluang untuk menghindari kapasitas bangunan yang berlebihan, dengan sumber daya yang terkandung yang akan bertahan lama bahkan setelah ruang tersebut tidak lagi sesuai dengan kebutuhan pengguna yang terus berkembang.

## **BAB 15**

### **GARDENS BY THE BAY: DESAIN CERDAS DAN OPTIMAL**

Studi kasus proyek Gardens by the Bay sebagai contoh bagaimana membangun hubungan kerja yang baik antara klien dan tim desain dapat menghasilkan operasi yang sangat kolaboratif, terintegrasi, dan sukses.

#### **15.1 PENDAHULUAN**

Gardens by the Bay merupakan bagian dari inisiatif besar di seluruh kota oleh National Parks Board of Singapore (NParks) dalam rencana mereka untuk beralih dari 'kota taman' menjadi 'kota di dalam taman'. Proyek ini terdiri dari tiga taman kota baru yang signifikan di sekitar area Marina Bay, yang pertama, Marina Bay South, merupakan yang terbesar. Bay South terdiri dari taman lanskap dan sistem air seluas 52 ha yang dibangun di atas tanah yang sebagian direklamasi di muara Sungai Singapura di lokasi yang mencakup dua saluran limpasan air hujan yang menghubungkan lahan di selatan dengan teluk (Gambar 15.1).

Proyek ini menjadi subjek kompetisi desain internasional yang diselenggarakan oleh NParks pada tahun 2006, dengan tujuan untuk mencari desain rencana induk yang inovatif dan dapat diimplementasikan untuk taman tersebut. Kompetisi Bay South dimenangkan oleh tim yang dipimpin oleh Andrew Grant Associates, yang melibatkan Wilkinson Eyre Architects dengan Atelier One, insinyur struktur dan Atelier Ten, desainer lingkungan dan insinyur layanan bangunan.

Proposal tersebut mencakup dua konservatori atau 'bioma' berpendingin yang sangat besar (20.000 m<sup>2</sup>) di ujung timur laut taman (Gambar 15.2) dan 18 struktur 'pohon super' besar, yang tingginya berkisar antara 25 m hingga 50 m, yang disusun dalam tiga kelompok di sekitar kompleks konservatori. Kedua konservatori tersebut dikenal sebagai Bioma Sejuk Kering (CDB) dan Bioma Sejuk Lembap (CMB). Keduanya berganti nama menjadi Kubah Bunga dan Hutan Awan untuk konsumsi publik.

CDB menciptakan kembali kondisi di musim semi Mediterania (yaitu hari-hari yang sejuk tetapi kering dengan malam-malam yang sejuk). Panjangnya 170 m, lebar 90 m, dan tinggi 35 m, terkurung dalam struktur kisi-kisi kaca ganda yang membentang bening. CMB meniru kondisi daerah tropis pegunungan: daerah dengan suhu udara yang relatif sejuk di siang hari dan sedikit lebih dingin di malam hari tetapi dengan tingkat kelembapan yang mendekati saturasi sepanjang siang dan malam.

CMB memiliki lebar 125 m, kedalaman 75 m, dan tinggi 55 m, serta memiliki gunung besar di tengahnya dengan jalan setapak udara untuk membawa pengunjung melewati puncak-puncak pohon. Pohon-pohon besar tersebut mendukung beberapa sistem lingkungan yang terkait dengan produksi energi dan ventilasi rumah kaca serta mendukung taman vertikal yang menyediakan titik fokus bagi taman dan tempat berteduh bagi pengunjung.



**Gambar 15.1 Gardens By The Bay Rencana Induk Bay South Gardens (& Grant Associates)**

Kedua bioma tersebut memiliki sejumlah persyaratan desain yang tidak konvensional untuk menciptakan lingkungan buatan yang memungkinkan tanaman dari daerah Mediterania dan pegunungan tropis tumbuh subur di iklim tropis Singapura. Meskipun proyek tersebut tentu saja berkaitan dengan penciptaan kembali alam, elemen-elemen untuk pembangunan telah disisipkan sedemikian rupa untuk menghasilkan ekosistem yang lebih baik untuk lokasi tersebut, dengan konservatori dan taman khususnya dirancang untuk menjadi simbiosis melalui interaksi energi, air, nutrisi, dan siklus serta proses air.

Proyek tersebut menggambarkan bagaimana optimalisasi desain dan integrasi lintas disiplin dapat menghasilkan bangunan yang berkinerja tinggi dan responsif bahkan dalam kondisi iklim yang sangat menuntut dan dengan ringkasan desain internal yang sangat teknis. Desain tersebut diresmikan pada tahun 2006, dan bioma pertama, CDB, dibuka untuk umum pada bulan November 2011. Bangunan yang tersisa dan bagian taman lainnya dibuka oleh perdana menteri Singapura untuk umum pada bulan Juni 2012. Dalam 6 bulan pertama beroperasi, 3 juta orang mengunjungi taman tersebut.



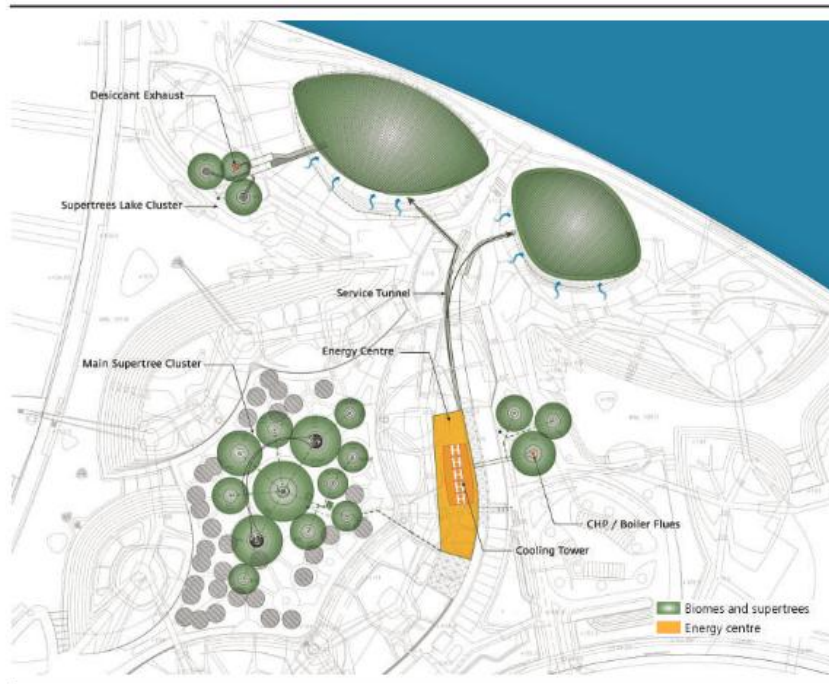
**Gambar 15.2 Pemandangan Udara Dari Bioma Yang Menunjukkan Bayangan Yang Disebarkan Pada Bioma Sejuk Dan Kering; Pembuangan Udara Regenerasi Pengering Berasal Dari Pohon-Pohon Besar Di Latar Depan (& Atelier Ten)**

## 15.2 RENCANA INDUK

Rencana induk tersebut dengan cermat menempatkan berbagai elemen program yang dibutuhkan di lokasi tersebut. Keputusan awal yang penting adalah penempatan konservatori di dalam taman. Secara khusus, pertimbangan diberikan pada kemungkinan bahwa lokasi tersebut akan dikelilingi oleh gedung-gedung tinggi yang direncanakan sebagai bagian dari perluasan pusat keuangan Singapura. Konservatori membutuhkan banyak cahaya, dan karenanya ditempatkan di area lokasi yang berdekatan dengan teluk yang akan menerima paparan sinar matahari dan cahaya matahari tertinggi setelah dibangun.

Hotel Marina Bay Sands yang baru saja selesai dibangun, dengan pemandangan atapnya yang ikonik, telah memberikan bayangan yang signifikan di tengah lokasi tersebut pada sore hari. Ambisi utamanya adalah membuat layanan bioma senyap mungkin dan, khususnya, menghindari mengelilinginya dengan intake udara, kisi-kisi, pendingin, atau instalasi penanganan udara yang terlihat.

Seiring dengan berkembangnya desain, pabrik dan peralatan utama untuk melayani bioma ditempatkan di pusat energi di sebelah selatan gugus rumah kaca di zona taman yang juga menampung sejumlah bangunan pendukung dan rumah kaca pendukung tambahan (Gambar 15.3). Pelepasan udara panas dan 'kotor' serta penyediaan energi terbarukan ditangani melalui pohon-pohon besar, dan berbagai komponen saling terhubung melalui terowongan layanan, yang juga berfungsi sebagai interkoneksi untuk aktivitas di bagian belakang rumah.



**Gambar 15.3 Evolusi Rencana Induk Yang Menunjukkan Lokasi Peralatan Utama Dan Terowongan Layanan (& Atelier Ten)**

Rencana induk tersebut memberikan perhatian besar pada penciptaan siklus air yang berkelanjutan. Lokasi tersebut terletak di tepi Teluk Marina, yang hingga saat ini merupakan muara pasang surut tetapi telah diubah menjadi marina dan cagar air tawar dengan pembangunan bendungan baru di sebelah timur lokasi tersebut. Dalam mengembangkan rencana induk tersebut, konsep utama retensi, konservasi, dan pemurnian air dimasukkan ke dalam desain.

Curah hujan langsung dari dalam daerah tangkapan air lokasi disaring dan dibersihkan dari kandungan nitrogen, fosfor, dan padatan tersuspensi yang tinggi yang timbul dari pengoperasian kebun, sebelum dibuang ke Waduk Marina. Sifat badai tropis yang tidak menentu dan 'berpuncak' membuat tugas retensi dan pelepasan ini menjadi rumit, dan solusinya menggunakan lanskap perairan untuk memulihkan air yang diterima melalui serangkaian danau dan kolam penyaring yang saling terhubung serta palung penanaman. Oleh karena itu, pengolahan air dilakukan secara berkelanjutan melalui penggunaan tanaman air.

Strategi desain perkotaan yang peka terhadap air telah dikembangkan lebih lanjut dan dirinci dengan model kualitas air, untuk digabungkan ke dalam desain kebun. Sebagian besar hal ini dilakukan oleh Grant Associates dan NParks, bersama dengan CPG Consultants dan Cardno. Sebagai bagian dari pengembangan rencana induk dan proses implementasi, Atelier Ten mengembangkan dan memanfaatkan berbagai rencana implementasi keberlanjutan (SIP) untuk pengembangan yang disesuaikan dengan berbagai tim yang melaksanakan berbagai bagian proyek.

Rencana ini mencakup semua bidang keberlanjutan lingkungan yang berpotensi terpengaruh oleh pengembangan, dan bertujuan untuk memadukan ide-ide holistik tentang

keberlanjutan ke dalam proyek. Perbandingan inisiatif keberlanjutan pada proyek ini sedang dilakukan melalui skema Green Mark dari Singapore *Building and Construction Authority* (BCA). Skema BCA Green Mark adalah skema setara dengan LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) atau BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) di Singapura, dan merupakan tolok ukur komprehensif untuk langkah-langkah keberlanjutan suatu pengembangan. Lokasi Gardens by the Bay meraih peringkat Platinum, dan kompleks konservatori juga meraih peringkat platinum.

### 15.3 IKLIM

Singapura (lintang 1.378N) menunjukkan iklim tropis ekuatorial konvensional, yang panas dan lembap sepanjang tahun dengan variasi suhu musiman atau diurnal yang relatif kecil. Sekitar 95% jam berada di antara 24 dan 32° C, dengan kadar air antara 17 dan 21 g/kg. Karena dekat dengan ekuator, radiasi matahari langsung sangat intens dalam kondisi langit cerah, dengan intensitas iradiasi vertikal puncak melebihi 1050 W/m<sup>2</sup> dan dengan tingkat radiasi langit difus yang tinggi. Namun, ada kecenderungan sering terjadi tutupan awan tebal untuk jangka waktu lama, dan tingkat pencahayaan dalam kondisi ini dapat rendah untuk jangka waktu lebih lama daripada yang mungkin dialami pada musim panas Mediterania yang khas, pertimbangan penting saat mengembangkan strategi pencahayaan alami untuk bangunan.

#### Ringkasan

NParks menyadari, dari pemantauannya terhadap rumah kaca yang relatif kecil, dingin, dan lembap di Kebun Raya yang ada, bahwa untuk menyediakan rentang suhu yang diinginkan menggunakan strategi dehumidifikasi dan pendinginan konvensional pasti akan menghabiskan banyak energi. Sebagai persiapan untuk proyek Bay South, NParks menjalankan proyek penelitian selama beberapa tahun dengan teknisi iklim Jerman yang terkenal, Transsolar (Stuttgart) dan CPG Consultants (Singapura), untuk menilai kondisi pertumbuhan yang dibutuhkan bagi spesies target untuk bioma tersebut.

Pada saat kompetisi, mereka telah merancang dan sedang membangun enam prototipe rumah kaca di pinggir kota untuk memungkinkan studi perilaku tanaman di bawah kaca. Hasil penelitian dan eksperimen awal mereka digunakan untuk menginformasikan dan membentuk ringkasan desain lingkungan untuk bioma tersebut. Banyak waktu dan energi dihabiskan untuk menentukan tingkat iluminasi tahunan dan puncak yang optimal untuk mendukung pertumbuhan tanaman.

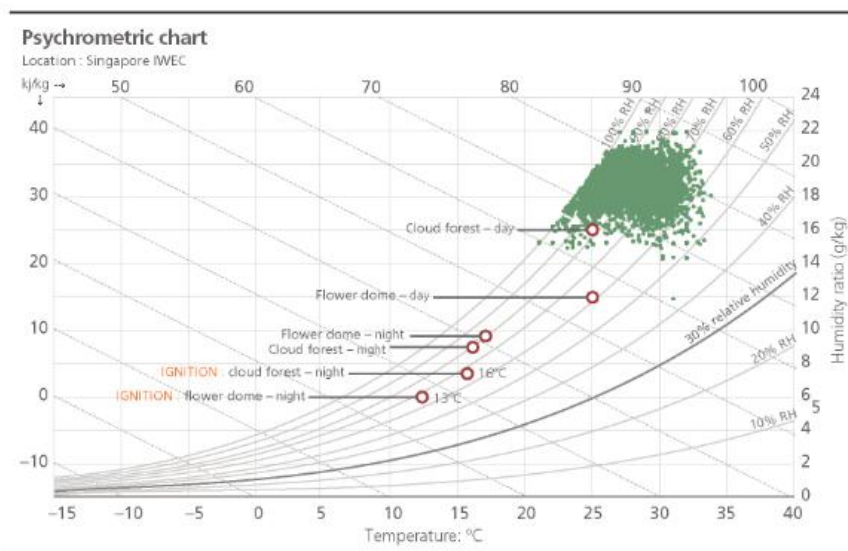
Penelitian tersebut memberikan data bahwa tingkat iluminasi puncak 45.000 lux penting untuk pertumbuhan tanaman dari kelompok flora utama yang akan menjadi bagian dari tampilan di dalam bangunan. Angka target ini dijadikan acuan untuk Eden Project di Cornwall, tempat flora serupa tumbuh subur. Penelitian mereka menentukan bahwa tingkat yang lebih tinggi dari 45.000 lux tidak menguntungkan pertumbuhan, umur panjang, atau kualitas tanaman.

Tingkat cahaya dan perolehan panas matahari pasti terhubung melalui sifat-sifat fasad kaca, dan kelebihan cahaya apa pun akan menyebabkan peningkatan beban pendinginan yang



tidak perlu di bioma, yang sudah akan menjadi tantangan (45.000 lux sekitar 100 kali lebih terang daripada yang biasanya disediakan di lingkungan kantor).

Penelitian NParks, yang terlalu rinci untuk dijelaskan di sini, juga menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman dari spesies yang berbeda sangat bergantung pada tingkat cahaya dalam spektrum tampak tetapi kurang bergantung pada tingkat pada panjang gelombang inframerah dan ultraviolet. Tanaman yang membutuhkan radiasi ultraviolet tambahan, jika perlu, dapat 'diberi' dosis cahaya ultraviolet sesekali dari lampu hortikultura. Oleh karena itu, pemilihan bahan pelapis dapat memprioritaskan cahaya tampak (400–700 nm) daripada frekuensi lainnya.



**Gambar 15.4 Bagan Psikometrik Dengan Cuaca Tahunan Khas Singapura Yang Dilapiskan Dan Kondisi Desain Konservatori (& Atelier Ten)**

Kondisi desain target untuk udara di dalam CDB pada siang hari adalah 25 °C, pada kelembaban relatif (RH) 60%. Pada malam hari suhu ini diturunkan menjadi 17 °C dan 80% RH. Setiap bulan ketiga, untuk setiap malam dalam bulan tersebut suhu malam hari akan diturunkan menjadi 13 °C, untuk memberi sinyal kepada tanaman bahwa musim dingin telah berlalu dan mereka harus menyebarkan bunga mereka untuk musim semi.

Proses ini dikenal sebagai 'pengapian', dan 13 °C dikenal sebagai 'suhu pengapian'. Di CMB, rezim suhu secara umum serupa tetapi kadar airnya sangat berbeda. Pada siang hari, kondisi desainnya adalah 25 °C pada 80% RH atau lebih tinggi. Ini sekitar 4 g/kg lebih banyak uap air yang terkandung di udara atau sekitar 10 kJ/kg entalpi lebih tinggi di atmosfer dibandingkan dengan CDB. Pada malam hari suhu ini diturunkan menjadi 17 °C pada 80% RH.

Sekali lagi untuk malam-malam selama 1 bulan dalam setiap tiga bulan, suhu di dalam bioma ini diturunkan menjadi 16 °C pada 80% RH untuk pengapian. Kondisi desain ini ditumpangkan pada bagan psikrometrik pada Gambar 15.4, yang juga memiliki kondisi desain eksternal tahunan yang ditumpangkan sebagai titik-titik yang mewakili pengukuran per jam. Dari bagan ini dapat dilihat dengan jelas bahwa tidak ada satu jam pun dalam setahun, siang

atau malam, ketika ventilasi alami atau pengenalan udara yang tidak diolah akan menjadi pilihan untuk strategi pengkondisian: beberapa pengkondisian udara luar akan selalu diperlukan (titik-titik pada bagan di mana udara eksternal lebih dingin daripada kondisi 'sejuk lembap siang' terjadi pada malam hari ketika titik desain lebih rendah).

Bagan tersebut juga dengan jelas menggambarkan bahwa ini sepenuhnya merupakan tantangan pendinginan dan dehumidifikasi. Kenyamanan manusia juga merupakan pertimbangan yang signifikan. Respons kenyamanan dalam tubuh manusia itu kompleks, dan pembahasannya berada di luar cakupan bab ini, tetapi penting untuk menyadari bahwa solusi desain yang dihasilkan dikalibrasi dengan mengacu pada persyaratan suhu 'lingkungan' atau 'operasional' yang mencakup penilaian lingkungan panas radiasi serta suhu udara dan RH.

Melalui pengarahan kompetisi dan tahap pengembangan ringkasan berikutnya, klien secara aktif mendorong tim desain untuk mempertimbangkan solusi desain yang tidak konvensional guna meminimalkan konsumsi energi dan emisi karbon. Selain itu, menteri pemerintah yang peduli lingkungan yang bertanggung jawab untuk menyetujui pendanaan proyek secara khusus menginstruksikan bahwa tim harus berusaha untuk membuat emisi karbon dari pendinginan bangunan tidak lebih buruk daripada yang akan dialami di gedung perkantoran Singapura modern sebuah tantangan yang signifikan. Perhatikan bahwa emisi karbon, bukan konsumsi energi, adalah metrik yang digunakan.

#### **15.4 DESAIN TERPADU BIOMA**

Desain sistem ventilasi, pendinginan, dan dehumidifikasi tidak dapat dimulai dengan sungguh-sungguh hingga hubungan antara kebutuhan pencahayaan hortikultura, perolehan sinar matahari, dan beban pendinginan dipahami dan dimodelkan dengan benar. Ringkasan untuk pengembangan fasad adalah untuk mencapai 45.000 lux yang dijelaskan di atas setidaknya selama beberapa jam dalam setahun seperti yang dicapai dalam bioma di Proyek Eden.

Singapura bisa sangat berawan, tetapi ada juga periode panjang sinar matahari khatulistiwa yang intens, dan menyeimbangkan kebutuhan siang hari dan termal merupakan salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh tim desain. Analisis ekstensif dilakukan pada selubung untuk mengoptimalkannya untuk penetrasi cahaya matahari alami dan pengendalian matahari guna memastikan bahwa bangunan tersebut memberikan cahaya matahari yang cukup untuk berbagai jenis tanaman yang diusulkan untuk bioma tersebut.

Skema kompetisi telah bekerja dengan asumsi bahwa kombinasi transparansi kaca yang dioptimalkan dengan balok struktural baja primer yang bertindak efektif sebagai elemen peneduh tetap akan cukup untuk memberikan pengendalian cahaya matahari dan membatasi perolehan sinar matahari yang berlebihan. Seiring berjalannya pekerjaan analisis, asumsi ini terbukti terlalu sederhana, karena struktur yang dalam menutupi terlalu banyak kubah langit dalam situasi berawan atau cahaya redup dan karena masalah perolehan panas dari sinar matahari sudut tinggi di tengah hari.

Anggota struktural utama sengaja ditempatkan di luar kaca untuk membantu peneduh: mereka memiliki bentang yang jelas hingga 90 m di beberapa tempat, dan karenanya memiliki

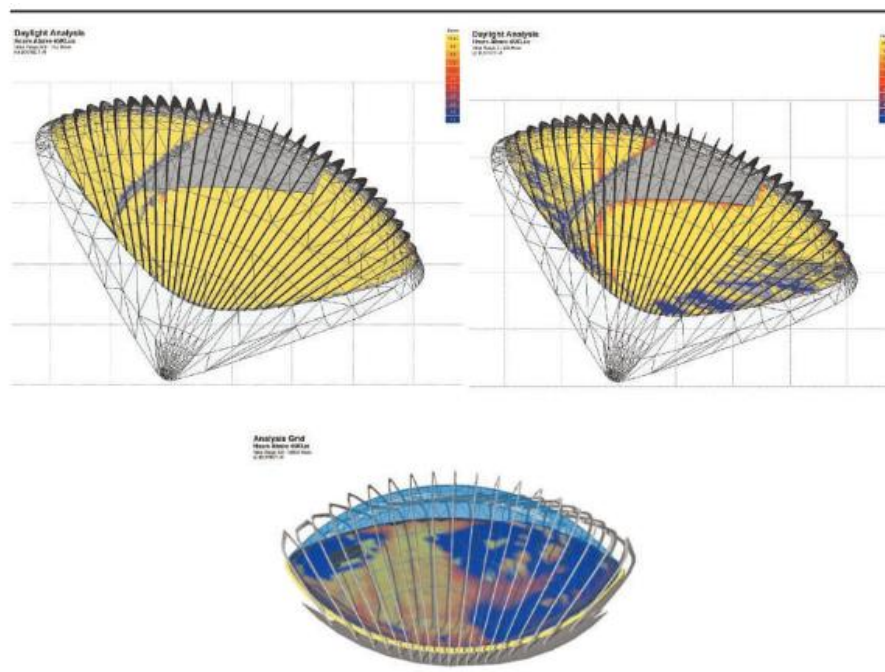


kedalaman yang cukup, dan paling buruk menyebabkan terlalu banyak penghalang kubah langit dan hilangnya penerangan sebagai akibatnya. Teknik simulasi cahaya siang hari tingkat lanjut digunakan untuk menilai ketersediaan cahaya siang hari untuk seluruh volume yang dihuni untuk setiap jam dalam setahun untuk sejumlah solusi struktural yang berbeda, termasuk.

- Desain sirip padat yang dioptimalkan dengan elemen kaca sekunder non-struktural
- Sistem rangka eksternal, juga dengan elemen kaca sekunder non-struktural
- Kulit kisi untuk menahan kaca yang diikat ke balok primer yang lebih ramping (gambar 15.5).

Optimalisasi ini mencakup penilaian tingkat iluminasi tahunan sesaat, puncak, dan kumulatif serta frekuensi tingkat iluminasi yang dicapai di seluruh pelat lantai untuk setiap opsi. Analisis dilakukan menggunakan kombinasi perangkat lunak milik perusahaan (Ecotect dan Radiance merupakan perangkat utama) untuk mengevaluasi pencahayaan alami dan perangkat lunak khusus yang dibuat oleh Atelier Ten untuk proyek tersebut guna memfilter data keluaran dari model dan membandingkannya dengan data Eden Project.

Analisis menunjukkan bahwa pengurangan cahaya matahari dari elemen struktural primer dan sekunder cukup signifikan, tetapi opsi rangka kisi yang tertahan menawarkan keseimbangan terbaik antara cahaya matahari dan kontrol surya (Gambar 15.6). Hal ini juga ternyata menjadi solusi yang paling hemat biaya dan material untuk menyediakan penutup.

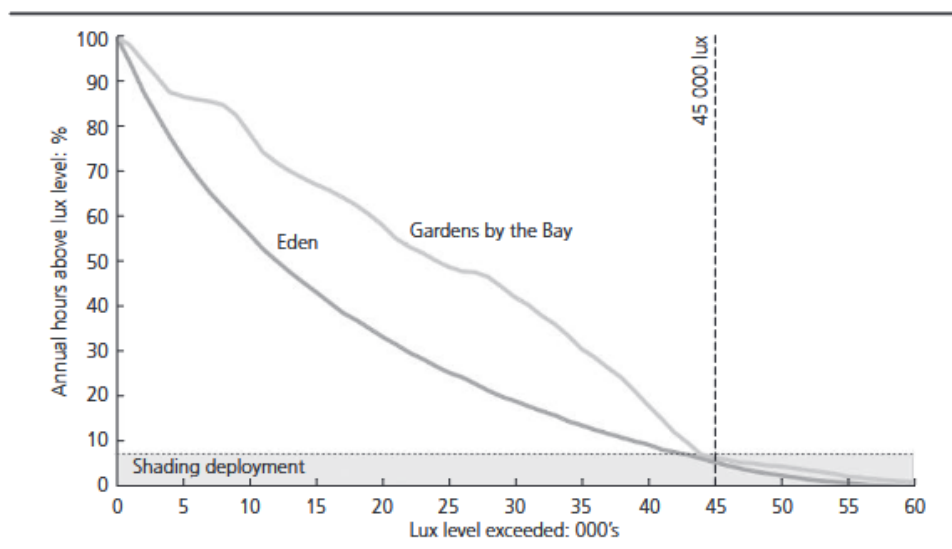


**Gambar 15.5 Studi Optimalisasi Pelapis: Struktur Sirip (Kiri), Rangka Bowstring (Tengah) Dan Gridshell Dengan Balok Eksternal (Kanan) (& Atelier Ten)**

Dengan tingkat tutupan awan yang tinggi di Singapura, analisis juga menunjukkan bahwa kaca yang dipilih harus memiliki tingkat transparansi yang tinggi untuk memenuhi persyaratan target cahaya matahari, dan tinjauan persyaratan kinerja kaca dan ketersediaan pasar di seluruh dunia telah dilakukan. Jelas sejak awal bahwa dengan intensitas matahari tropis, penting untuk memiliki tingkat selektivitas frekuensi terbaik di kelasnya yang terpasang di kaca.

Dengan kebutuhan transmisi cahaya matahari yang tinggi, penggunaan pewarnaan bodi kaca bukanlah pilihan, sehingga desain bergerak cepat menuju pelapis selektif. Kaca tunggal lebih disukai karena alasan biaya, berat, dan kemudahan konstruksi, tetapi tidak dapat memberikan sifat selektif yang diinginkan dengan solusi pelapisan yang tahan lama dan akan rentan terhadap kondensasi yang tidak sedap dipandang dari luar jika tidak terkena sinar matahari langsung (karena titik embun udara luar).

Foil etilen tetrafluoroetilen (ETFE), yang digunakan di Proyek Eden, juga dipertimbangkan tetapi ditolak karena tidak dapat menawarkan tingkat selektivitas surya yang diperlukan untuk intensitas matahari puncak yang lebih tinggi di Singapura. Oleh karena itu, kaca ganda untuk mengendalikan transmisi radiasi dan kondensasi ditetapkan sebagai suatu keharusan. Sebuah spesifikasi dikembangkan berdasarkan unit kaca ganda selektif yang memungkinkan sekitar 65% frekuensi cahaya matahari masuk untuk melewatinya dengan hanya 35% panas matahari yang ditransfer, terutama dengan menyaring frekuensi inframerah agar tidak masuk ke dalam ruangan.



**Gambar 15.6 Frekuensi Cahaya Siang Hari Yang Disimulasikan Di Dalam CDB Dan Dibandingkan Dengan Eden Project (& Atelier Ten)**

Selektivitas ini dicapai dengan lapisan emisivitas rendah yang diaplikasikan pada permukaan bagian dalam lembar luar unit kaca ganda. Lapisan emisivitas rendah bertindak sebagai reflektor cahaya inframerah, menyaring panas yang tidak diinginkan dari spektrum cahaya matahari. Dengan menempatkannya pada lembar luar, panas yang diserap pada lapisan

tersebut dapat ditransmisikan melalui konveksi ke udara luar daripada ke dalam ruangan.

Sejumlah produsen dari Eropa, Amerika Utara, dan Asia mampu memenuhi spesifikasi ini. Namun, penelitian menunjukkan bahwa ada banyak kejadian ketika lebih banyak cahaya akan mencapai ruangan daripada yang diperlukan untuk memenuhi persyaratan hortikultura, umumnya bertepatan dengan puncak perolehan sinar matahari pada hari-hari tanpa awan. Penyesuaian kinerja kaca untuk menghadapi situasi ini mengakibatkan terlalu banyak kehilangan dalam kondisi cahaya sekitar yang lebih rendah untuk memenuhi kriteria iluminasi rata-rata tahunan.

Pada tingkat radiasi matahari eksternal yang tinggi, ada juga kekhawatiran bahwa tanpa naungan, suhu lingkungan internal (kenyamanan) akan meningkat ke titik di mana kenyamanan manusia akan buruk meskipun suhu udara terkontrol. Hasilnya, sistem naungan eksternal yang dapat ditarik dikembangkan dengan Wilkinson Eyre Architects. Kerai berbentuk segitiga dan dikencangkan dengan kabel. Kerai sepenuhnya tersembunyi di dalam bagian bawah rangka saat tidak digunakan, dan dikontrol secara aktif untuk digunakan saat diperlukan untuk memodulasi tingkat cahaya matahari internal ke titik optimal.

Selain meningkatkan kenyamanan penghuni, kerawang juga mengurangi tuntutan pendinginan puncak dan menghemat energi dengan mengurangi panas termal matahari yang ditransmisikan saat tingkat cahaya terpenuhi. Motor yang menggerakkan naungan dapat dialamatkan secara individual sehingga dapat 'diatur' ke jalur naungan di bawah pada waktu-waktu tertentu dalam sehari jika ini terbukti diinginkan. Sistem naungan juga memberikan ketahanan tambahan jika terjadi kegagalan sistem, karena dapat digunakan untuk lebih mengurangi beban pendinginan di dalam gedung.

Bentuk bioma dioptimalkan untuk memungkinkan penetrasi cahaya matahari secara maksimal. Bentuk CDB dimodifikasi untuk membuat tonjolan pada fasad utara, yang miring ke belakang dari puncak. Ini menciptakan permukaan kaca yang miring ke luar pada sudut yang sama dengan radiasi tahunan puncak untuk orientasi tersebut pada sudut matahari ekstrem, dan karenanya merupakan fasad yang sepenuhnya menaungi diri sendiri, tidak memerlukan naungan eksternal.

## 15.5 DESAIN SISTEM AKTIF

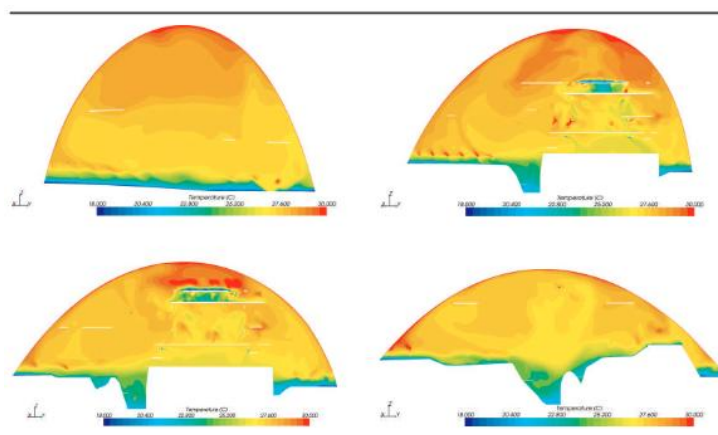
Pengembangan sistem kontrol lingkungan aktif untuk gedung dimulai dengan beberapa keputusan konseptual dasar pada tahap kompetisi yang mendorong analisis dan pengembangan desain.

- Penggunaan pengkondisian perpindahan, memperkenalkan udara pengkondisian pada level rendah di dalam zona yang ditempati, daripada sistem pencampuran level tinggi. Hal ini akan membatasi volume bangunan yang memerlukan pengkondisian dan mengurangi kapasitas pabrik serta penggunaan energi.
- Penggunaan pendinginan radiasi di jalur dan trotoar dalam bioma, untuk menyerap dan menghilangkan radiasi matahari yang terserap. Hal ini akan mengurangi jumlah perolehan panas yang harus ditangani oleh sistem udara dan mengurangi suhu radiasi rata-rata bagi penghuni, sehingga meningkatkan kenyamanan.

- Penggunaan sistem dehumidifikasi pengering, untuk mengurangi kebutuhan dehumidifikasi berbasis pendinginan dan berpotensi memungkinkan panas matahari atau panas buangan digunakan sebagai sumber regenerasi.
- Penggunaan humidifikasi evaporatif langsung (pengkabutan) dalam CMB, untuk menyediakan tingkat kelembapan yang sangat tinggi yang dibutuhkan. Hal ini juga memberikan beberapa efek pendinginan.

Metode pengkondisian utama untuk kedua bioma adalah melalui sistem ventilasi perpindahan terpadu, yang memasok udara dari unit penanganan udara di ruang tanaman besar di bawah bioma melalui diffuser yang terintegrasi ke permukaan vertikal bedengan tanaman dan melalui terminal diffuser perpindahan yang ditempatkan di bedengan di seluruh bioma. Memilih dan membuktikan aliran udara yang dibutuhkan serta memodelkan bagaimana aliran udara tersebut akan didistribusikan melalui bioma merupakan tantangan signifikan yang akan sulit dipenuhi tanpa menggunakan dinamika fluida komputasional (CFD) sebagai alat desain interaktif untuk proyek tersebut.

Beberapa studi tentang laju pasokan udara yang berbeda, yang awalnya disusun berdasarkan perhitungan keseimbangan energi dan pemodelan termal dinamis, digunakan untuk menentukan laju ventilasi optimal berdasarkan stratifikasi internal suhu yang diprediksi di dalam bangunan. Laju ventilasi, dan stratifikasi termal yang dihasilkan, ditentukan sesuai untuk kenyamanan manusia dan kebutuhan hortikultura khusus dari kedua bioma tersebut. Studi CFD awal mengidentifikasi bahwa udara di sekitar gunung di dalam CMB (yang berisi sejumlah jalan setapak udara terbuka) akan menjadi lebih panas daripada yang dapat diterima dengan sistem perpindahan murni. Hasilnya, sistem ventilasi hibrida dikembangkan yang memasok udara dengan cara perpindahan di bagian bawah bangunan dan di puncak gunung, tetapi, di tingkat menengah di dalam gunung, penyebar jet mendorong pencampuran lokal, yang membatasi stratifikasi lokal (Gambar 15.7). Di atas gunung, udara dibiarkan terstratifikasi, seperti dalam sistem perpindahan, sebelum diekstraksi dan disirkulasikan kembali melalui instalasi di ruang bawah tanah.



**Gambar 15.7 Studi CFD Ventilasi Hibrida CMD: Menginduksi Udara Dari Diffuser Nosel Jet Pada Tingkat Menengah Di Dalam Daerah Pegunungan Menekan Stratifikasi Termal (& Atelier Ten)**

Bioma tersebut bertekanan positif hingga sekitar 10% tekanan berlebih dengan memasukkan udara segar pada tingkat rendah, dan udara berlebih dibuang ke atmosfer melalui panel kaca yang dapat dioperasikan di bagian atas bangunan. Udara di bagian atas bioma ini biasanya memiliki entalpi yang lebih tinggi daripada kondisi sekitar karena ketinggian bangunan, dan jumlah stratifikasi dan pemulihan panas tidak akan bermanfaat pada aliran udara buangan.

Mencapai kondisi yang dibutuhkan dalam CMB hanya dengan pasokan udara akan mengharuskan pasokan udara disediakan pada lebih dari 100% RH, yang tidak mungkin, dan penyemprot evaporatif langsung digunakan di dalam ruang untuk menambah kelembapan lebih lanjut dan menyediakan pendinginan evaporatif langsung.

Ringkasan hortikultura mengharuskan kemampuan untuk memvariasikan suhu di dalam ruang. Hal ini dicapai dengan memvariasikan suhu pasokan air dingin ke bioma, untuk memungkinkan suhu udara dimodulasi. Hal ini menghasilkan penghematan energi melalui kemampuan menjalankan pendingin pada suhu penguapan yang lebih tinggi selama operasi normal. Sistem harus serbaguna untuk memenuhi berbagai kondisi ruang internal.

## **15.6 PENDINGINAN UDARA SEGAR MENGGUNAKAN PENERING**

Udara segar yang dipasok ke bioma memiliki kadar air yang tinggi seperti yang dijelaskan sebelumnya. Pada tahap kompetisi, dirasakan bahwa teknologi penering dapat menawarkan cara untuk mengurangi dampak karbon dari proses dehumidifikasi. Sistem pengkondisian penering bekerja dengan langsung menghilangkan air yang menguap di aliran udara.

Dikombinasikan dengan pendinginan konvensional, teknologi ini memungkinkan udara dipasok ke titik psikometrik yang terkendali (yaitu didinginkan dan didehumidifikasi) dengan konsumsi energi yang lebih sedikit daripada pendekatan konvensional pendinginan berlebih menggunakan air dingin dengan pemanasan ulang yang digunakan untuk mencapai keadaan psikrometrik yang diperlukan.

Proses dehumidifikasi desikan menghilangkan kelembapan dari aliran udara segar sambil mempertahankan entalpi yang konstan. Proses ini sedikit meningkatkan suhu aliran udara pada awalnya, tetapi aliran udara yang lebih kering yang dihasilkan lebih mudah didinginkan menggunakan proses pendinginan yang masuk akal untuk mencapai kondisi desain yang diinginkan tanpa pendinginan berlebih dan pemanasan ulang yang diperlukan saat udara awal mendekati saturasi.

Desikan cair lebih disukai daripada jenis padat yang lebih dikenal karena ukuran instalasi dan kompleksitas yang terlibat dalam menyandingkan aliran udara suplai dan ekstraksi. Litium klorida dipilih sebagai desikan yang lebih disukai dalam kasus ini. Larutan litium klorida 'kuat' yang sangat pekat yang dilarutkan dalam air akan mengekstraksi kelembapan dari aliran udara saat keduanya bersentuhan baik di atas permukaan yang disiram dengan larutan atau melalui tirai larutan yang disemprotkan ke aliran udara.

Selama proses peneringan udara, larutan desikan meningkat volumenya saat menyerap kelembapan dari udara, ia juga menghilangkan sebagian besar kontaminasi

mikrobiologis dalam aliran udara yang diolah. Hasilnya adalah udara yang lebih kering (hingga 30% RH) dan larutan 'lemah' atau encer yang dipompa ke unit regenerator di bawah gugus pohon danau super yang menggunakan aliran panas buangan, yang dijelaskan di bawah, untuk menghilangkan kelembapan dari larutan dan mengembalikannya ke tangki pengering kuat, tempat cairan tersebut dapat digunakan kembali untuk dehumidifikasi lebih lanjut.

Manfaat tambahan dari proses ini adalah memungkinkan untuk secara efektif 'menyimpan' energi potensial dalam bentuk pengering cair untuk membantu menyeimbangkan pasokan dan permintaan, dan pengering lemah dan kuat dapat dipindahkan melalui proses dengan kecepatan yang sesuai dengan pasokan energi termal yang tersedia untuk regenerasi.

Pengaturan pengkondisian perpindahan menyebabkan udara di bagian atas bioma menjadi jauh lebih hangat daripada suhu desain, terutama pada periode perolehan sinar matahari tinggi. Udara diekstraksi dari bagian atas CDB dan dikembalikan melalui terowongan bawah tanah ke gugus pohon danau super yang berdekatan, tempat udara tersebut menjadi udara pasokan untuk peralatan regenerator pengering. Suhu dan kekeringan udara yang diekstraksi ini meningkatkan efisiensi sistem.

## 15.7 PEMBANGKITAN ENERGI DAN PUSAT ENERGI

Pada tahap kompetisi, tujuannya adalah untuk menghasilkan panas guna meregenerasi pengering menggunakan panel surya termal yang terintegrasi ke dalam pohon-pohon besar, selain panas dari udara daur ulang dari atas bioma. Seiring dengan kemajuan pekerjaan dengan desain konsep, penelitian dengan klien mengidentifikasi aliran limbah yang jauh lebih signifikan yang mungkin dapat memenuhi lebih banyak kebutuhan energi proyek.

NParks bertanggung jawab untuk merawat pohon-pohon yang berjejer di sepanjang jalan-jalan Singapura dengan saksama: dilaporkan ada lebih dari 2 juta pohon, dan masing-masing dipangkas setiap 3 tahun, menghasilkan limbah kayu keras dalam jumlah yang signifikan. Desain dikembangkan berdasarkan penggunaan boiler biomassa (7,2 MW) untuk memanfaatkan aliran kayu limbah, yang dipotong-potong tetapi belum diproses, untuk menghasilkan uap bertekanan rendah.

Uap tersebut mengalirkan turbin bertekanan rendah, untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1,2 MW, yang dialirkan ke jaringan listrik lokasi. Air panas bersuhu tinggi di hilir turbin kemudian digunakan untuk menggerakkan pendingin serapan dan unit regenerator pengering. Boiler biomassa dan turbin uap tidak mudah dimodulasi, dan beban regenerasi laten berfluktuasi seiring waktu, sehingga pembuangan panas yang seimbang diperlukan untuk menstabilkan sistem. Pendingin serapan menjalankan fungsi ini sambil menyediakan keluaran energi pendinginan yang berguna.

Tenaga listrik dari turbin disalurkan ke pendingin sentrifugal konvensional, yang memenuhi persyaratan pendinginan tambahan pada periode puncak. Beban dehumidifikasi bergantung pada suhu dan kelembapan eksternal, dan bervariasi sepanjang hari. Ukuran pipa antara regenerator pengering dan dehumidifier memungkinkan penyimpanan larutan pengering yang kuat, sehingga bertindak sebagai penyangga.



Karena pengering menyimpan energi dalam bentuk panas laten, larutan kuat tersebut secara efektif menyimpan sekitar sepuluh kali lebih banyak energi daripada volume air dingin yang setara. Penyimpanan ini memungkinkan penyangga beban internal ke sistem. Limbah residu hortikultura dari pemangkasan pohon ditimbun sebelum pengaturan ini ditetapkan, sehingga proses tersebut secara efektif mengubah aliran limbah menjadi pasokan energi aktif yang menggantikan biaya energi utilitas yang diimpor.

Instalasi boiler dan turbin biomassa diperoleh berdasarkan 'desain, bangun, dan operasi', dan operator yang dipilih, Eco-Wise, memperkirakan bahwa penggunaan harian pada kapasitas penuh akan membutuhkan 14–16 kontainer pengangkut besar untuk memenuhi permintaan. Bahan baku yang digunakan dalam praktik adalah campuran residu hortikultura yang dipotong-potong dan limbah kotak pengepakan kering.

Pendingin beroperasi pada sirkuit suhu variabel yang diatur sedemikian rupa sehingga suhu pasokan air dingin dapat berada di atas aliran pendingin konvensional dan suhu balik, untuk memenuhi beban ventilasi perpindahan dan pendinginan lantai untuk sebagian besar waktu. Suhu evaporator yang tinggi menghasilkan penghematan energi yang signifikan dari peningkatan efisiensi pendingin. Suhu air dingin dikurangi pada malam hari, untuk mencapai kondisi suhu desain internal yang lebih rendah.

Menara pendingin di tingkat atas pusat energi digunakan untuk membuang panas berlebih. Ada dua aliran abu dari boiler biomassa. Yang pertama adalah abu halus yang mengandung nitrat dan senyawa pupuk lainnya dalam jumlah tinggi. Abu ini akan dicampur dengan bahan tanaman limbah dari kebun, untuk membuat kompos bermutu tinggi.

Aliran abu kedua mengandung partikel dengan kepadatan lebih tinggi, dan dibawa keluar lokasi dan akan dicampur ke dalam beton atau agregat. Bioma tersebut mencakup sejumlah besar penginderaan dan telemetri, dengan setiap zona bangunan dilengkapi dengan sensor suhu, kelembapan, suhu radiasi, dan tingkat cahaya untuk mengendalikan semua aspek lingkungan termal, radiasi, dan visual.

Sensor tersebut memberikan informasi kembali ke ruang kontrol di setiap bioma dan ke ruang kontrol pusat di pusat energi, yang akan terus dikelola untuk mengelola pengoperasian bangunan. Upaya gabungan dari sistem gabungan panas dan tenaga (CHP) biomassa dan fotovoltaik (PV) adalah untuk membuat penyediaan pendinginan ke ruang pameran di dalam bioma secara efektif menjadi netral karbon.

## 15.8 DESAIN SUPERTREES

Supertrees adalah struktur beton dan baja ikonik yang disusun dalam tiga kelompok di sekitar lokasi. Supertrees dibentuk dengan inti beton berongga yang dikelilingi oleh pelapis baja tembus pandang yang digunakan sebagai former untuk penanaman vertikal. Sebagian besar supertrees berisi panel surya PV untuk pembangkitan listrik di atas elemen kepala yang miring.

Meskipun sudut optimal untuk kolektor surya di Singapura pada dasarnya adalah horizontal, kepala inti dibangun miring untuk memungkinkan tingkat pembersihan sendiri akibat curah hujan. Panel PV jauh lebih sensitif terhadap naungan daripada kolektor air panas



surya. Respons nonliniernya terhadap naungan dapat mengakibatkan pengurangan daya hingga 50% jika hanya terhalang sebagian.

Dengan mempertimbangkan hal ini, sejumlah kombinasi panel dikembangkan untuk memungkinkan modul PV disusun di atas kepala pohon-pohon super dengan cara yang sesuai dengan tujuan estetikanya sekaligus menghindari bayangan sendiri oleh balok-balok. Gugusan pohon super yang paling dekat dengan pusat energi juga merupakan pintu masuk utama ke taman, tetapi pohon super terbesar menyembunyikan cerobong asap utama dari ketel uap.

Hal ini memastikan bahwa gas hasil pembakaran biomassa disebarkan pada tingkat yang jauh di atas akomodasi layak huni apa pun setelah dibersihkan dari kontaminan apa pun menggunakan sejumlah proses, termasuk presipitator elektrostatis. Buangan dari regenerasi pengering juga dibuang melalui gugusan danau pohon-pohon super, yang berdekatan dengan konservatori.

## 15.9 KESIMPULAN

Dapatkah membangun gedung-gedung penting seperti itu untuk menciptakan lingkungan buatan di iklim Singapura digambarkan sebagai usulan yang 'berkelanjutan'? Mungkin tidak, tetapi sebagai desainer, kita sering dihadapkan dengan tugas yang mengupayakan hasil yang berkelanjutan dari penyediaan gedung atau gedung-gedung untuk tujuan yang telah ditentukan sebelumnya yang tidak dapat kita kendalikan.

Dalam situasi ini, kita harus memanfaatkan sumber daya yang kita miliki dari iklim dan lingkungan setempat sebaik-baiknya dan berusaha untuk tidak hanya berbuat lebih banyak dengan sumber daya yang lebih sedikit, tetapi juga mengidentifikasi siklus yang baik di mana proyek dapat bermanfaat bagi lingkungan setempat dan bukan hanya mengurangi dampak buruknya.

Tidak ada satu pun elemen dari proyek Gardens by the Bay yang membedakannya dalam hal pendekatan keberlanjutan atau layanan. Ada gedung-gedung lain yang memiliki kaca selektif, sistem peneduh otomatis, pasokan udara perpindahan, pengeringan udara desikan, panel PV atau sistem CHP biomassa, misalnya. Namun, pengakuan oleh semua pihak yang terlibat bahwa desain terpadu membutuhkan kecerdikan yang cukup besar dan penerapan berbagai solusi desain tambahan yang cermatlah yang membuatnya benar-benar luar biasa baik dalam aspirasi maupun pelaksanaan.

Pendorong utama keberhasilan ini adalah hubungan kerja luar biasa yang terjalin antara klien yang sangat tercerahkan (NParks) dan tim desain utama untuk proyek tersebut (Grant Associates, Wilkinson Eyre, Atelier One, dan Atelier Ten), yang didukung oleh tim desain lokal yang terdiri dari para insinyur eksekutif dan arsitek, termasuk CPG Consultants dan Meinhardt. Sifat proyek yang sangat kolaboratif dan terintegrasi mencerminkan operasi kerja dari para desainer yang berbeda, termasuk kemampuan dan keterbukaan mereka untuk terlibat dalam bidang masing-masing.

## BAB 16

### SKY STUDIOS HOUNSLOW: INTERNET UNTUK SEGALA HAL

Dalam desain, konstruksi, dan pengoperasian Sky Studios, yang menjadi tempat penyedia hiburan satelit dan kabel Inggris Sky, manusia dan lingkungan menjadi agenda utama dengan tingkat keterlibatan yang tinggi antara penghuni dan sistem bangunan yang dibutuhkan. Ventilasi alami yang tersedia dan teknologi yang dimanfaatkan secara maksimal untuk bangunan yang berkelanjutan dan hemat energi dengan ruang yang dirancang untuk memungkinkan sirkulasi pengguna yang mudah dan mengoptimalkan peluang untuk percakapan spontan, dengan aspek cerdas yang digunakan dalam tata letak dan penyajian bangunan untuk membantu pengguna.

Potensi peningkatan ketersediaan data antara manusia dan bangunan menawarkan peluang hubungan yang lebih produktif antara bangunan dan penghuninya 'internet untuk segala hal' adalah hubungan objek fisik dan virtual melalui pemanfaatan penangkapan data dan kemampuan komunikasi, bagian kedua dari bab ini memberikan wawasan tentang peluang perintis dalam lingkungan binaan yang ditawarkannya.

#### 16.1 SKY STUDIOS

##### Pendahuluan Konteks Studi Kasus

Topik bangunan cerdas muncul dalam industri dan berkembang dengan cepat. Jadi, setiap studi kasus tentu menunjukkan kerangka waktu pengembangan yang membeku yang memberi konteks tertentu. Yang mengarah ke studi kasus adalah preseden yang dibangun yang menawarkan inspirasi dan pelajaran yang dipelajari serta pengembangan akademis dan kepemimpinan pemikiran. Sky Studios (Kotak 16.1) tidak terkecuali, dan banyak elemen yang terintegrasi ke dalam pemikiran desain dan konstruksi dimulai pada bangunan sebelumnya oleh praktik tersebut.

Dan sementara itu menggambarkan banyak aspek pengembangan kecerdasan dalam bangunan, ini juga merupakan platform untuk mempertimbangkan masa depan dengan setiap proyek kami berusaha untuk melakukan lebih banyak dengan lebih sedikit dan lebih baik dari sebelumnya. Kombinasi khusus dari klien yang menentukan teknologi, tenaga kerja yang muda dan bersemangat, dan visi dari pimpinan Sky yang harus dipimpin oleh bisnis dari depan memberikan peluang unik untuk melihat masa depan dengan percaya diri.

Selama desain dan pelaksanaan Sky Studios, teknologi dalam lingkungan yang dibangun dan penerimaan masyarakat terhadap data dan informasi yang dibagikan bergerak maju. Bangunan ini merintis jalan baru dalam berbagai cara dan memadukan teknologi baru secara menyeluruh, tetapi karena risiko terhadap bisnis Sky, bangunan ini bukan tempat uji coba untuk teknologi eksperimental yang radikal, melainkan menunjukkan inovasi yang menarik dengan menggunakan teknologi yang telah terbukti untuk bangunan pertama dalam rencana induk yang baru ini. Meskipun demikian, peluang unik yang ditawarkan oleh Sky

membuat kami menatap masa depan.

#### Kotak 16.1 Sky Studios – fakta utama

Tanggal

Penyelesaian sertifikat praktik: 11 Februari 2010

Luas

Bangunan utama GIA: 23.069 m<sup>2</sup> (tidak termasuk instalasi atap eksternal)

Luas lantai yang dirawat pada laporan Bagian L dan EPC adalah 21.442 m<sup>2</sup> ('luas lantai yang dirawat' adalah terminologi yang digunakan dalam Bagian L – ini setara dengan luas internal bersih, kecuali jika ada area ruang yang tidak dipanaskan, misalnya gudang penyimpanan)

Energi

Analisis beban untuk tahun yang diprediksi 2011: 14.760.000 kWh per tahun = 688 kWh/m<sup>2</sup> (alasan untuk perbedaan besar adalah bahwa angka-angka awal ini didasarkan pada beban masa depan, yang mungkin tidak terjadi selama 4 atau 5 tahun ke depan)

Insinyur arsitek, struktur, dan layanan bangunan: Arup Associates

Kontraktor utama: Timotius Agung

Klien: Wimbi Sudarso

Definisi bangunan cerdas juga telah berkembang selama beberapa tahun terakhir. Awalnya mempertimbangkan perkembangan teknologi informasi dalam sistem kontrol bangunan, yang mendukung respons canggih terhadap peningkatan jumlah masukan, inti dari bangunan cerdas tetap merupakan manifestasi respons kuasi-cerdas dari sistem teknologi informasi dalam bangunan. Contohnya adalah di Plantation Place, pengembangan kantor penting yang dirancang untuk The British Land Company, tempat teknik biomimetik (lihat Bab 2) mengilhami pengoperasian cerdas sistem peneduh fasad.

Di sini, fasad adalah kulit ganda yang memiliki tirai surya antara panel luar dan sistem fasad bagian dalam. Keinginan untuk menjaga tirai tetap terbuka selama mungkin di siang hari dan sepanjang tahun menghasilkan solusi bahwa matriks sensor di bagian luar bangunan akan mengontrol tirai secara lokal, dan hanya menutupnya saat sinar matahari langsung mengenai jendela. Ini kemudian akan memungkinkan efek bayangan dan akan merespons langsung terhadap rangsangan radiasi matahari.

Namun ini adalah sistem yang hanya beroperasi di latar belakang. Orang-orang mungkin menyadarinya tetapi mereka tidak secara langsung memengaruhinya, dan kecerdasannya bersifat otomatis. Kita dapat menganggap bahwa sistem ini aktif karena memiliki bagian-bagian yang bergerak dan merespons rangsangan radiasi matahari. Namun, sistem ini pasif terhadap manusia. Sama seperti topik keberlanjutan yang sekarang ada di mana-mana berkembang dari minat minoritas terhadap perubahan iklim dan lingkungan hingga mencakup berbagai macam pertimbangan, kecerdasan dalam bangunan pun telah berkembang dalam berbagai pertimbangannya.

Jadi, kita sekarang menganggap bangunan cerdas juga menunjukkan kecerdasan dalam proses desain, konstruksi, dan operasional, solusi cerdas yang memberikan nilai khusus kepada

pengguna dan konstruktor, serta keberkelanjutan mungkin. Pemahaman awal tentang kecerdasan dalam bangunan difokuskan pada otomatisasi cerdas dari segala sesuatu di dalam bangunan, yang menunjukkan bahwa pengguna berada dalam gelembung yang terkontrol sempurna. Selama optimalisasi sistem ini, pemikiran paralel menunjukkan bahwa nilai bangunan ada pada penghuninya.

Sementara pengoptimalan sistem lebih lanjut tentu saja merupakan kunci masa depan, aspek interaksi dengan manusia telah menyebabkan percakapan tentang nilai bergeser ke bagaimana bangunan tidak hanya memungkinkan manusia untuk memenuhi potensinya tetapi juga bagaimana bangunan cerdas berinteraksi dengan manusia cerdas. Hal ini membuat kami mengusulkan bahwa, untuk memenuhi definisi bangunan cerdas yang lebih luas, manusia perlu dilibatkan dalam pertimbangan ini.

Perluasan internet dan pengembangan alamat Protokol Internet (IP) untuk elemen bangunan yang jumlahnya semakin banyak dan skalanya semakin kecil membawa kita ke titik kritis ketersediaan data dan 'internet untuk segala hal'. Jadi, revolusi teknologi digital yang berkelanjutan berpotensi mengubah cara kita berinteraksi dengan bangunan dan memenuhi potensi bangunan dan orang-orang yang terpengaruh olehnya secara radikal.

Kami menyajikannya sebagai bagian kedua dari bab ini, untuk memberikan wawasan tentang ke mana Sky dan yang lainnya dapat melangkah selanjutnya sebagai pelopor dalam lingkungan binaan. Pertanyaan 'Sekarang kita dapat melakukan apa saja, apa yang harus kita lakukan?' belum pernah membutuhkan jawaban cerdas.

### **Bagaimana Sky Studios Menjadi Bangunan Cerdas?**

Sky Studios adalah rumah teknologi baru bagi penyedia hiburan satelit dan kabel Inggris, Sky. Bangunan ini menyatukan tiga fungsi penyediaan berbagai saluran televisi satelit. Fungsi pertama adalah pembuatan konten program di studio, yaitu 'pembuatan' program. Fungsi kedua adalah penyuntingan dan penyusunan konten ini, dan konten lainnya, menjadi program televisi dan kemudian menjadi saluran, yang disebut 'pembentukan' siaran.

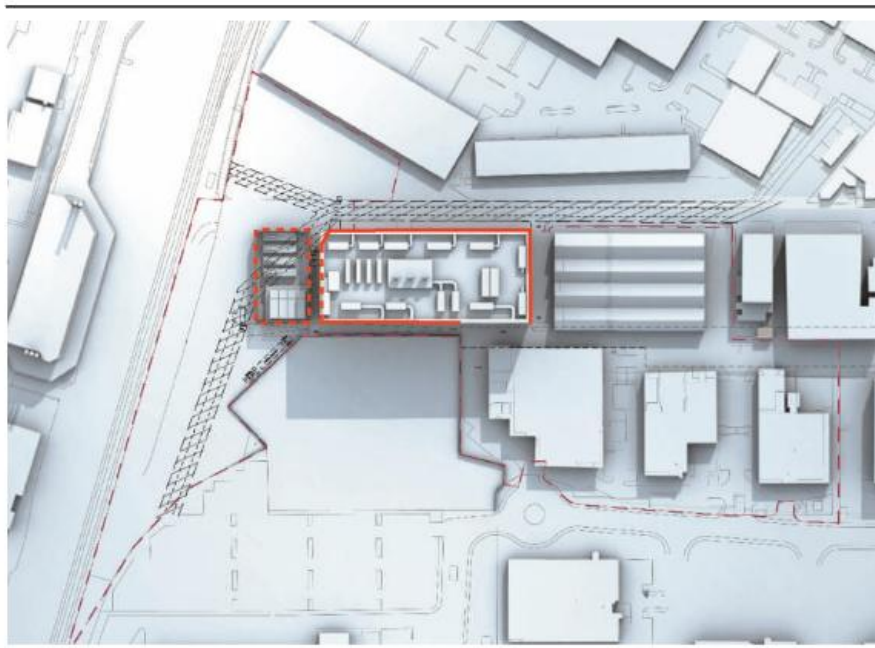
Fungsi ketiga adalah pengumpulan dan transmisi saluran ke satelit dan sistem jaringan kabel, yang disebut 'pembagian' program. Singkatnya, tujuan bangunan Sky Studios adalah untuk 'membuat, membentuk, dan berbagi'. Jadi, bangunan ini berisi studio dan semua ruang pendukung, kantor dan ruang penyuntingan, serta ruang platform teknologi dan pusat data, tempat staf Sky menggunakan teknologi perintis ini dalam upaya media kreatif mereka.

Dalam skalanya, bangunan besar ini kira-kira setara dengan dua blok Kota New York panjangnya sekitar 100 m dan lebarnya 50 m. Lokasi tersebut dibatasi oleh akses dan bangunan lain, yang menyebabkan penggunaan lokasi secara intensif. Denah lokasi ditunjukkan pada Gambar 16.1. Sky Studios adalah tipologi bangunan yang rumit, yang mengintegrasikan sejumlah fungsi yang beragam ke dalam satu bangunan, meskipun semua fungsi ini menggunakan teknologi tercanggih dalam industri penyiaran media. Kecerdasan ditunjukkan dalam sejumlah cara.

- Proses desain dengan integrasi luar biasa antara para peserta, yang memfasilitasi agenda yang luas dan komprehensif untuk bangunan tersebut.
- Kerangka kerja yang luas untuk melibatkan orang-orang baik dalam proses desain dan

konstruksi maupun hasil bangunan.

- Kecerdasan diekspresikan secara holistik di seluruh desain, dari tata letak dan pengoptimalan strategis hingga pemahaman orang-orang dan respons mereka terhadap lingkungan yang dibangun.
- Penggunaan awal pemodelan informasi bangunan (BIM) dan lingkungan virtual terintegrasi untuk fase desain dan konstruksi.
- Sejumlah 'yang pertama' pada berbagai skala, yang mengukuhkan reputasi bangunan dan Sky sebagai pelopor sejati.
- Teknologi bangunan yang radikal dan inovatif untuk mendukung kombinasi unik berbagai aktivitas yang dibutuhkan dalam bangunan, yang kami sebut sebagai 'kecerdasan latar belakang'.
- Sebuah platform untuk pengembangan tingkat keterlibatan yang tinggi antara penghuni bangunan dan sistem bangunan, yang kami sebut sebagai 'kecerdasan latar depan'.



**Gambar 16.1 Rencana Lokasi Sky Studios, Menunjukkan Kendala**

- Berbagai aspek kecerdasan baik dalam tata letak dan penyajian bangunan kepada orang-orang, yang kami sebut sebagai 'kecerdasan pasif', maupun interaksi informasi yang aktif dan dinamis antara orang-orang, yang kami sebut sebagai 'kecerdasan aktif'.
- Sebuah batu loncatan untuk 'internet of things' di masa depan.

Dengan demikian, berbagai aspek bangunan cerdas dapat diilustrasikan dengan bermanfaat. Dalam semua aspek ini, pertanyaan tentang nilai harus dipahami. Sementara visi dan pemikiran esoteris dapat menyoroti jalur untuk membangun kecerdasan, realisasi

bangunan cerdas yang sukses harus menawarkan nilai bagi mereka yang membangun bangunan dan bagi pengguna ruang dan fungsionalitas yang disediakan. Pertanyaan tentang nilai ini harus didekati pada tingkat holistik untuk mencakup aspek yang lebih luas dari kasus bisnis agar keputusan menjadi tepat. Dalam menggambarkan proses desain dan pengambilan keputusan, beberapa konteks dari keputusan ini dapat dilihat.

### **Pertanyaan Tentang Nilai Bangunan Cerdas**

Nilai komersial suatu bangunan dalam hal aset jarang dipengaruhi oleh kecerdasannya, tetapi dampaknya terhadap biaya operasional, kinerja penghuninya, dan bagi bisnis dalam hal profil dan keselarasan dengan aspirasi perusahaan dapat menjadi signifikan. 1: 10: 100 adalah rasio yang umum berlaku yang menyatakan rasio biaya energi untuk menjalankan gedung, membangun gedung, dan biaya orang-orang di dalam gedung.

Dengan demikian, selama beberapa tahun jelas bahwa nilai gedung perkantoran bagi bisnis terletak pada penghuninya. Lebih jauh, penelitian ini mengidentifikasi bahwa bisnis perlu mendapatkan kinerja terbaik dari individu-individu yang paling bernilai. Jadi penting bagi kita untuk memaksimalkan efektivitas dan produktivitas penghuni gedung. Dengan cara ini, bangunan cerdas dapat memenuhi potensinya, dengan melibatkan orang-orang. Keterlibatan ini merupakan titik fokus bangunan cerdas yang sukses.

Namun, sekolah arsitektur dan teknik kita jarang berhasil melibatkan potensi orang-orang di dalam gedung. Sky Studios berbeda dari perspektif ini, dan menempatkan nilai dan harga diri penghuni serta hubungan mereka dengan bangunan sebagai fokus proyek. Dua studi kasus yang relevan di sini adalah kantor BT Workstyle 2000 di Brentford dan gedung Kampus Arup di Blythe Valley Park dekat Solihull.

Kedua gedung ini mengusung tema interaksi antara penghuni dan lingkungan binaan, dan dirancang oleh Arup Associates. Kedua gedung ini menjadi subjek evaluasi pascahunian untuk memahami, melalui studi pihak ketiga dengan penghuni, keberhasilan proyek dalam hal kepuasan dan peningkatan produktivitas yang mereka rasakan sendiri atas akomodasi penghuni sebelumnya.

Kedua gedung ini berkinerja dengan sangat baik, keduanya berada di 2% teratas dari gedung yang disurvei. Lebih jauh, dalam proyek BT Brentwood, peningkatan produktivitas yang dilaporkan sendiri jika direalisasikan dalam bentuk penghematan gaji akan membiayai seluruh proyek dalam waktu 3 tahun. Ide-ide yang dikembangkan di kedua gedung ini menginformasikan proyek Sky Studios dalam sejumlah cara.

- Mengonfigurasi gedung dari prinsip-prinsip awal untuk memungkinkan cahaya dan ventilasi alami tersedia bagi orang-orang di sebagian besar gedung sebagaimana mestinya.
- Memungkinkan orang mengendalikan langsung lingkungan sekitar mereka, termasuk membuka jendela agar penghuni dapat memberikan ventilasi alami di tempat kerja mereka kapan dan di mana memungkinkan.
- Antarmuka ke sistem bangunan untuk berkomunikasi dengan penghuni kapan jendela dapat dibuka, kontrol pencahayaan, dll.
- Sistem ventilasi latar belakang otomatis saat membuka jendela tidak tepat (ventilasi

fasad di Kampus, mekanis di BT Brentwood).

- Pemahaman tentang massa termal dalam penyediaan kenyamanan.
- Strategi penghematan energi yang radikal.

Bagian dari penelitian Building Use Studies (BUS) menyajikan hasil dari berbagai gedung perkantoran dan strategi ventilasinya. Gambar 16.2 menyajikan BT Brentwood sebagai ikon yang lebih besar bersama dengan hasil dari gedung-gedung yang terakhir dikunjungi yang juga dipelajari oleh BUS. Ini menunjukkan korelasi yang kuat antara produktivitas dan kenyamanan yang dilaporkan sendiri oleh penghuni. Meskipun korelasinya lebih lemah, gedung ber-AC juga cenderung berkinerja lebih buruk daripada gedung-gedung dengan moda campuran.

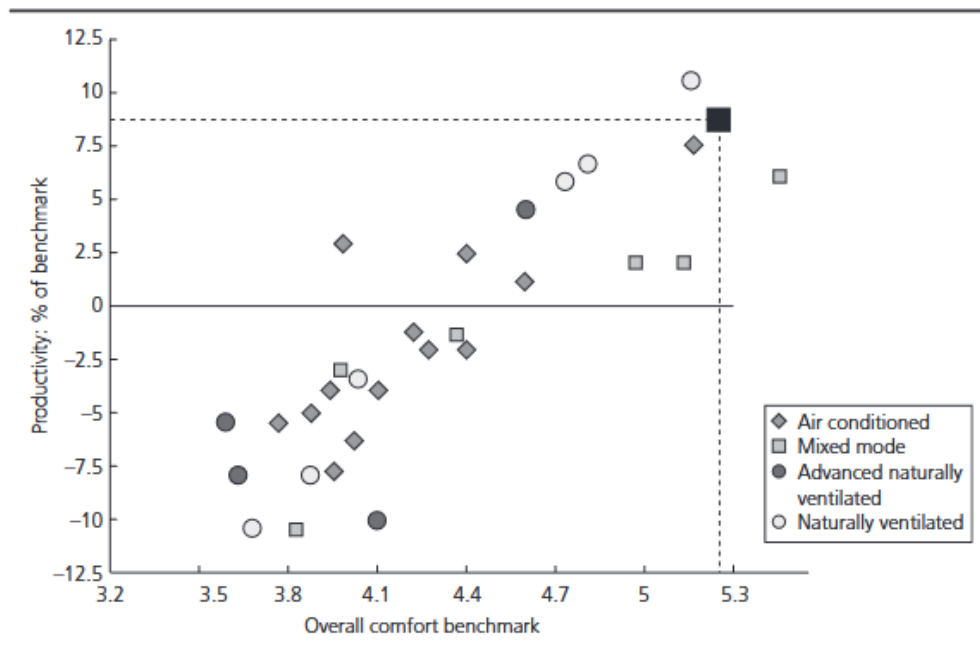
Yang penting bagi kinerja bangunan-bangunan ini, tempat orang berinteraksi dengan bangunan dan sistemnya, adalah kapasitas orang untuk memahami apa yang mungkin dan memang dibutuhkan untuk kenyamanan dan untuk menyetujui dalam kelompok-kelompok kecil tindakan untuk langkah-langkah kenyamanan seperti membuka dan menutup jendela, seperti juga kecepatan respons suatu tindakan terhadap perasaan tidak nyaman.

Di sini, aspek sosial menambah kompleksitas dan ketelitian yang dengannya peluang untuk bangunan yang lebih baik perlu didorong melalui proyek, dengan berfokus pada pengguna yang akan menggunakan sistem dan mereka yang di masa mendatang perlu memahaminya. Lapisan sosial terhadap teknologi ini berarti bahwa semua peserta dalam desain dan hunian bangunan memerlukan pemahaman dan simpati terhadap keterlibatan intuitif orang dan bangunan.

Misalnya, proyek BT menampung pekerja yang selalu berada di dalam gedung, dan juga pekerja keliling yang hanya mengunjungi gedung sesekali dan dengan demikian mungkin tidak terbiasa dengan kontrol jendela. Solusi untuk BT adalah menempatkan mereka yang selalu bekerja di dalam gedung agar dekat dengan jendela dan pengunjung sementara di area yang dikontrol secara mekanis secara permanen. Dengan demikian, dapat terjadi budaya belajar membuka jendela, dan pengunjung sementara tidak perlu khawatir atau bingung.

Hal ini menyebabkan pekerja sementara, yang dalam kasus ini adalah manajer yang lebih senior, ditempatkan jauh dari jendela dan karenanya memiliki pandangan ke luar pembalikan dari pendekatan tradisional terhadap tata letak kantor. Ketika desainer berusaha mengadopsi mekanisme yang dikendalikan pengguna untuk kontrol, masalah ini menggambarkan bahwa pemahaman yang baik tentang orang sama pentingnya dengan teknologi, karena kerusakan pada keduanya akan mengakibatkan sistem berkinerja buruk dan bangunan yang tidak nyaman.





**Gambar 16.2 BT Brentwood, Essex, 2000. Hasil Evaluasi Pasca Hunian BUS Dengan Korelasi Produktivitas Dan Kenyamanan Yang Dilaporkan Sendiri**

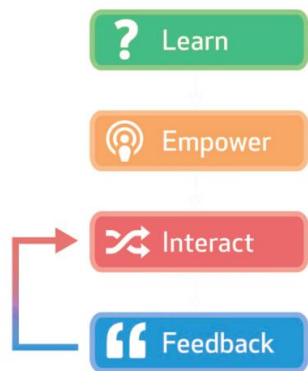
### Proses Desain Untuk Bangunan Cerdas

Sementara bangunan ikonik dapat menjadi gagasan dari seorang desainer auteur tunggal, bangunan cerdas memerlukan kolaborasi yang erat dan setara dari banyak individu dalam tim yang dipimpin dengan kuat. Arup Associates didirikan hampir 50 tahun yang lalu untuk memelopori struktur tim desain kolaboratif baru di mana tidak ada hambatan antara disiplin desain dan di mana arsitek, insinyur dan, pada saat itu, konsultan biaya membentuk satu tim dengan satu biaya dan tanggung jawab bersama untuk kesuksesan arah yang sama.

Praktik ini mencontohkan kesuksesan melalui komitmen terhadap cara kerja ini, dan hampir secara unik tidak akan menerima komisi di mana disiplin inti arsitektur dan teknik tidak terlibat. Hambatan dalam struktur tim yang lebih tradisional tidak dapat dihindari di mana ada organisasi yang berbeda yang berkolaborasi, tidak peduli seberapa baik niat kolaborasi tersebut.

Sikap keterbukaan yang mendasar ini meluas ke kolaborator perusahaan. Sementara tim tradisional akan memiliki peserta yang sama dan mereka semua akan berniat untuk bertindak secara kolaboratif, fakta bahwa mereka berasal dari praktik yang berbeda berarti bahwa mengejar bangunan cerdas memiliki hambatan. Keberhasilan konfigurasi ini dipastikan dengan mendorong pendapat yang kuat untuk diungkapkan dalam tim untuk menciptakan budaya ketegangan dan ide yang kemudian dapat disempurnakan oleh tim menjadi solusi holistik.

Aspek penting bagi Arup Associates adalah mencari umpan balik tentang bangunannya, sehingga perusahaan dapat memahami apa yang berhasil saat berinovasi dan apa yang perlu dikembangkan lebih lanjut. Prosesnya dirangkum dalam Gambar 16.3.



**Gambar 16.3 Proses Umpan Balik Arup Associates Untuk Implementasi Inovasi Dengan Pengguna**

Sky adalah contoh bagaimana desain cerdas difasilitasi oleh hubungan tim yang efektif. Tim multi-profesional ini diciptakan khusus untuk proyek berdasarkan tim kepemimpinan pemenang kompetisi karena hubungan telah dijalin dengan tim sisi klien. Tim konsultan sudah mencakup spesialis seperti ahli akustik dan fisikawan lingkungan, yang keduanya penting untuk keberhasilan proyek. Klien dan tim proyeknya dibangun ke dalam tim dengan anggota utama yang terlibat erat sejak awal.

Dalam kasus Sky, kepemimpinan teknik dan proyek memiliki pandangan kuat yang didorong oleh kebutuhan dan pengalaman khusus mereka pada kebutuhan teknis bangunan, dan ini membentuk ringkasan dan pelaksanaan desain dan bangunan. Di Sky, berbagai tim untuk platform teknologi mereka sendiri, studio, dan aspek tertentu dari bangunan memiliki pandangan yang sama kuatnya, dan semua ini perlu dilibatkan dan dikerjakan.

Kepemimpinan yang kuat diperlukan untuk mendorong dan melibatkan ide-ide, dengan banyak lokakarya menyeluruh yang bekerja dengan para pemangku kepentingan untuk memahami peluang, risiko, dan kendala dengan arah desain tertentu. Beberapa pendekatan terhadap desain dan hubungan dengan bisnis mendorong klien untuk menonjol dari tim desain.

Ini bisa menjadi jalur yang lebih mudah bagi klien, dan bergantung pada tim desain yang secara implisit memahami dan menginterpretasikan kebutuhan bisnis, dan sering diterapkan di tempat-tempat yang tipologi bangunannya sudah mapan dan standarnya sudah ada, misalnya Panduan BCO untuk Spesifikasi Kantor (BCO, 2009). Namun, untuk Sky Studios, dampak terperinci dan penyelesaian terperinci dari ekspektasi yang bertentangan yang tak terelakkan dari bangunan tersebut ditemukan hanya dengan sesi lokakarya menyeluruh, khususnya untuk area khusus dan khusus seperti studio dan teknologi platform.

Perlu dicatat secara khusus bahwa Sky tetap berkomitmen pada gagasan untuk melakukan sesuatu yang istimewa di Sky Studios. Sepanjang perjalanan panjang yang tak terelakkan untuk mewujudkan inovasi sejati, Sky dan pemangku kepentingan lainnya seperti pemerintah daerah (Hounslow) dan manajer konstruksi serta klien bersama Stanhope menunjukkan kekuatan yang berkelanjutan.

## Penggerak Utama Desain

Fungsionalitas teknis bangunan merupakan hal terpenting bagi keberhasilan Sky, sehingga pengembangan aspek ringkasan ini menjadi prioritas. Fungsi-fungsi yang diperlukan untuk 'membuat, membentuk, dan berbagi' ini dapat disederhanakan menjadi ruang aktivitas berikut.



**Gambar 16.4** Bangunan Komersial Cerdas Harus Bereaksi Terhadap Dan Mengakomodasi Perubahan Gaya Kerja

- Studio dan ruang pendukung terkait (misalnya ruang rak peredup, ruang hijau, akses, dan lobi). Studio berukuran besar dan tingginya dua kali lipat, serta memerlukan akses ke luar untuk pemandangan yang dapat dipindahkan, dsb., dan bersifat 'kotak hitam', yang memerlukan tingkat isolasi akustik yang ekstrem dari getaran dan kebisingan eksternal.
- Studio dan ruang rekaman dimasukkan ke dalam lingkungan kantor untuk menciptakan suasana rekaman yang hidup dan kreatif.
- Ruang edit baik ruangan kecil maupun dalam denah terbuka. Jika ruangnya kecil, maka diperlukan lingkungan yang tertutup rapat.
- Pusat data berbagai ukuran lingkungan pemrosesan data, semuanya kotak hitam dan memerlukan pembuangan panas.
- Kantor umum, denah terbuka dan luas, untuk mengakomodasi pengeditan umum, administrasi, dan berbagai fungsi penting yang berfokus pada orang (Gambar 16.4).

- Ruang kontrol platform, tempat saluran dirakit, dikoordinasikan, dan ditransmisikan campuran kantor terbuka, dengan penggunaan TI intensif oleh staf.

Ruang aktivitas ini perlu didukung oleh sistem listrik, mekanik, dan kesehatan publik yang kuat dan tangguh yang menyediakan layanan bagi bisnis bahkan jika suatu bagian pabrik rusak atau sedang dirawat. Meningkatkan ketahanan sistem meningkatkan kompleksitas dan biaya, sehingga area yang memerlukan dukungan harus dipilih dengan cermat, dan ini menjadikan keseimbangan pilihan sebagai hal mendasar bagi bisnis klien.

Berbeda dengan banyak kasus bangunan cerdas, kepemimpinan teknik di Sky mengoperasikan pendekatan 'langsung' terhadap masalah operasional, sehingga sistem dapat dibuat lebih sederhana dan memberikan peringatan akan intervensi manusia daripada menjadi otonom dan otomatis dalam responsnya. Secara struktural, rentang bentang, tuntutan akustik, dan kebutuhan bangunan untuk merespons perubahan fungsi merupakan pendorong utama.

Di atas semua ini terdapat inovasi untuk membuat bangunan hemat biaya dan lebih cepat serta lebih mudah dibangun. Bagi Sky dan Arup Associates, keberlanjutan dan, khususnya, emisi karbon rendah telah menjadi keharusan bisnis yang eksplisit untuk jangka waktu yang lama. Pandangan umum ini akhirnya menghasilkan serangkaian keputusan desain dan konstruksi yang luar biasa yang menghasilkan bangunan studio paling berkelanjutan di dunia.

Bagi klien dan tim konsultan, pemahaman tentang dampak dan peluang ini telah berubah secara signifikan dalam 20 tahun terakhir. Saat ini, bangunan tersebut merupakan bagian dari berbagai sistem yang dampaknya dirasakan oleh masyarakat dan lingkungan fisik yang lebih luas. Meningkatnya kesadaran akan keberlanjutan dalam lingkungan yang dibangun selama 40 tahun terakhir telah meningkatkan masalah konstruksi, operasional, dan akhir masa pakai. Sejak awal tahun 1970-an, para desainer telah berupaya untuk mengurangi konsumsi energi bangunan, yang berkembang pesat untuk menghubungkan berbagai macam masalah.

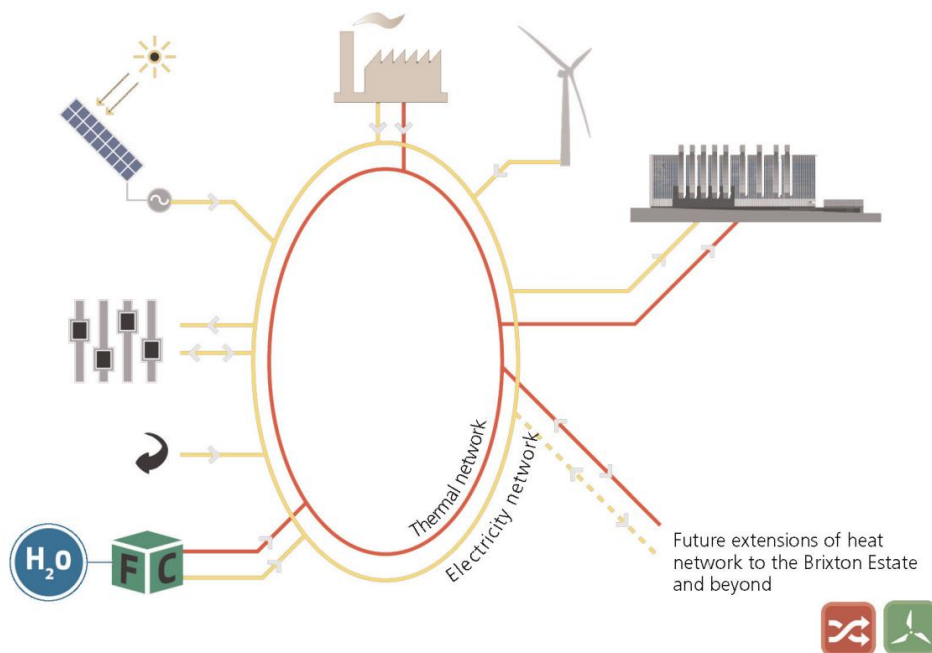
Ini termasuk bahan, rantai pasokan, dampak sosial, dan pemikiran ekonomi untuk memfasilitasi dan memahami prioritas. Keberlanjutan adalah kerangka kerja manajemen risiko yang paling komprehensif, karena sekarang mencakup banyak nilai pada berbagai skala. Bagi Arup Associates dan Sky, keberlanjutan telah menjadi landasan pemikiran. Jadi, pemikiran berkelanjutan menjadi prioritas bagi tim di semua skala proyek.

Aspirasi desain untuk lokasi tersebut adalah untuk membangun kebanggaan Sky dalam memimpin televisi melalui arsitektur yang bersahaja, dalam menjalankan lingkungan yang kreatif bagi bisnis yang paling berbakat dan paham teknologi untuk berkembang. Bangunan tersebut dimaksudkan untuk mengekspresikan aktivitas dan teknologi di dalamnya melalui artikulasi bentuk, menghindari arsitektur bergaya. Bangunan tersebut kemudian memenangkan penghargaan regional Royal Institute of British Architects untuk bangunan komersial dan berkelanjutan. Dengan landasan persyaratan teknis, aspek kembar manusia dan lingkungan melengkapi pendorong utama untuk pengembangan Sky Studios.

#### **Skala Lokasi Sistem Cerdas Latar Belakang**

Sky Studios merupakan bagian dari visi jangka panjang lokasi tersebut, yaitu

menyatukan ribuan staf Sky ke dalam kampus khusus. Dalam mengambil pandangan jangka panjang terhadap rencana lokasi tersebut, peluang untuk membangun infrastruktur berkelanjutan telah dipahami, dan lokasi tersebut dikonfigurasi sedemikian rupa sehingga Sky Studios berada dalam konteks masa depan yang hijau. Pendekatan radikal diambil untuk penggunaan energi terbarukan, karena intensitas energi gedung Sky Studios berarti bahwa penggunaan panel fotovoltaik atau pompa panas yang bersumber dari tanah hanya akan menggores permukaan permintaan energi.



**Gambar 16.5 Latar Belakang Intelijen Infrastruktur Yang Dikonfigurasi Untuk Masa Depan**

Dengan demikian, pembangkit listrik dan panas pendingin gabungan (CCHP) berbahan bakar serpihan kayu dirancang untuk lokasi tersebut, untuk menyediakan daya bagi Sky Studios dan lokasi yang lebih luas dari berbagai sistem, termasuk turbin, panas buangan yang direklamasi melalui distribusi air panas, dan distribusi air dingin yang dihasilkan dari pendingin serapan yang dialiri sebagian panas buangan.

CCHP menyediakan daya listrik sebesar 1 MW dan energi termal sebesar 4 MW. Kompleks pabrik terpisah ini melayani kebutuhan energi masa depan dari seluruh rencana lokasi melalui infrastruktur pipa dan, karena kelebihan panas, juga dapat terhubung ke bagian lain dari masyarakat sekitar di masa mendatang. Sistem infrastruktur ini dikonfigurasi untuk berbagi panas buangan dari Sky Studios dan menghubungkan berbagai sumber energi seiring dengan perkembangan rencana lokasi (Gambar 16.5).

#### **Dasar-Dasar Tata Letak Sky Studios**

Pengembangan tata letak dan ringkasan yang 'bertahap' selama beberapa bulan memungkinkan terciptanya efisiensi melalui proses desain yang cerdas. Keterlibatan multi-pemangku kepentingan yang intens dengan gabungan tim arsitektur dan teknik memberi Sky kesempatan untuk mendorong dan menyeimbangkan kebutuhan khusus dan spesialis dari

bagian teknis dan kreatif bisnis.

Proses ini memungkinkan desain dioptimalkan hingga ke tingkat yang terperinci dengan kepemimpinan yang kuat dari bengkel kerja untuk mempertahankan gambaran umum proyek. Ide tentang cara mengoptimalkan proyek datang dari banyak bagian tim klien dan konsultan, dan bangunan yang dihasilkan disesuaikan dengan kebutuhan khusus Sky sambil memungkinkan fleksibilitas dan kemampuan beradaptasi di masa mendatang.

Contoh fleksibilitas bangunan dan kemampuannya untuk mengakomodasi perubahan signifikan muncul selama fase konstruksi, ketika studio Sky Sports News dipindahkan ke dalam bangunan, bukan di studio kotak hitam tetapi dengan aspirasi untuk tata letak studio 'di lantai' yang lebih bebas. Pelat lantai kantor yang normal disesuaikan untuk mengakomodasi fungsi setinggi dua lantai, peka terhadap akustik, dan intens secara teknologi ini.

Karena struktur dan sistem rekayasa telah dirancang untuk mengakomodasi perubahan, perubahan tersebut dapat diakomodasi secara langsung. Keputusan awal untuk memiliki ruang kosong setinggi 800 mm di seluruh gedung, dengan biaya yang terjangkau, telah dibuat untuk memungkinkan setiap bagian gedung disesuaikan dengan penggunaan studio atau data.

Fleksibilitas ini terbukti bermanfaat. Salah satu manfaat utama dari lokakarya rutin dengan suara yang sama bagi semua peserta selama berbulan-bulan adalah bahwa tata letak strategis gedung berevolusi untuk merangkum konfigurasi terbaik untuk semua disiplin ilmu. Mendapatkan konfigurasi dasar yang tepat sehingga semua disiplin ilmu kemudian dapat mengembangkan sistem dan ruang yang optimal adalah tulang punggung desain cerdas, dan menghindari satu atau lebih disiplin ilmu mengorbankan pekerjaan mereka demi dominasi disiplin ilmu lain. Konfigurasi dasar gedung ini adalah sebagai berikut.

- Studio berada di lantai dasar, untuk akses mudah ke luar dan memiliki ketinggian ganda, mendukung ruang yang berdekatan dan terhubung.
- Di lantai tengah terdapat kantor, dengan kantor terbuka di bagian luar sehingga orang-orang dapat menikmati pemandangan dan cahaya matahari serta pusat data dan ruang kotak hitam lainnya yang terletak di bagian dalam, di tengah gedung.
- Di lantai atas terdapat platform transmisi, area terpadu untuk semua aktivitas 'berbagi'.
- Atap menampung semua peralatan ventilasi dan pendingin udara yang dibutuhkan oleh fungsi-fungsi yang membutuhkan banyak energi yang melepaskan panas. Pemanas ruangan sepenuhnya berasal dari panas yang dipulihkan di dalam gedung.
- Standar, lebih tinggi dari ketinggian langit-langit konvensional, untuk membantu ventilasi alami dan membantu penetrasi cahaya matahari serta memberikan fleksibilitas, dengan pasokan di bawah lantai dan ekstraksi tingkat tinggi untuk memaksimalkan pendinginan gratis dan juga kualitas udara penghuni.
- Inti di kedua ujungnya, dengan rute mekanik, listrik, dan kesehatan masyarakat yang ditetapkan dengan jelas yang ditetapkan berada di kedua sisi zona teknologi kotak hitam pusat.
- Pusat energi berdekatan dengan gedung, menampung peralatan listrik utama yang besar dan sering diakses, termasuk sistem daya siaga untuk digunakan dalam keadaan

darurat, dan berlokasi dekat dengan pabrik CCHP demi efisiensi.

- Bentuk bangunan yang kompak, dengan integrasi ruang yang sangat optimal di dalam lokasi yang sempit.

### **Apa Yang Mungkin Kita Sesali Karena Tidak Mempertimbangkannya?**

Pada titik ketika ringkasan dan konsep bangunan ditetapkan dan pengoptimalan yang didorong dari bangunan dikembangkan dengan tepat, sebuah pertanyaan diajukan oleh tim klien. Ringkasan dan tata letak telah dikembangkan secara ketat sesuai dengan kebutuhan bisnis saat ini, tetapi apa yang mungkin dipertimbangkan oleh tim desain, khususnya dari sudut pandang keberlanjutan, yang mungkin akan mereka lihat kembali dalam 10 tahun dan berharap telah memikirkannya? Konteks tambahannya adalah bahwa setiap tindakan harus masuk akal secara finansial, harus inovatif dan mungkin menjadi pionir. Penggerak utama manusia dan lingkungan mengarahkan pertimbangan yang dikejar oleh tim. Ini dapat diringkas sebagai berikut.

1. Ciptakan tempat untuk orang-orang masukkan 'ruang orang' untuk sirkulasi, pertemuan kasual dan formal, dan ruang kafe bangunan, dengan tangga sirkulasi terbuka dan dikonfigurasi untuk mendorong orang menggunakan tangga, di mana pertemuan kasual mengarah pada percakapan dan dapat memicu pemikiran baru dibandingkan dengan penggunaan lift, di mana orang tetap diam dan tidak terlibat satu sama lain.
2. Konfigurasi ruang sehingga orang merasa menjadi bagian dari usaha yang lebih besar dan dapat berpindah dari satu lantai ke lantai lain dengan mudah melalui penyisipan tangga lokal dan area kerja terbuka (Gambar 16.6).
3. Perkenalkan sumur cahaya internal dan jalur ventilasi untuk meningkatkan ventilasi alami kantor dengan denah terbuka sehingga pelat lantai yang lebih dalam mendapat manfaat dari jendela yang terbuka saat cuaca lebih sejuk, tetapi pertahankan 'mode campuran' di mana ruang dapat dikondisikan udara saat diperlukan, yang mengembangkan tema desain di Kampus dan BT Brentwood.
4. Tingkatkan sistem pendinginan pusat data untuk menggunakan pendinginan udara di luar ruangan alih-alih pendingin, yang mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan ketahanan tetapi memerlukan manajemen peralatan yang lebih ketat.
5. Pasang turbin angin besar untuk berkontribusi secara signifikan terhadap penggunaan energi gedung dan buat pernyataan yang kuat kepada staf Sky dan masyarakat sekitar tentang Sky dan komitmennya terhadap pengurangan emisi karbon.
6. Konfigurasi studio untuk menggunakan ventilasi alami sebagai default dan hanya gunakan sistem mekanis saat benar-benar diperlukan.

Semua intervensi ini memerlukan integrasi erat ke dalam bangunan, dan mengekspresikan berbagai aspek bangunan cerdas. Dua intervensi pertama mencirikan kecerdasan latar belakang pasif, karena tidak memiliki respons dinamis dan tidak memerlukan antarmuka langsung dengan pengguna. Namun, ada interaksi dengan pengguna secara emosional dan perilaku, bahkan melalui konfigurasi tata letak yang sederhana.

Misalnya, tempat baru untuk orang-orang yang dibuat, di ujung pintu masuk gedung,

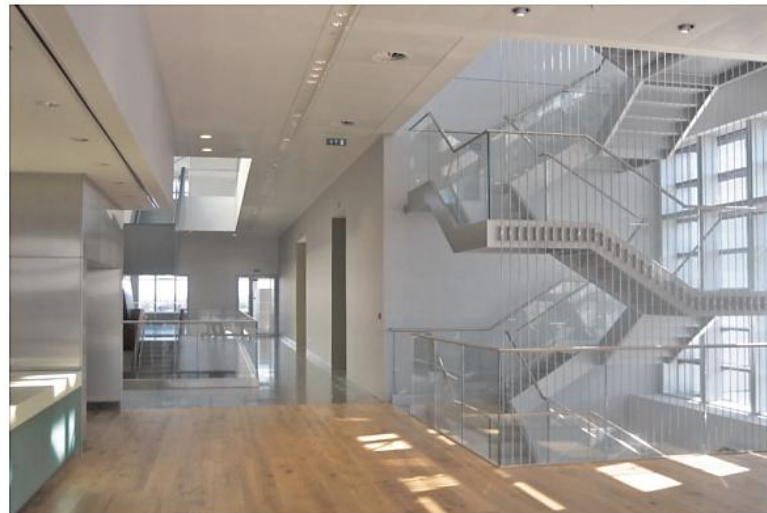


ruang atrium, diisi dengan serangkaian tangga yang ramai dan ruang istirahat, kafe, dan cahaya matahari dari atas. Untuk mendorong penggunaan tangga dengan semua manfaat yang dibawanya, lift dipindahkan agar tidak terlihat dan berada di sekeliling gedung, dan dengan demikian lebih jauh dari tangga dari ruang akomodasi. Jadi, lift masih dapat digunakan jika perlu tetapi sirkulasi vertikal yang paling berhasil adalah tangga.

Ini terbukti berhasil, tetapi kontras dengan banyak bangunan di mana lift memiliki tempat yang menonjol dan tangganya tersembunyi. Langkah ketiga dicirikan oleh kombinasi teknologi latar belakang dan kecerdasan serta kecerdasan latar depan aktif, karena sistem fasad, agar jendela dapat dioperasikan, harus memberi sinyal kepada pengguna saat waktu yang tepat untuk membuka jendela.

Berdasarkan gedung Kampus dan BT, sakelar yang menyala dengan lampu hijau kecil di jendela memberi sinyal saat sistem manajemen gedung menentukan bahwa cuaca sudah tepat untuk mematikan AC di area tersebut dan orang-orang harus membuka jendela. Masalah budaya dan kesadaran yang sama sedang dialami dan mekanisme untuk meningkatkan kesadaran sedang dikembangkan semuanya berfokus pada kebutuhan untuk memberi tahu dan memberdayakan pengguna untuk mengoperasikan jendela di lingkungan perusahaan bersama, sehingga program telah diterapkan untuk melibatkan dan mendidik pengguna.

Langkah keempat adalah latar belakang aktif, karena pengguna tidak menyadarinya, tetapi sistem perlu menanggapi serangkaian masukan dari sistem yang berbeda dan bereaksi sesuai dengan itu. Langkah kelima, turbin angin, tidak ada hubungannya dengan pengguna dan bersifat latar belakang aktif. Namun, klien melaporkan bahwa staf di lokasi merasakan manfaat psikologis yang kuat yaitu 'merasa senang' ketika turbin dipasang dan terlihat berfungsi, dengan desain yang unik disebut sebagai faktor signifikan dalam apresiasinya.



(a)



(b)

**Gambar 16.6 (A) Ruang Orang Konektivitas, Cahaya, Interaksi Sosial; (B) Tangga Secara Intuitif Ditempatkan Sebagai Prioritas**

Yang keenam, ventilasi alami studio, memiliki karakteristik latar belakang aktif dan latar depan aktif, karena beroperasi secara cerdas di latar belakang tetapi penggunalah yang menentukan bahwa hal itu harus diabaikan dan sistem pendingin udara atau pemanas mekanis digunakan. Semua intervensi ini dipelajari dan akhirnya diadopsi untuk bangunan tersebut, manfaat dan dampaknya dinilai dan dipahami dengan cermat.

Dalam hal perintisan, baik turbin angin maupun ventilasi alami studio menimbulkan tantangan teknis yang signifikan dan telah menjadi yang pertama di dunia. Sementara turbin angin memerlukan banyak inovasi teknis dan politik agar dapat disetujui, studio berventilasi alami adalah salah satu fitur teknis yang menentukan bangunan tersebut, dan menawarkan wawasan terbaik tentang bangunan cerdas dan layak untuk dijelaskan lebih lanjut.

#### **Studio Siaran Televisi Berventilasi Alami Pertama Di Dunia**

Studio rekaman dan siaran televisi di Sky Studios dicirikan oleh hal-hal berikut.

- Studio tersebut merupakan volume besar dan tinggi yang memerlukan tata letak yang fleksibel dan berbagai format berbeda untuk diakomodasi dalam pembuatan program.

- Kebutuhan akustik menuntut dan memerlukan tingkat kebisingan sekitar yang sangat rendah (dengan kurva peringkat kebisingan NR25) untuk perekaman program televisi dengan 'mikrofon terbuka', di mana mikrofon boom dapat dengan mudah menangkap kebisingan yang ditransmisikan dari luar studio.
- Letaknya di jalur penerbangan menuju bandara Heathrow di dekatnya, dengan jalan yang dilalui truk di sebelah gedung, sehingga ada potensi gangguan kebisingan melalui getaran dan kebisingan udara melalui struktur gedung atau jalur udara dan retakan apa pun.
- Saat merekam atau menyiarkan, ada kemungkinan beban besar untuk pencahayaan dan kamera, serta audiens yang besar untuk beberapa program.
- Sebagian besar waktu studio dihabiskan untuk persiapan dan pembuatan set.
- Akomodasi teknologi baru dan format rekaman baru, misalnya 3D.
- Rentang suhu yang cukup luas.

Kesulitan dalam mencapai persyaratan teknis, khususnya kebutuhan akustik dan termal, secara historis mengakibatkan studio dianggap sebagai 'kotak tertutup' dan berventilasi mekanis atau ber-AC sepanjang waktu, meskipun saat tidak digunakan, pintu pemandangan ke luar dapat dibuka. Tantangan yang ditetapkan oleh tim adalah menghemat energi dengan memberikan ventilasi alami pada studio sepanjang waktu kecuali jika suhu eksternal tidak memungkinkan karena terlalu panas atau terlalu dingin, dikombinasikan dengan beban termal internal. Diketahui bahwa studio akan memerlukan pemanasan mekanis saat suhu luar sangat dingin, kurang dari sekitar 5°C, atau pendinginan saat suhu panas, lebih dari sekitar 23°C, tergantung pada pencahayaan dan perolehan termal lainnya di dalam ruangan. Tantangan khususnya adalah

- Menghasilkan volume aliran udara yang cukup besar untuk menghilangkan semua panas yang dihasilkan di dalam volume studio selama sebagian besar tahun
- Menciptakan jalur udara yang besar dan rendah hambatan udara ke dalam studio agar udara luar dapat masuk dan udara panas yang digunakan dapat dibuang ke luar dengan tingkat redaman dan isolasi yang sangat tinggi untuk integritas akustik dan getaran.



**Gambar 16.7 Ventilasi Alami Studio Dan Kantor**

- Mengendalikan aliran udara luar sehingga kondisi di dalam tetap stabil meskipun beban internal berubah, suhu udara luar, angin, dll.
- Mengelola suhu di ruang tinggi, terutama di musim dingin, saat udara hangat naik dan tetap berada di tingkat tinggi, sehingga tingkat bawah tetap dingin
- Merancang aliran udara ke dalam ruang dengan cermat, untuk mencegah angin kencang dan menjaga kondisi
- Membuat kontrol otomatis sehingga ventilasi alami bekerja di latar belakang sebagai default, sehingga manajer studio harus mengganti sistem untuk mendapatkan bantuan mekanis.

Solusi desain untuk bangunan ditunjukkan pada Gambar 16.7, dan dirangkum sebagai berikut.

- Panas dari lampu, kamera, dan panel kontrol serta dari audiens mana pun menghangatkan udara di ruang studio yang besar dan udara naik ke atas.
- Saat kondisi eksternal cocok, udara hangat ini naik melalui cerobong besar di bagian luar bangunan untuk keluar ke luar, naik setinggi bangunan dan menghasilkan 'tumpukan' udara hangat.
- Cerobong asap memiliki peredam ganda dan dilapisi secara termal dengan material massa termal rendah untuk menghilangkan kebisingan dari atas yang memasuki studio melalui cerobong asap dan menjaga udara hangat bergerak naik melalui cerobong asap.
- Bentuk bagian atas cerobong asap memanfaatkan angin, untuk menghasilkan tekanan isap yang lebih besar guna melengkapi efek cerobong asap. Bagian atas cerobong asap juga berisi perangkat untuk menahan hujan keluar dan untuk membatasi aliran udara guna memvariasikan jumlah udara yang bergerak melalui cerobong asap.
- Kolom udara hangat yang naik ini menarik udara secara vertikal dari tingkat rendah di studio.
- Isapan menarik udara dari plenum perimeter dan kisi-kisi melalui rongga di bawah lantai studio. Rongga ini diperlukan bahkan dengan studio tertutup untuk isolasi getaran, dan di Sky Studios rongga ini telah dibuat lebih besar untuk menciptakan ruang labirin berkecepatan rendah yang dilapisi secara akustik tempat udara dari luar ditarik ke dalam gedung.
- Peredam pemutus akustik disediakan untuk kisi-kisi masuk yang dapat ditutup jika ada masalah dengan kejadian akustik yang luar biasa atau masalah kualitas udara.

Bila sistem kontrol pusat menentukan bahwa kondisi di dalam studio tidak dapat dipertahankan dengan ventilasi alami, maka instalasi pemanas dan pendingin udara terpisah dinyalakan dan sistem alami dimatikan, dengan peredam cerobong asap ditutup dan cerobong asap digunakan sebagai saluran udara balik ke unit penanganan udara yang dipasang di atap.

Manajer studio memiliki kontrol titik setel suhu yang ditempatkan dengan jelas dan sakelar pengganti yang disediakan di dalam studio, sehingga jika manajer menentukan bahwa fungsi pembuatan program memerlukan kontrol lingkungan mekanis, maka ventilasi alami default dapat segera diganti. Sistem kembali ke ventilasi alami default setelah sesi.

Integrasi intervensi yang secara teknis menuntut seperti itu di dalam gedung memerlukan kolaborasi yang intens antara arsitek, insinyur struktur dan lingkungan, ahli akustik, dan klien karena mode operasional studio diubah dari kontrol otomatis penuh menjadi memerlukan pemikiran dan kerja sama mereka. Tanpa komitmen total semua pihak terhadap gagasan tersebut, yang pertama di dunia ini tidak akan mungkin terjadi.

Cerobong asap dari studio diekspresikan dengan kuat di bagian luar gedung dan membantu mendefinisikan gedung dalam konteks Langitnya (Gambar 16.8). Bersama turbin angin, bangunan tersebut berkontribusi pada ekspresi teknologi dari Sky, baik di dalam lokasinya sendiri maupun untuk masyarakat yang lebih luas.

Ketika sistem tersebut diuji coba di gedung tersebut, sistem tersebut telah beroperasi dalam mode ventilasi alami selama beberapa minggu, dan tidak ada satu pun manajer yang menyadari adanya perbedaan pada studio tertutup mereka, yang menunjukkan bahwa ventilasi alami dapat menawarkan kondisi yang sesuai dan tenang. Ketika beban pencahayaan ditingkatkan sebagai uji coba sistem, ventilasi alami yang terkontrol merespons, dan kondisi tetap terjaga. Keterlibatan penuh dengan manajer studio berarti bahwa pengendalian lingkungan dalam ruang yang menuntut ini dengan cara yang sadar lingkungan telah tercapai.

#### **Antarmuka Antara Bangunan Dan Manusia**

Berdasarkan pengalaman di BT Brentwood dan Kampus, Sky Studios akan dievaluasi pasca-hunian untuk menentukan keberhasilan bangunan, pelajaran apa pun yang dapat dipelajari, dan tindakan apa pun yang diperlukan untuk meningkatkan kepuasan dan tingkat produktivitas di dalam bangunan. Kunci dari semua ini adalah antarmuka informasi antara bangunan dan pengguna, aspek kecerdasan latar depan aktif bangunan. Bagi penghuni dan pekerja Sky Studios, mayoritas merasakan tiga antarmuka dalam hal pengendalian lingkungan mereka.

- Pekerja kantor dengan tata letak terbuka, dengan pengoperasian jendela mode campuran dan ventilasi alami ruang kantor.
- Manajer studio, dengan kontrol titik tetap dan penggantian sistem ventilasi alami.
- Manajer gedung, dengan antarmuka yang kaya data antara berbagai sistem yang terintegrasi atau terpisah.



**Gambar 16.8 Fungsionalitas Lingkungan Yang Dinyatakan Dalam Arsitektur**

Antarmuka ini merupakan sinyal sederhana untuk dampak dan perilaku sosial yang kompleks. Pembelajaran dan pengelolaan ini memerlukan komitmen pengguna dan bisnis yang menemani untuk menciptakan proses berkelanjutan guna penyebaran dan ketersediaan informasi. Penggunaan layar di pintu masuk gedung untuk mengumumkan apakah hari itu adalah hari 'jendela buka' dan keterlibatan jaringan TI perusahaan Sky untuk menginformasikan dan mengingatkan staf melengkapi percakapan langsung dan pelatihan yang ditawarkan di gedung dan sistemnya.

### **Generasi Data Dan Bangunan/Antarmuka Pengguna Berikutnya**

Sky Studios menggunakan berbagai sistem, beberapa terintegrasi dan beberapa independen, untuk mengumpulkan informasi, menggunakan logika untuk menentukan jalur tindakan, dan menggunakan aktuator untuk mengimplementasikan tindakan tersebut, beberapa melibatkan manusia tetapi beberapa otomatis. Potensi untuk penginderaan, logika, dan tindakan yang tertanam telah berkembang selama beberapa waktu, berdasarkan karya seperti fasad biomimetik di Plantation Place.

Selama pengembangan Sky Studios, gagasan bahwa komponen bangunan dapat menampung sensor dan aktuatornya sendiri dengan logika atau 'kecerdasan' telah berkembang bersamaan, mengakui ledakan ketersediaan data dan keterbukaan masyarakat terhadap data yang dibagikan. Potensi peningkatan ketersediaan data yang sangat besar antara manusia dan bangunan menawarkan kepada kita peluang untuk hubungan yang jauh lebih produktif antara bangunan dan penghuninya atau kebingungan informasi yang tidak terstruktur dan tidak membantu.

## **16.2 INTERNET UNTUK SEGALA HAL**

Saat ini, integrasi teknologi sistem data ke dalam tulang punggung data umum menjadi semakin umum. Dengan demikian, jalur data serat optik yang digunakan sistem CCTV untuk bertukar data juga dapat digunakan oleh sistem data lain, sehingga mengurangi biaya dan memungkinkan interaksi berbagai sistem dan elemen terpisah yang memiliki alamat IP sendiri. Objek IP semakin kecil skalanya karena biaya dan ketersediaan pemrosesan data menurun dan potensi data meningkat. Objek IP kemudian dapat saling berkomunikasi, menciptakan sistem data terdesentralisasi.

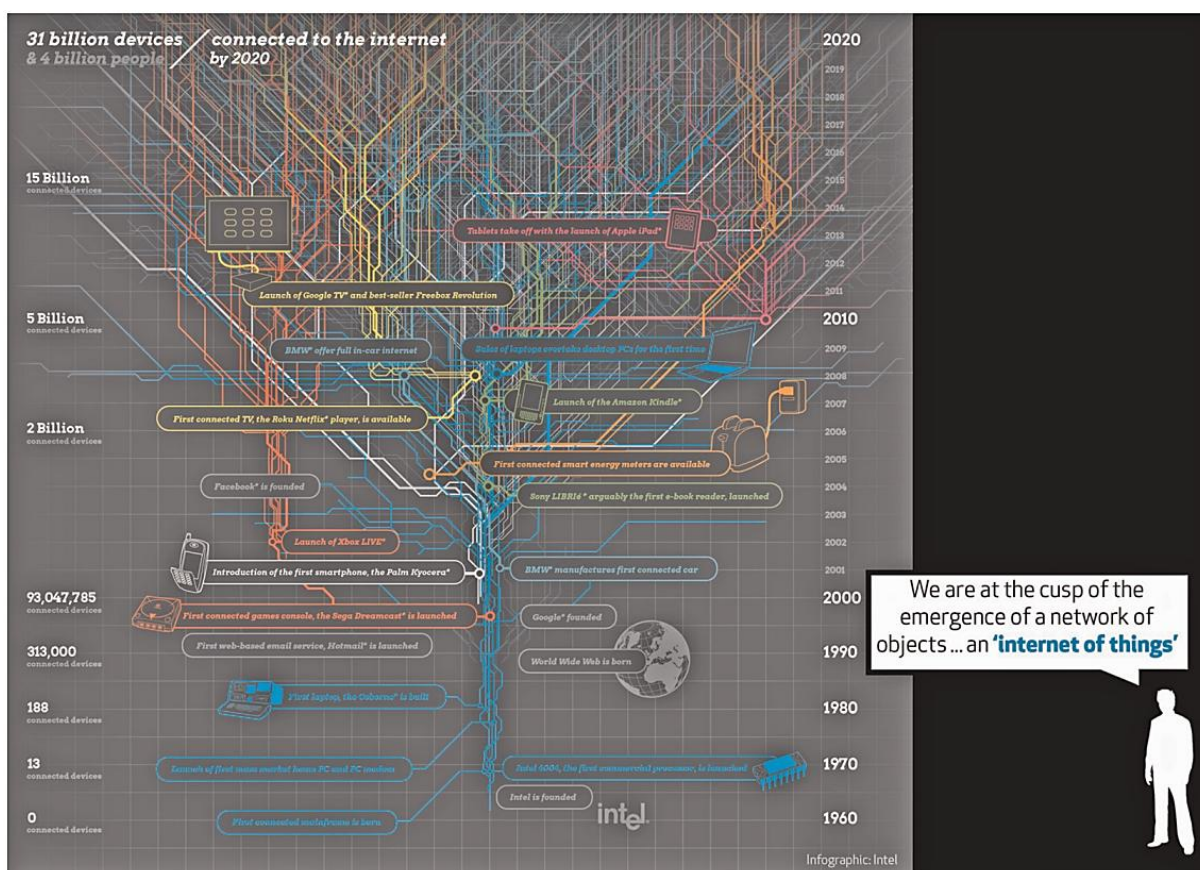
Jadi, kita berada di titik puncak kemunculan jaringan objek, 'internet untuk segala hal', yang memberdayakan komputer untuk memahami dunia sendiri dan bertindak secara independen atas nama kita (Gambar 16.9). Istilah 'internet of things' digunakan sebagai penyederhanaan untuk infrastruktur jaringan yang menghubungkan objek fisik dan virtual melalui pemanfaatan kemampuan penangkapan data dan komunikasi. Infrastruktur ini mencakup pengembangan internet dan jaringan yang sudah ada dan yang sedang berkembang.

Infrastruktur ini memungkinkan identifikasi objek tertentu, penginderaan dan pergerakan, serta kemampuan koneksi yang menjadi dasar pengembangan layanan dan aplikasi kooperatif independen. Layanan dan aplikasi ini akan dicirikan oleh penangkapan data otonom tingkat tinggi, transfer peristiwa, konektivitas jaringan, dan interoperabilitas. Pada



akhir tahun 1990-an, kami mengamati peningkatan penggunaan intranet untuk mendukung bisnis, diikuti pada milenium baru oleh tren penggunaan konsumen dengan lahirnya jejaring sosial.

Pada kedua fase tersebut, internet terutama digunakan sebagai sarana untuk memungkinkan manusia berbagi dan mengonsumsi informasi. Sekarang kita melihat pergeseran menuju industrialisasi web, karena teknologi inti IP semakin banyak digunakan untuk mendukung proses otomatisasi dan kontrol mesin yang telah menjadi hal yang umum dalam ekonomi global saat ini. Internet of things yang sedang berkembang ini merupakan bagian dari internet dan industri yang sifatnya, di mana objek fisik dan virtual saling terhubung untuk mencerminkan keadaan dunia di sekitarnya.



Gambar 16.9 Garis Waktu Internet Untuk Segala Hal

Pada awal tahun 2010, untuk pertama kalinya ada lebih banyak perangkat yang terhubung yang terhubung dengan AT&T dan Verizon daripada pelanggan manusia. Internet of things berpotensi untuk berdampak signifikan terhadap cara kita mengoptimalkan pengoperasian kota, gedung, infrastruktur, dan bisnis, serta cara orang berinteraksi dengan sistem informasi yang menjadi gedung kita. Ada empat faktor yang menandakan keniscayaan penerapan internet of things secara luas.

- Meningkatnya daya komputasi.
- Menurunnya biaya komputasi.



- Meningkatnya permintaan akan wawasan yang berasal dari data.
- Meningkatnya kemampuan untuk mengekstraksi nilai dari dunia yang terhubung.

Faktor pembatas yang potensial, jumlah tetap alamat IP unik berdasarkan konvensi IPv4, diatasi pada tahun 2010 dengan diperkenalkannya skema pengalamatan dinamis IPv6, yang memungkinkan jumlah alamat IP hampir tak terbatas.

### Sudah Ada, Tetapi Belum Merata

Salah satu teknologi pertama yang diterapkan dalam ranah internet of things adalah identifikasi frekuensi radio (RFID). Awalnya disebut-sebut sebagai pengganti kode batang dan teknologi yang memungkinkan kita melacak 'apa saja, di mana saja, kapan saja', penerapannya, meskipun masih berkembang, tidak secepat yang diprediksi pada akhir tahun 1990-an.

Alasan penerapan yang lambat relevan dengan semua teknologi internet of things: kekhawatiran atas privasi, biaya penerapan, keandalan teknologi, dan validitas model bisnis yang diperlukan untuk mendukung penerapan dan pengoperasian. Masalah model bisnis dan bagaimana infrastruktur baru benar-benar dibangun menjadi relevan khususnya ketika melihat peran teknologi ini dalam beberapa bisnis inti Arup Associates, khususnya 'kota pintar', gedung pintar, dan transportasi.

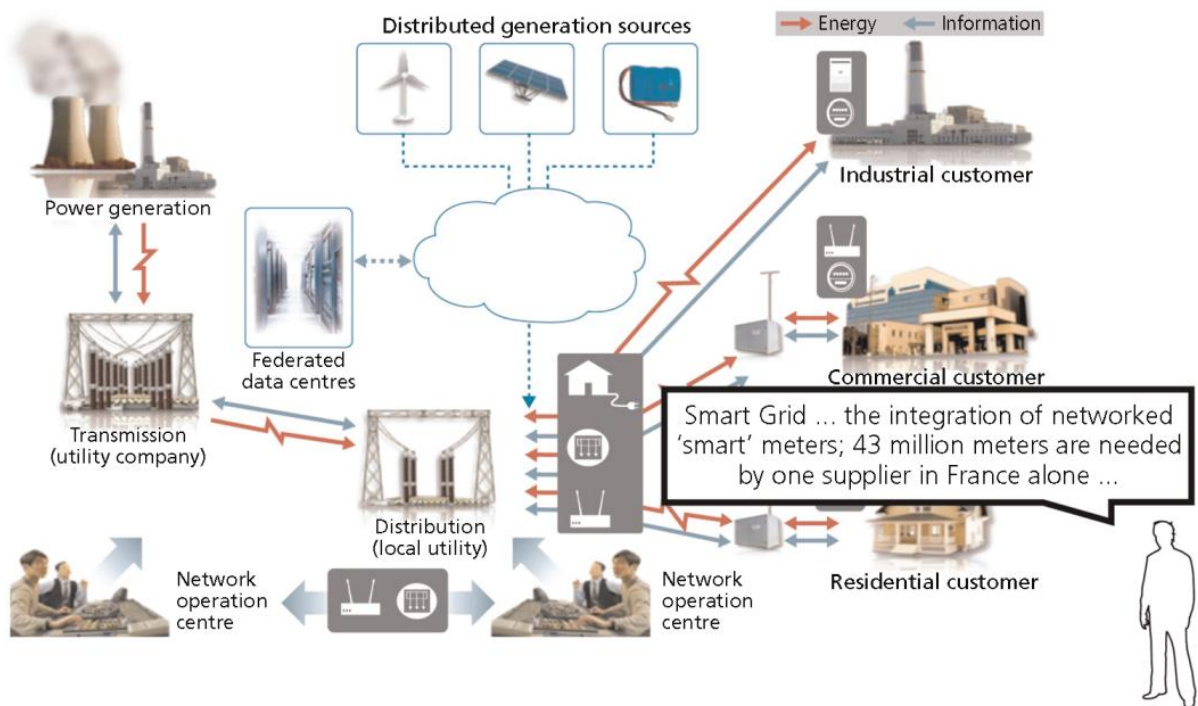
Internet of things menurut definisinya adalah ekosistem layanan yang tidak benar-benar berfungsi kecuali jika pendekatan holistik dan terhubung diambil. Oleh karena itu, sangat berisiko untuk mengusulkan solusi yang nilainya pada akhirnya bergantung pada adopsi oleh pasar yang lebih luas di luar kendali klien. Namun, semakin jelas bahwa penerapan teknologi berbasis internet of things menawarkan keuntungan strategis bagi mereka yang merencanakan dan mengimplementasikan proyek berskala besar.



Gambar 16.10 Kampanye Smart Planet IBM

### Memungkinkan Perilaku Cerdas

Akses cerdas ke informasi merupakan inti dari apa yang mendorong perubahan di banyak perusahaan, jadi tidak mengherankan bahwa perusahaan yang berpusat pada data berinvestasi besar-besaran untuk menjadi komponen integral dalam informasi tersebut. Kampanye pemasaran Smart Planet IBM (Gambar 16.10) menguraikan berbagai cara yang menurutnya sistem data yang terhubung dapat membantu perdagangan, mulai dari meningkatkan pemahaman kita tentang habitat laut di Teluk Galway hingga meningkatkan efisiensi arus lalu lintas di kota-kota. Pada tahun 1990-an, IBM membangun dan menghubungkan sistem bisnis, saat ini mereka berfokus pada sistem yang menjangkau masyarakat.



**Gambar 16.11 Jaringan Cerdas Cisco**

Demikian pula, Cisco telah melakukan investasi signifikan dalam program Connected Urban Development (Gambar 16.11), yang membayangkan teknologi jaringan di jantung kehidupan kota, dan dalam mendirikan IPSO Alliance, lengan pemasaran Internet Engineering Task Force (IETF), sebuah kelompok industri yang mempromosikan pengembangan protokol komunikasi berbasis IP untuk objek pintar.

Tujuan Cisco adalah untuk menghasilkan dukungan untuk komunikasi ujung ke ujung melalui IP, daripada protokol kontrol warisan yang eksklusif. Contoh kanonik yang digunakan oleh banyak orang untuk menggambarkan kebutuhan ini adalah sifat sistem bangunan saat ini yang terfragmentasi, yang dicirikan oleh banyak sistem yang terpisah secara vertikal seperti pencahayaan, keamanan, HVAC, dan kontrol akses.

Kemajuan dalam interoperabilitas sedang dilakukan, dan sekarang tidak jarang bagi

produsen dalam domain ini untuk menawarkan gerbang 'terjemahan protokol' yang menyediakan antarmuka terbuka generik ke jaringan milik mereka. Meskipun ini merupakan kemajuan, Aliansi IPSO berpendapat bahwa ini adalah pendekatan penyebut umum terendah yang menimbulkan kualitas layanan yang buruk dan peningkatan biaya operasional.

Salah satu pasar pertama bagi kedua perusahaan adalah jaringan 'pintar' listrik di Eropa dan Amerika Utara, pengejaran penggunaan energi yang dioptimalkan dan integrasi energi terbarukan yang efisien menciptakan pasar untuk meteran 'pintar' berjaringan, dan mendorong salah satu instalasi internet of things skala besar dan homogen pertama. Penerapan massal meteran pintar listrik belum menguntungkan, dan pasar bergantung pada subsidi pemerintah.

Namun, peluang potensialnya sangat besar: Kepala pemasaran produk Cisco untuk Smart Grid dan internet of things telah menyebutkan perlunya 43 juta meter di seluruh sistem distribusi listrik dari satu pemasok di Prancis saja, dan memperkirakan bahwa 1,5 miliar meter mungkin dibutuhkan di seluruh dunia. Skema Sewa Sepeda Transport for London sejak peluncuran menggabungkan sistem pemantauan untuk memfasilitasi manajemen permintaan dan manajemen pasokan sepeda.

Sejak peluncuran, Transport for London juga memberikan akses publik ke data waktu nyata yang dihasilkan oleh sistem pemantauan, meskipun mereka tidak tahu bagaimana informasi itu akan digunakan. Skema tersebut bekerja dalam format aslinya (tanpa penggunaan data waktu nyata oleh pihak ketiga).

Namun, dalam jangka waktu yang relatif singkat, pihak ketiga independen mengembangkan aplikasi yang memanfaatkan data waktu nyata yang muncul dari jaringan sensor, dan aplikasi ini sekarang memengaruhi perilaku pengguna skema tersebut. Dengan demikian, operator mengambil keputusan strategis untuk membuat proyek tersebut dapat diakses melalui internet of things, tanpa mengetahui solusi mana yang akan dikembangkan sebagai respons atau bagaimana solusi tersebut akan memengaruhi keberhasilan skema tersebut.

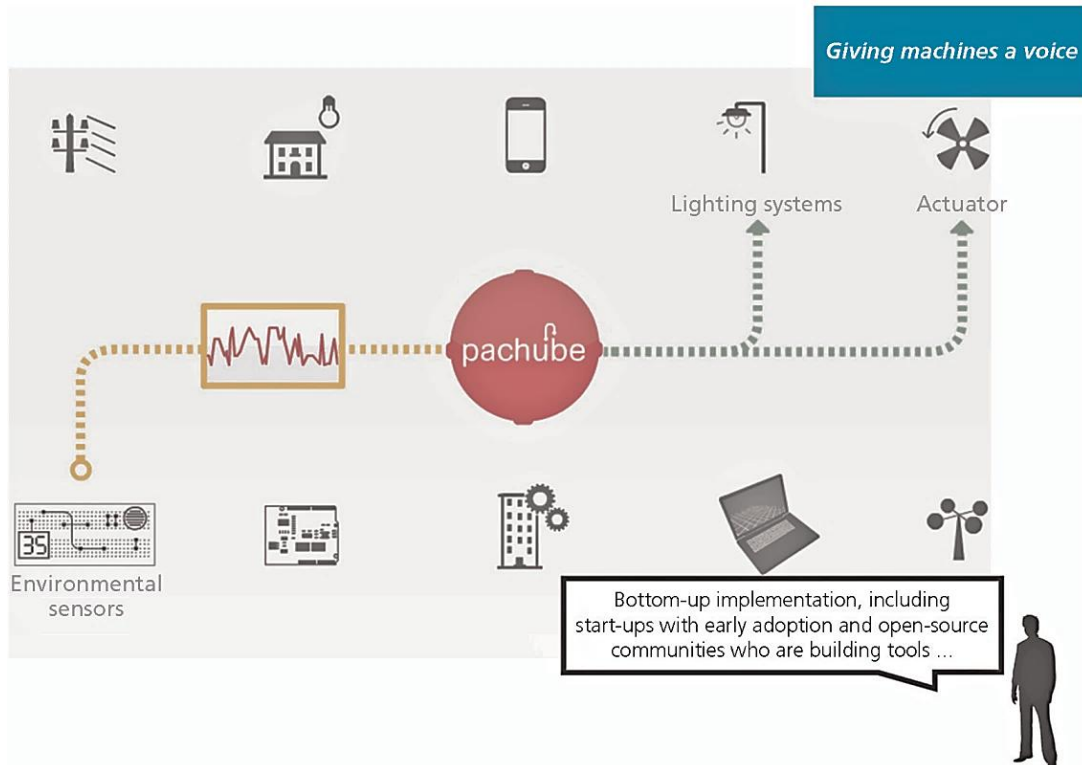
### **Memberikan Suara Kepada Mesin**

Berbeda dengan penerapan jaringan listrik pintar dari atas ke bawah, ada sejumlah pengganggu dari bawah ke atas, termasuk perusahaan rintisan yang meluncurkan layanan kepada para pengadopsi awal, dan komunitas sumber terbuka (sering kali akademis) yang membangun perangkat untuk mendukung dan memfasilitasi penggunaan 'teknik internet untuk segala' yang sedang berkembang.

Didirikan pada tahun 2005 di Silicon Roundabout London, perusahaan sektor swasta Pachube didirikan untuk menyediakan layanan perantara yang memungkinkan mesin sensor untuk mendorong data mereka ke repositori umum, dan mesin pihak ketiga untuk meminta data tersebut dalam berbagai format umum (Gambar 16.12). Data itu sendiri dapat direferensikan secara geografis dan diberi 'tag mesin' untuk mendukung pencarian dan pengambilan berikutnya.

Layanan ini awalnya menarik para peretas, desainer, dan seniman, tetapi jutaan titik data kini diproses dari sensor di seluruh dunia, dan, dengan dukungan modal ventura baru,

Pachube kini menyediakan solusi perusahaan yang aman yang ditujukan untuk perusahaan kecil dan menengah serta organisasi besar. Pachube tidak lagi sendirian: perusahaan seperti Nokia (Sensor Web) dan Oracle (sensor.network) juga menyediakan solusi serupa.



**Gambar 16.12 Pachube Berbagi Data Yang Revolusioner**

Pendekatan lain yang banyak digunakan adalah pembuatan antarmuka berbasis REST untuk sensor dan aktuator. Kesederhanaan intrinsik dari pendekatan ini adalah bahwa pendekatan ini pada dasarnya menciptakan URL yang dapat diidentifikasi secara unik, yang memungkinkan komunikasi manusia dan/atau mesin melalui HTTP dan karenanya membuat sensor dapat diakses dari sebagian besar peramban web (yang ada di mana-mana) saat ini.

Dampak besar dari pendekatan ini adalah kemudahan bagi pengembang web untuk dapat menggunakan kembali data sensor guna membuat aplikasi di atas jaringan yang ada, pada tingkat abstraksi yang tidak memerlukan pengetahuan tentang banyak protokol tingkat rendah.

#### **Desain Yang Berpusat Pada Manusia**

Kecerdasan sebuah bangunan dapat terwujud dalam banyak cara yang halus, beberapa didorong oleh teknologi, yang lain oleh komunitas yang mereka bangun dalam pengoperasian bangunan tersebut. Proyek YouCaretaker menyelidiki pendekatan ekosistem ini dengan menerapkan teknologi untuk mendukung proses manajemen bangunan yang cerdas.

Antarmuka panorama 3D ke gedung yang dihosting di situs web perusahaan memungkinkan siapa saja untuk menjelajah ke lokasi fisik di gedung dan mengakses informasi tentang ruang tersebut. Antarmuka ini dapat melaporkan penggunaan sumber daya secara real time, menyediakan akses ke dokumentasi gedung dan, yang terpenting, menyediakan

antarmuka real-time ke tim yang bertanggung jawab untuk menjalankan operasi gedung.

'Meja bantuan visual' memungkinkan masalah dicatat dari jarak jauh di lokasi fisik dalam model dengan melampirkan padanan digital dari 'catatan tempel'. Pencatatan masalah ini dapat dilakukan melalui email, melalui halaman internet atau secara otomatis melalui pengenalan objek yang sadar konteks seperti kode QR. Karena catatan diberi kode waktu dan ditambahkan oleh seseorang, ada catatan permanen dan terlihat dari masalah 'langsung' saat ini.

Hal ini memungkinkan orang lain di gedung untuk melihat bahwa kesalahan telah dicatat tanpa perlu menduplikasi pelaporan dan sebagai gantinya memberikan dukungan tambahan bahwa kesalahan tersebut perlu diperbaiki (misalnya masalah yang mendapat banyak suara untuk diperbaiki mungkin harus dipindah ke daftar prioritas). Pendekatan yang transparan ini juga menyediakan pendekatan yang efisien bagi pengelola gedung untuk berkomunikasi kembali dengan penghuni mengenai status suatu masalah, karena mereka dapat mencatat pembaruan status masalah pada tindakan yang telah diambil.

### **Teknologi Menjadi Intim**

Ada banyak ketidakpastian yang berdampak pada peluang bisnis potensial dan penyebaran internet untuk segala hal, terutama teknologi itu sendiri. Sudah ada beragam pemain dengan infrastruktur lama, termasuk perusahaan telekomunikasi yang bersaing, sehingga arsitektur untuk internet untuk segala hal sangat tidak mungkin unik arsitektur tersebut kemungkinan besar akan terus berkembang sebagai banyak sistem yang mendapatkan manfaat dari berbagi layanan inti.

Hal ini memiliki implikasi sosial dan ekonomi yang signifikan untuk penemuan perangkat, berbagi data, dan interoperabilitas antar layanan. Di bidang kebijakan dan regulasi, privasi dan keamanan menjadi agenda utama bagi kelompok kampanye yang membela hak-hak konsumen. Parlemen Uni Eropa saat ini sedang memperdebatkan kebijakan yang akan mengharuskan kemampuan untuk 'membungkam chip', yang berarti bahwa setiap objek internet of things harus memiliki kemampuan untuk menghapus sebagian atau seluruh riwayatnya.

Persyaratan ini dapat dipahami untuk objek yang mungkin menyimpan informasi pribadi yang sensitif, seperti kartu kredit atau informasi medis, tetapi kurang jelas untuk objek lain, seperti sensor yang memantau hunian ruangan. Tata kelola pembagian data merupakan isu yang sedang berkembang. Dari perspektif operasional, ada kebutuhan untuk mendukung 'horizontalisasi' data sensor, di mana data dibagikan di seluruh jaringan sensor daripada disimpan secara terpisah sebagai 'pulau sensor'.

Namun, hal ini menimbulkan tantangan terkait 'kemampuan menemukan' informasi tersebut dan pengelolaan sumber daya tersebut. Misalnya, aturan apa yang harus mengatur siapa yang dapat menggunakan data, dan siapa yang bertanggung jawab atau berkewajiban atas penyalahgunaannya? Demikian pula, tata kelola perangkat itu sendiri menjadi isu. Standar mana yang harus diadopsi untuk identifikasi mesin? Organisasi mana yang harus menetapkan pengenalan dan bertanggung jawab atas pengelolaan dan pengawasan penyalahgunaan?

Bentuk arsitektur terdesentralisasi apa yang dapat mendukung jaringan global? Seperti

halnya internet yang lebih luas itu sendiri, isu-isu ini menimbulkan implikasi sosial-ekonomi yang sama terkait akses ke informasi dan pengecualian. Seperti sistem akses terbuka lainnya, keamanan menjadi isu karena adanya peluang untuk intervensi jahat.

Ancaman dari peretasan sistem internet of things akan bervariasi dari satu aplikasi ke aplikasi lainnya, tetapi, meskipun banyak sistem akan memiliki sedikit atau tidak ada kemampuan aktuasi, ada beberapa sistem yang mungkin rentan terhadap serangan, dengan konsekuensi serius, terutama jaringan pintar elastisitas dan infrastruktur nasional lainnya. Sebagai tanggapan terhadap ancaman keamanan ini, saat ini ada banyak perdebatan tentang cara memastikan pemroses data menjaga keamanan data di tingkat aplikasi.

Seperti halnya internet yang lebih luas, kepentingan komersial kemungkinan akan menjadi pendorong utama dalam pengembangan internet of things. Namun, validitas model bisnis potensial masih belum jelas. Sementara para pemain di berbagai bagian rantai nilai masing-masing memiliki sweet spot komersial mereka sendiri, model bisnis untuk disampaikan di seluruh rantai nilai yang terhubung lebih sulit dibangun. Saat ini, tampaknya bisnis dan organisasi akan mencari kemitraan strategis untuk meluncurkan jaringan layanan organik yang hanya akan tumbuh jika massa kritis tercapai.

### **Pendorong perubahan**

Pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) mikro dan robot pribadi di web telah menjadi pendorong signifikan pengembangan Web 2.0, dan keduanya kemungkinan akan menjadi instrumen utama internet untuk segala hal. Nilai keduanya sudah mapan dalam lingkungan daring tempat manusia berinteraksi secara teratur, termasuk Amazon, Facebook, dan Millennium Exchange (platform perdagangan Bursa Efek London).

Robot digambarkan dalam media fiksi sebagai karakter humanoid yang menyerang kita atau membantu membersihkan rumah kita, tetapi kenyataannya adalah kita melihat peningkatan besar dalam robot kecil dan sederhana yang tidak memiliki bentuk fisik. Jika Anda membaca ini di kantor perusahaan modern, kemungkinan besar di atas Anda ada robot yang menyalakan lampu saat mendeteksi kehadiran Anda.

Banyak dari kita menggunakan robot pribadi untuk mengunjungi halaman web situs dan orang yang kita anggap menarik, untuk mengambil artikel atas nama kita. Saat jogging, sebagian dari kita menggunakan robot telepon untuk mencatat jarak, waktu, detak jantung, dan berat, lalu mengunggah data tersebut ke robot kesehatan pribadi kita. Berapa lama lagi sampai perusahaan asuransi kesehatan menciptakan robotnya sendiri untuk menemukan data tersebut guna dimasukkan ke dalam pemodelan statistiknya?

Wawasan yang diciptakan oleh instrumen ini bukanlah hal baru, tetapi lebih langsung, berkelanjutan, dan menggunakan kumpulan gen yang jauh lebih besar. Bagaimana hal ini akan berhubungan dengan ruang publik kita? Arsitektur interaktif akan menjadi norma daripada pengecualian karena kontrol terdesentralisasi menjadi lebih luas (Gambar 16.13). Sementara perencana kota memiliki pengalaman puluhan tahun tentang cara kerja kota (Kehidupan Sosial Tempat-Tempat Perkotaan Kecil, 1980), AI dan robot menawarkan potensi untuk mengungkap wawasan yang sebelumnya tidak dapat disangkal yang tersembunyi dalam sejumlah besar data, dan potensi untuk mengidentifikasi masalah dalam jangka waktu yang jauh lebih singkat.





**Gambar 16.13 Tampilan PV Di Stasiun Bus Vauxhall Cross Milik Arup Associates**

### 16.3 KESIMPULAN

Sky Studios menghadirkan bangunan cerdas pertama di dunia pada tingkat holistik, yang tidak hanya mempertimbangkan pentingnya menghasilkan keunggulan dalam penyiaran, tetapi juga mengutamakan manusia dan lingkungan. Sistem otomatisnya canggih, dan antarmuka dengan manusia diarahkan untuk membantu, sehingga menjadikannya bangunan dengan konsumsi energi terendah, dengan Peringkat Energi Bangunan A+ dengan teknologi terbarukan yang diterapkan. Tingkat penerapan penginderaan, logika, dan tindakan secara kreatif melibatkan interaksi utama dengan pengguna, dan ini, dikombinasikan dengan pemikiran baru untuk bangunan berkelanjutan, menjadikan bangunan ini menonjol.

Namun, pandangan ke masa depan menunjukkan bahwa internet untuk segala hal tidak hanya akan mengubah kuantitas data yang tersedia bagi kita, tetapi juga melibatkan kita dengan cara baru yang memberdayakan kita untuk membuat pilihan yang tepat dan agar bangunan memahami dan mempelajari lebih lanjut tentang kita, sehingga dapat menanggapi preferensi dan kebutuhan kita. Teknologi ini, meskipun baru muncul, ditujukan bagi industri untuk terlibat dan berkembang sehingga benar-benar bermanfaat dan berkontribusi pada kualitas hidup kita serta produktivitas kita.



## BAB 17

### 8 STOREY'S GATE, LONDON: SISTEM CERDAS DI GEDUNG KELAS II

8 Storey's Gate adalah contoh bagaimana sistem dan desain cerdas dapat diterapkan dalam batasan perbaikan gedung yang terdaftar Kelas II; tantangan dalam memperoleh izin perencanaan dan keberhasilan penggunaan material baru untuk meningkatkan gedung yang pertama kali dibangun pada tahun 1870 agar sesuai untuk kantor modern.

#### 17.1 PENDAHULUAN

8 Storey's Gate adalah gedung yang terdaftar Kelas II yang terletak tepat di belakang Parliament Square di jantung Kota Westminster. Bangunan asli ini dikaitkan dengan Sir George Gilbert Scott, dan dibangun sekitar tahun 1870 sebagai toko di lantai dasar dengan ruang kantor di atasnya dan gudang yang lebih besar di bagian belakang. Bangunan ini diadaptasi oleh penyewa berikutnya, tetapi tanpa memperhatikan kinerja termal atau aksesibilitasnya, yang terganggu oleh lantai dasar yang ditinggikan.

Bangunan ini dibeli oleh Institution of Civil Engineers (ICE) pada tahun 2008 dari wali amanat dana pensiun, dengan tujuan mengubahnya menjadi pusat administrasi baru untuk mendukung kantor pusat utamanya di One Great George Street (tepat di seberang jalan dari 8 Storey's Gate) dan untuk mengintegrasikan tim komersialnya, yang saat itu berkantor pusat di Canary Wharf.

Kedekatan ini memberikan kesempatan bagi ICE untuk mengumpulkan stafnya dan bagi tim untuk mengeksplorasi ide-ide yang dipromosikan oleh hubungan antara kedua bangunan ini. Black Architecture ditunjuk setelah kompetisi terbatas yang diundang untuk desain yang menanggapi tiga persyaratan pengarah utama klien: keunggulan yang dapat dibuktikan dalam keberlanjutan, aksesibilitas penuh, dan kondisi kerja yang lebih baik yang memungkinkan kerja yang lebih terintegrasi dan komunikasi yang lebih baik; untuk menjadikan ICE sebagai pemberi kerja pilihan.

Aspirasi ICE adalah untuk memindahkan hingga 175 staf ke properti tersebut. Sebaliknya, bangunan yang ada menampung sekitar 30 penghuni di luas lantai kotor 1820 m<sup>2</sup> di atas ruang bawah tanah, lantai dasar, dan empat lantai atas. Mencapai peningkatan kepadatan hunian lebih dari lima kali lipat sekaligus menciptakan lingkungan yang nyaman dan merangsang merupakan salah satu tantangan utama bagi tim desain, yang menempatkan keberlanjutan sosial yang berpusat pada pengguna di inti proposal.

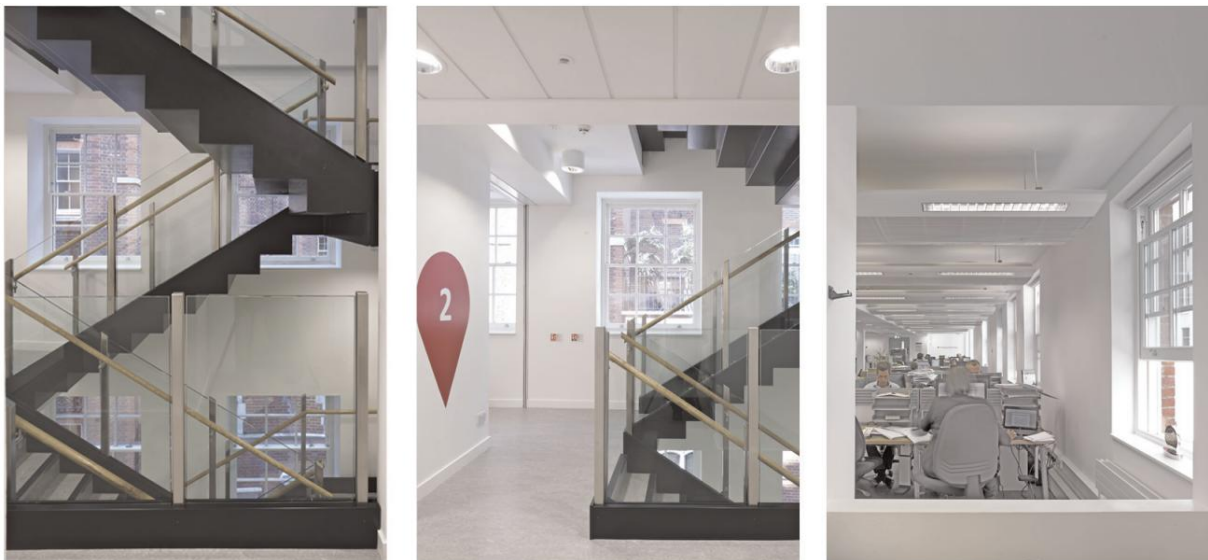
#### 17.2 MENCIPTAKAN LINGKUNGAN YANG NYAMAN DAN MERANGSANG

Dari studi sebelumnya tentang persyaratan departemen ICE, klien telah mengidentifikasi perlunya solusi kerja yang optimal untuk membantu komunikasi. Intervensi Black yang paling signifikan adalah menantang tata letak internal yang ada dan merelokasi tangga dari inti tertutup aslinya ke pelat lantai utama dan mengaitkannya dengan tempat

minum teh dan toilet baru.

Ini adalah bagian dari inti terbuka yang direkayasa secara kebakaran yang menghindari perlunya pintu api pemisah yang mengganggu. Tangga baru dirancang untuk memungkinkan komunikasi yang diinginkan terjadi, tetapi sekarang di atas enam lantai. Ini secara efektif mengurangi ruang lantai yang 'dapat disewakan', tetapi membantu mengatasi masalah pemisahan vertikal di dalam gedung, yang memungkinkan pertemuan tak terduga yang berharga terjadi di antara staf saat mereka bergerak di sekitar gedung.

Lift baru dipasang di bagian poros asli, memanfaatkan struktur inti beton, tetapi juga secara menguntungkan mengisolasinya dari tangga baru dan mendorong lebih banyak pergerakan dengan berjalan kaki. Peningkatan penggunaan tangga ini mengaktifkan ruang dan juga meningkatkan kesehatan melalui aktivitas pasif (Gambar 17.1).



**Gambar 17.1 Tangga Terbuka (Kiri), Dirancang Untuk Komunikasi Dan Pertemuan Tak Terduga, Yang Mengarah Ke Setiap Titik Minum Teh Di Lantai (Tengah) Lihat Juga Gambar 17.2**

Orang yang menuruni tangga melangkah ke setiap pelat lantai kantor, membuat kontak visual dengan orang-orang di lantai itu dan staf di tempat minum teh. Tempat minum teh ini menjadi lokasi berkumpul yang penting di setiap lantai, tempat untuk menyegarkan diri dan berbagi informasi. Layar tampilan digital akan melengkapi papan pengumuman saat ini saat staf ICE mulai mengambil alih kepemilikan yang lebih besar atas ruang tersebut.

Tempat minum teh dibuat dari lembaran plastik daur ulang yang dibentuk dari cangkir kopi sekali pakai. Bahan tersebut menggantikan permukaan padat atau laminasi tradisional yang berasal dari petrokimia, yang sering terlihat di dapur kantor. Lemari di bawah meja dilapisi dengan panel MDF hitam berwarna rendah formaldehida dan dilapisi dengan pernis berbasis air dengan VOC (senyawa organik yang mudah menguap) rendah.

Peralatannya mendapat peringkat A+, dan keran ZIP menggantikan ketel tradisional (Gambar 17.2). Bagian depan bangunan dihubungkan ke tangga melalui bukaan besar baru

yang dibuat di dinding pemisah asli yang memisahkan ruangan dari gudang pintu tahan api berkantong memungkinkan ruang saling mengalir. Ruang depan ini mempertahankan sebagian karakter bangunan asli yang tidak berubah pada renovasi tahun 1980-an, terutama melalui jendela yang sekarang dilapisi kaca sekunder.

Perpustakaan, ruang pertemuan, dan fungsi kantor yang sensitif terletak di bagian bangunan ini. Bukaan lebih lanjut di dinding pemisah yang dibuat oleh penyewa sebelumnya seharusnya dilapisi kaca, yang memungkinkan peningkatan permeabilitas, tetapi kendala anggaran akhir-akhir ini mengharuskan bukaan ini ditutup dengan papan.



**Gambar 17.2 Titik-Titik Minum Teh, Yang Memungkinkan Pengumpulan Informasi Untuk Dibagikan. Tangga Dapat Dilihat Di Latar Belakang**

Pintu masuk gedung yang ada di Storey's Gate telah ditinggalkan dalam perbaikan tahun 1980-an, dan pintu masuk berundak baru terbentuk di jalan samping, yang tidak menyediakan akses bagi mereka yang memiliki keterbatasan mobilitas. Sebagai bagian dari usulan Black, pintu depan dikembalikan ke posisi yang seharusnya di Storey's Gate, sehingga bangunan tersebut dapat dibaca (Gambar 17.3).

Ambang pintu diturunkan untuk menyediakan akses yang datar, dan sebagian lantai dasar yang ditinggikan diturunkan ke permukaan jalan agar dapat dihubungkan ke lift, yang menghubungkan ruang penerima tamu dengan semua lantai. Lobi rancangan kaca setinggi penuh yang baru sedikit menyentuh sambungan kayu ek yang dipoles dari tangga yang dipertahankan di ruang penerima tamu yang baru, sehingga skala toko asli dapat dibaca (Gambar 17.4).

Sebagai konsekuensi dari aplikasi izin bangunan terdaftar yang berhasil, sebuah bangunan yang sepenuhnya dapat diakses dan demokratis dibangun. Tangga dan lift baru

dilanjutkan ke bawah ke setengah ruang bawah tanah, dan telah memungkinkan ruang penyimpanan dan pabrik yang sebelumnya kurang dimanfaatkan ini untuk diakses dan dibuka. Sekarang diberi merek sebagai 'The Underground', ruang bawah tanah menyediakan kafe dan ruang istirahat bagi staf (Gambar 17.5 dan 17.6).

Keterhubungannya yang dekat dengan area penerimaan tamu juga memungkinkan pertemuan informal dengan pengunjung berlangsung di luar ruang kantor utama. Sumur cahaya yang sebelumnya beratap telah dibuka, untuk menciptakan halaman kaca yang membawa cahaya alami ke dalam ruang (lihat Gambar 17.5, kiri). Sisa ruang bawah tanah diberikan untuk penyimpanan sepeda, pancuran, loker, dan ruang tanaman.

Ruang bawah tanah disediakan udara segar dari saluran udara pasokan perpindahan, dan memiliki manfaat ventilasi silang alami di musim-musim yang berubah-ubah melalui jendela-jendela tingkat tinggi di halaman yang sejuk dan ke Lewisham Street. Tidak ada pendinginan aktif tambahan yang disediakan, karena ruang tersebut terlindung dari sinar matahari langsung. Pemanasan disalurkan melalui radiator perimeter.

Tempat duduk bangku dan meja besar memperkuat tujuan untuk menjadikan ini ruang yang demokratis, menyediakan fasilitas yang sering kali kurang di Westminster bagi karyawan kantor. Ketel dan pemanggang roti dilarang di lantai atas, untuk mendorong staf menggunakan kafe sepanjang hari oleh karena itu disediakan dapur yang luas (lihat Gambar 17.5, kanan). Struktur inti beton asli dari perbaikan tahun 1980-an dipertahankan dan menjadi kendala pada desain saat dikembangkan.

Pembongkarannya tidak dapat dibenarkan atas dasar energi terwujud, dan hal itu memberikan stabilitas struktural yang signifikan dalam kondisi sementara saat inti baru dibangun. Dua toilet super baru dibentuk di setiap lantai, menggantikan toilet asli yang terletak di setengah lantai tangga dan sekali lagi tidak dapat diakses oleh mereka yang memiliki masalah mobilitas.

Toilet baru dirancang untuk meminimalkan perbedaan antara spesifikasi penyandang cacat dan standar, untuk lebih mendemokratisasi bangunan. Ketinggian toilet dan wastafel disesuaikan secara halus dari yang ditetapkan dalam peraturan bangunan, untuk menyediakan toilet yang nyaman digunakan baik oleh mereka yang berbadan sehat maupun penyandang cacat. Toilet memiliki tangki air ganda bersensor, dengan toilet di kamar mandi untuk penyandang cacat dilengkapi ceruk untuk memungkinkan manuver kursi roda.

Keran bersensor menyalurkan air ke wastafel yang digantung di dinding. Rel pegangan baja tahan karat diintegrasikan secara sederhana ke dalam sistem perpipaan terpadu, dan karenanya tidak mencolok, dan tata letak toilet dibagi menjadi beberapa lantai, untuk menawarkan pilihan bagi pengguna kursi roda yang kidal dan yang tidak kidal (Gambar 17.7).



**Gambar 17.4 Area Penerimaan Tamu Baru Lobi Rancangan Kaca Setinggi Penuh Dan Sambungan Kayu Ek Dari Toko Asli Dapat Dilihat**

### **17.3 KONDISI YANG NYAMAN MELALUI SOLUSI RENDAH KARBON**

8 Storey's Gate merupakan contoh dari apa yang dapat dicapai dengan anggaran terbatas jika pendekatan holistik terhadap keberlanjutan diikuti: bangunan terdaftar dapat diubah dari kantor dengan kepadatan rendah dan penggunaan energi tinggi menjadi ruang kerja modern dengan kepadatan tinggi. Cahaya dan ventilasi alami berkualitas baik bersama dengan akses ke ruang kerja yang berbeda, pemandangan yang merangsang, dan kebutuhan untuk bersirkulasi dan berkomunikasi semuanya perlu diseimbangkan.

Produktivitas orang di kantor pusat kota London yang bernilai tinggi secara langsung terkait dengan kualitas lingkungan yang dirancang untuk mereka, dan oleh karena itu diperlukan keseimbangan antara kenyamanan penghuni dan karbon. Tim bersemangat sejak awal untuk memanfaatkan properti bawaan bangunan yang ada dan potensi tindakan pasif, sambil memaksimalkan manfaat dari pekerjaan perbaikan dan memungkinkan terciptanya ruang produktif jangka panjang dan berkualitas tinggi.



**Gambar 17.5 Ruang Bawah Tanah Ruang Ini Memanfaatkan Cahaya Alami (Kiri) Dan Berisi Bangku Panjang Dan Area Dapur (Kanan) Untuk Mendorong Penggunaan Area Komunal**

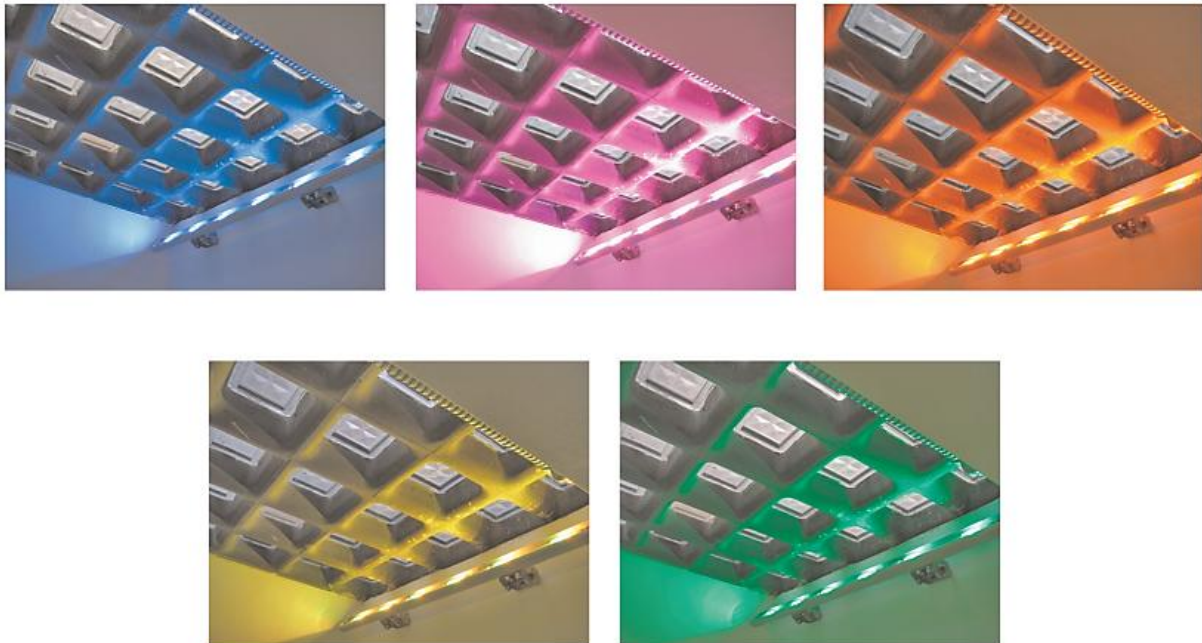
Langkah pertama adalah menerapkan perbaikan kinerja selubung jika memungkinkan, dengan memanfaatkan pencahayaan alami yang baik dan ventilasi silang pasif pada bangunan yang sudah ada. Ini termasuk penambahan insulasi internal dan kaca baru (kaca sekunder pada fasad yang paling sensitif dari sudut pandang konservasi, dan kaca ganda di tempat lain). Insulasi eksternal akan diuji pada elevasi halaman tersembunyi melalui aplikasi perencanaan, tetapi kemudian ditarik dari proposal, untuk memastikan persetujuan perencanaan secara keseluruhan.

Setelah ini, strategi pencahayaan berenergi rendah dan pengkondisian rendah karbon dikembangkan. Tinjauan pada tahap kelayakan mengidentifikasi bahwa solusi karbon terendah tidak menanggapi semua metrik, dan oleh karena itu strategi pengkondisian aktif dikembangkan, dengan pendekatan ventilasi mode campuran hierarkis untuk menggunakan ventilasi alami di mana dan kapan pun memungkinkan, dan untuk meningkatkan ketergantungan pada layanan saat dibutuhkan.

Strategi ini melengkapi persyaratan pemanasan bangunan yang dikurangi yang dimungkinkan oleh perbaikan kain. Keputusan diambil untuk tidak sepenuhnya mengotomatiskan sistem pengkondisian, tetapi untuk memungkinkan penghuni mengambil bagian aktif dalam pengendalian lingkungan internal mereka. Sistem lampu lalu lintas yang terlihat oleh semua penghuni di setiap lantai telah diterapkan untuk mengidentifikasi mode operasi gedung dan menetapkan strategi ventilasi yang direkomendasikan, mendorong jendela terbuka saat kondisi eksternal memungkinkan tetapi mencegahnya saat pemanasan atau pendinginan aktif diperlukan.

Ketika kondisi yang tepat berlaku, ventilasi disediakan oleh jendela yang dapat dibuka di kedua sisi pelat lantai kantor yang sempit, seperti yang dimaksudkan Scott pada tahun 1870. Ini biasanya terjadi pada musim peralihan, dan lampu hijau kemudian menyala pada sistem lampu lalu lintas, yang menunjukkan bahwa sistem mekanis dimatikan dan jendela dapat dibuka secara manual.





**Gambar 17.6 Menciptakan Lingkungan Yang Menstimulasi Di The Underground Lampu Berwarna Yang Berubah-Ubah (Biru, Magenta, Oranye, Kuning, Hijau)**

Bila ventilasi lebih lanjut diperlukan, sistem ventilasi perpindahan energi rendah beroperasi, dengan inti beton yang ada menyediakan salah satu dari dua poros besar untuk sistem tersebut. Udara segar yang ditarik turun dari atap disalurkan ke setiap lantai melalui dua ventilasi tingkat rendah di kedua ujung kantor langsung ke zona yang ditempati, dengan udara basi yang dikembalikan diekstraksi pada tingkat tinggi, yang dibuat mengapung oleh panas penghuni dan peralatan kantor.

Panas dipulihkan dari udara yang diekstraksi, untuk memanaskan terlebih dahulu udara yang masuk, sehingga secara signifikan mengurangi kebutuhan pemanas ruangan. Melepaskan item fit-out sebelumnya termasuk partisi dan plafon gantung telah memungkinkan sistem ventilasi ini berfungsi secara efektif, memanfaatkan peningkatan ketinggian plafon.

Sebagai langkah terakhir, sistem aktif menyediakan pemanasan atau pendinginan lebih lanjut bila diperlukan. Pemanasan disalurkan ke perimeter melalui radiator tradisional yang dialiri dari boiler kondensasi di ruang bawah tanah, dan pendinginan dicapai melalui balok pendingin pasif dengan pencahayaan integral yang digantung dari sofit papan yang terbuka dari struktur lantai di atas.

Balok pendingin dipasok dari gedung utama ICE di One Great George Street, yang menyalurkan pendingin melalui saluran di bawah jalan raya umum. Sistem pendingin distrik mini ini memanfaatkan kapasitas dalam sistem gedung terpisah dan meniadakan perlunya pembuangan panas lokal di atap 8 Storey's Gate, yang akan menjadi masalah perencanaan yang signifikan.





**Gambar 17.7 Toilet Untuk Penyandang Cacat Pegangan Tangan Terlihat Terpasang Di Kedua Sisi Wastafel, Yang Memiliki Keran Berventilasi Yang Dioperasikan Dengan Sensor.**

Di sebelah kiri wastafel terdapat pengering tangan yang dioperasikan dengan sensor. Tali tarik merah untuk alarm juga terlihat. Bila ventilasi aktif dan pemanasan atau pendinginan diperlukan, lampu biru atau merah, masing-masing, menunjukkan kepada penghuni bahwa sistem mekanis sedang beroperasi dan jendela harus tetap tertutup.

Untuk melengkapi strategi kontrol yang berpusat pada pengguna, lampu kuning menyala pada sistem lampu lalu lintas saat sistem berubah antara mode aktif dan pasif. Tim akan memantau dengan saksama keberhasilan strategi kontrol yang sederhana namun inovatif ini, dan berharap bahwa pelajaran akan digunakan di gedung rendah karbon mode campuran lainnya dengan keinginan untuk melibatkan pengguna.

Untuk melengkapi strategi servis, daya juga dipasok oleh gardu induk baru di One Great George Street. Layanan pendinginan dan daya bersama menawarkan penghematan efisiensi dan memungkinkan ruang yang dapat digunakan dimaksimalkan di 8 Storey's Gate. Tim juga menjajaki potensi untuk terhubung ke skema Energi Terdesentralisasi Pimlico dan Whitehall, yang saat itu sedang meninjau rencana perluasan potensial. Namun, ketidakpastian dalam perluasan dan ketahanan skema berarti bahwa opsi ini ditolak.

#### **17.4 LANGKAH-LANGKAH LINGKUNGAN LEBIH LANJUT**

Desain tersebut memperoleh peringkat BREEAM 2008 Excellent pada tahap desain dan peringkat Energy Performance Certificate (EPC) B (42), yang setara dengan bangunan baru yang efisien secara lingkungan. Data dari tahap pascakonstruksi belum tersedia. Sejumlah langkah telah diterapkan selama tahap desain dan konstruksi, dengan memperhatikan

pemilihan material berdampak rendah dan konservasi sumber daya, termasuk

- Insulasi serat kayu yang dapat bernapas ditambahkan ke atap timbal
- Poin teh yang dibangun dari plastik daur ulang yang terbuat dari cangkir kopi bekas pakai, dan dilengkapi dengan keran zip, lemari es berperingkat a+, dan fasilitas daur ulang
- Toilet dengan penyiraman rendah dan keran ber-aerasi sensor
- Fasilitas bersepeda baru
- Atap hijau dengan keanekaragaman hayati di atas bangunan baru yang sangat terisolasi.

Teknologi surya termal dan fotovoltaik ditolak sejak awal karena terhalang oleh Methodist Central Hall.

### 17.5 KETERLIBATAN DAN UMPAN BALIK PENGGUNA

Agar proyek ini berhasil, staf harus terlibat dengan bangunan tersebut. Panduan pengguna telah dibuat untuk memberi tahu staf tentang cara bangunan tersebut dirancang untuk dioperasikan. Keterbukaan komunikasi di dalam bangunan dan sistem lampu lalu lintas mendorong keterlibatan, dan akan menghasilkan sistem yang beroperasi secara efisien seperti yang diharapkan oleh tim desain. Evaluasi hunian awal telah dilakukan oleh ICE dan tim desain akan terus terlibat dalam memantau kinerja bangunan, membantu ICE mengelola sistem.

'Tim hijau' departemen perencanaan Dewan Kota Westminster juga telah mengunjungi bangunan tersebut sebagai bagian dari tugasnya untuk menemukan contoh-contoh proyek renovasi, dan akan menyediakan studi kasus bangunan tersebut di situs webnya. Meskipun kontraktor utama mengalami masalah administrasi di tengah jalan selama proyek berlangsung, yang mengakibatkan kredit BREEAM tak terelakkan hilang, tim tersebut telah mampu memberikan proyek yang berhasil menanggapi tiga persyaratan pengarah utama klien, yaitu keberlanjutan yang dapat dibuktikan, peningkatan akses, dan perubahan budaya.

Survei awal pengguna telah dilakukan setelah gedung ditempati, yang menyoroti tingkat kepuasan yang tinggi, termasuk yang berikut ini. 94% pengguna menemukan bahwa gedung tersebut memenuhi atau melampaui harapan mereka: Fasilitasnya bagus dan tentu saja melampaui harapan! Terima kasih atas kantor baru yang berkilau! Gedung baru ini cerdas, terang, dan penggunaan ruangnya sangat cerdas di sini. Perhatian terhadap tanggung jawab lingkungan dan daur ulang juga sangat terorganisasi dengan baik dan patut dikagumi. Kerja bagus semua yang terlibat dalam hal ini. Kami berharap dapat berada di sini sekarang, jauh lebih dari di OGGs [One Great George Street].

Berdasarkan beberapa minggu awal, dapatkah Anda melihat bagaimana langkah tersebut akan mencapai tujuannya?

**Tabel 17.1 Ekstrak Dari Survei Pengguna Awal**

	Ya	Agak	Tidak	Tidak yakin	Jumlah respons
Lingkungan modern	68,0% (34)	28,0% (14)	2,0% (1)	2,0% (1)	50
Mendorong kolaborasi	50,0% (25)	34,0% (17)	10,0% (5)	6,0% (3)	50
Mendorong budaya inovatif	22,0% (11)	48,0% (24)	12,0% (6)	18,0% (9)	50
Memungkinkan kita berbuat lebih banyak untuk membantu lingkungan	54,0% (27)	36,0% (18)	2,0% (1)	8,0% (4)	50
				Dijawab	50
				Dilewati	0

Mayoritas pengguna mendapati bahwa bangunan tersebut mencapai lingkungan modern yang mendorong kolaborasi dan memungkinkan mereka berbuat lebih banyak untuk membantu lingkungan, sebagaimana dirinci dalam cuplikan survei di Tabel 17.1.

Kotak 17.1 Data program	
Desain konsep	14 Agustus 2009
Persetujuan perencanaan	28 Oktober 2010
Mulai di lokasi	28 Februari 2011 (Killby dan Gayford)
Penyelesaian praktis	1 Maret 2013

Kotak 17.2 Data energi dan karbon

**Tabel 17.2. Emisi Karbon Sebelum Dan Sesudah Renovasi**

	Emisi karbon (Pemodelan Bagian L 2006): kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /tahun		
	Diatur	Tidak diatur	Total
Pra-perbaikan	47.7	19.4	67,1
Pasca-perbaikan	18.1	19.4a	37,5
			(yaitu peningkatan CO <sub>2</sub> lebih dari 40%)

Metodologi ini mengasumsikan tidak ada peningkatan pada beban yang tidak diatur, karena ini didasarkan pada asumsi yang ditetapkan dalam praktiknya, ini akan sangat bergantung pada pengguna, dan kami mengharapkan peningkatan melalui perbaikan karena peralatan TI modern, kontrol dan pemantauan yang lebih baik, dan keterlibatan ICE dengan staf terkait perilaku energi

- Metode penilaian lingkungan (BREEAM atau lainnya): BREEAM 2008 Sangat Baik

(sertifikat tahap desain); Peringkat Sangat Baik diharapkan pada sertifikasi pascakonstruksi (saat ini sedang berlangsung)

- EPC: B (42) pada tahap desain; EPC yang dibangun belum tersedia
- DEC (Sertifikat Energi Tampilan): belum tersedia, karena bangunan tersebut telah beroperasi kurang dari 1 tahun

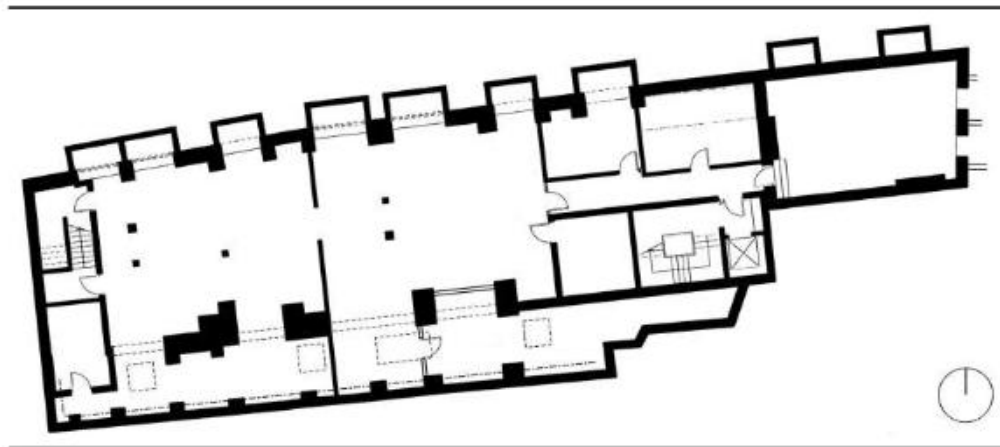
ICE kini memiliki gedung yang menunjukkan bahwa lingkungan kerja modern dengan kepadatan tinggi dapat diakomodasi dalam struktur bersejarah London melalui penerapan program desain retrofit yang cerdas dan berfokus pada pengguna.

#### Kredit

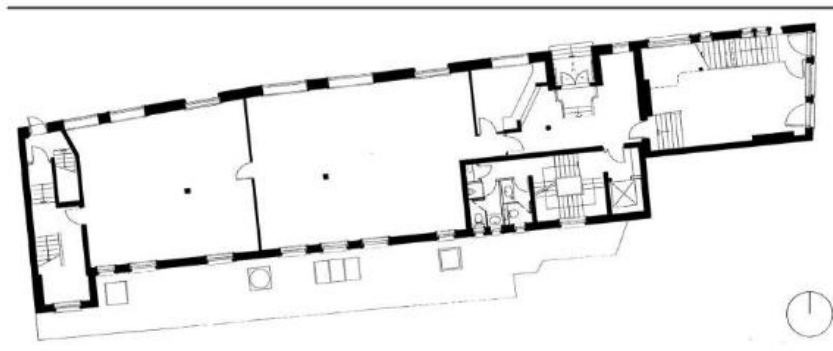
- Arsitek , Black Architecture
- Manajer proyek, Gardiner dan Theobald
- Surveyor kuantitas, Gardiner dan Theobald
- Insinyur mekanik, listrik, kesehatan publik, dan keberlanjutan, Hoare Lea
- Insinyur struktur, Mason Navarro Pledge
- Fotografi, Tim Soar

#### *Lampiran: Denah lantai 8 Storey's Gate*

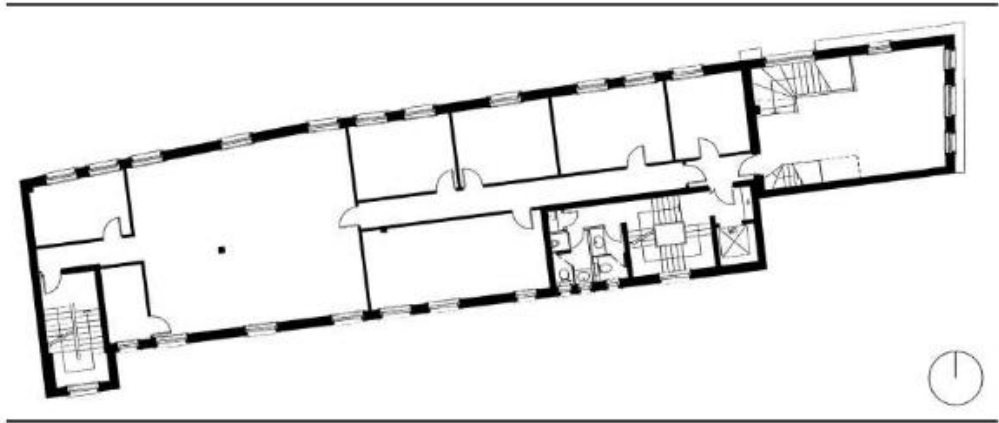
A: Ruang bawah tanah



B: Lantai dasar



C: Lantai pertama



## **BAB 18**

### **KOTA CERDAS, BERKELANJUTAN, DAN LAYAK HUNI**

Kota cerdas berkelanjutan yang layak huni telah mengalami kebangkitan yang kuat dalam beberapa tahun terakhir. Namun, di masa urbanisasi yang ekstrem, banyak pembuat keputusan terdorong untuk berpikir lebih mendalam tentang cara membuat kota tidak terlalu menegangkan dan lebih kreatif bagi orang untuk ditinggali dan menciptakan layanan dan peluang yang lebih baik dengan pandangan keberlanjutan jangka panjang. Kelayakan huni, kemampuan beradaptasi, dan kualitas hidup merupakan faktor utama di samping merancang dan mengelola sistem energi, air, polusi, dan limbah yang berkelanjutan untuk jangka panjang.

Perencanaan kota kontemporer telah dikritik karena berfokus pada tujuan akhir dengan koordinasi yang tidak memadai dari berbagai proses negosiasi tempat tinggal yang berkelanjutan yang, selain mewujudkan pemandangan kota yang menyenangkan secara visual, secara kritis memenuhi persyaratan sosial, fungsional, ekonomi, teknologi, dan lingkungan. Bab ini mengusulkan bagaimana 'kota yang cerdas, berkelanjutan, dan layak huni' dapat menjadi dasar dari 'pendekatan inovatif baru' untuk kota-kota kontemporer di masa depan, dengan rekomendasi untuk mencapai tujuan-tujuan ini.

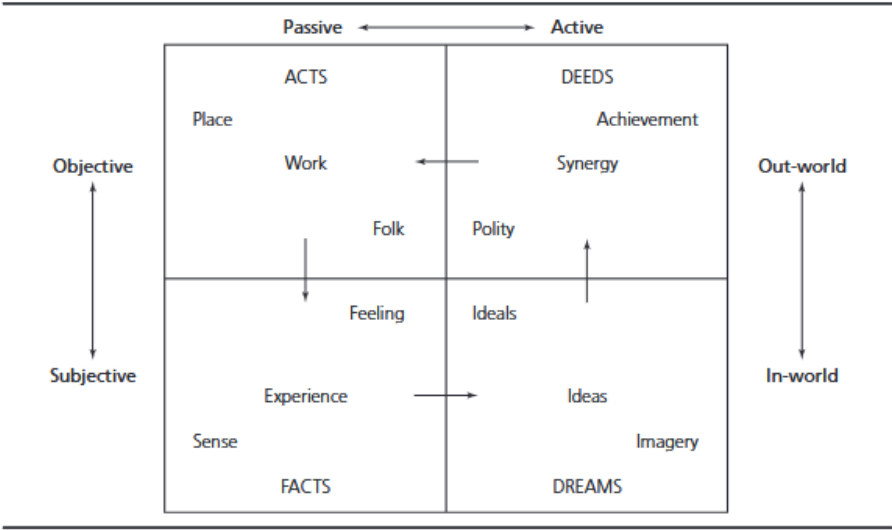
#### **18.1 LANSKAP KOTA**

##### **Perencanaan Kota**

Geddes (1854–1932), seorang ahli biologi, sosiolog, filantropis, dan perencana kota perintis asal Skotlandia, merancang berbagai 'mesin berpikir' sebagai cara untuk mempelajari interaksi manusia dengan lingkungan. Notasi konsep perencanaan kehidupan (Gambar 18.1) difokuskan pada judul-judul berikut: kota (tindakan), sekolah (fakta), biara (mimpi), dan kota (perbuatan) yang terintegrasi dengan tiga serangkai melakukan pekerjaan, di suatu tempat, dan dengan orang-orang. Hal ini mengakui kebutuhan kita untuk hidup dan bekerja di suatu tempat, memiliki hubungan sosial, dan menjadi kreatif dengan belajar. Pada tingkat yang lebih dalam, ia mengungkapkan aspek-aspek mimpi dan realitas kehidupan yang dapat diwujudkan melalui tindakan pasif dan perbuatan aktif.

##### **Kota Yang Layak Huni**

Baru-baru ini, Laporan The Economist Intelligence Unit (EIU, 2010) menyatakan bahwa kota yang paling layak huni cenderung berukuran sedang dan memiliki kepadatan penduduk yang lebih rendah, biasanya di negara-negara yang lebih kaya: Vancouver, Wina, dan Helsinki adalah contohnya. Sasaran keberlanjutan lebih sulit dicapai di kota-kota yang panas dan berpenduduk padat seperti Karachi, Lagos, dan Harare, tetapi Kota Masdar di Abu Dhabi, yang akan selesai dibangun pada tahun 2020, dapat menunjukkan bagaimana kota-kota di iklim panas dapat berkelanjutan.



Gambar 18.1 Notasi Konsep Perencanaan Hidup

**Pertumbuhan Penduduk Perkotaan**

Pertumbuhan penduduk perkotaan dunia berlangsung cepat dan diperkirakan mencapai 70% pada tahun 2050. Kota-kota meta atau hiper dengan jumlah penduduk lebih dari 20 juta seperti Tokyo, Chongqing, Mexico City, Delhi, Mumbai, Shanghai, Jakarta, Karachi, New York, Sao Paulo, dan Lagos mulai bermunculan; kota-kota besar dengan jumlah penduduk lebih dari 10 juta seperti Kairo, Istanbul, Paris, dan London juga terus bertambah jumlahnya. Sumber-sumber lain mendefinisikan kota-kota besar sebagai aglomerasi perkotaan, bukan wilayah metropolitan, dan pada tahun 2010 terdapat 25 kota besar menurut definisi ini.

Sepanjang sejarah, kota-kota seperti Athena, Roma, Wina, Amsterdam, dan London telah menjadi pusat budaya, penciptaan kekayaan, dan inovasi yang terkenal, yang menunjukkan bahwa, meskipun kota-kota yang padat penduduknya menimbulkan tekanan lingkungan dan tuntutan tinggi pada infrastruktur, atmosfer 'ramai' yang diciptakan oleh begitu banyak kontak manusia yang kaya dan beraneka ragam, bersama dengan jalinan budaya yang kaya merupakan stimulus bagi kreativitas dan menawarkan peluang untuk inovasi, meskipun kota-kota tersebut mungkin tidak termasuk dalam kota-kota layak huni teratas yang diklasifikasikan oleh EIU atau majalah Monocle, misalnya.

Tekanan perkotaan dan dampaknya terhadap kesehatan dibahas oleh Beil dan Hanes (2013a, 2013b) dan Shepherd et al. (2013). Kehidupan kota lebih cenderung berlangsung 24/7 daripada kehidupan pedesaan, dan ini juga memberikan denyut yang hidup pada aura kota. Namun, bahaya konglomerat besar adalah daerah kumuh yang membahayakan kesehatan; tuna wisma di mana orang miskin tidak dapat mengimbangi orang kaya; perluasan kota; kemacetan lalu lintas; polusi lingkungan yang memengaruhi kualitas udara dan kesehatan warga; dan kesenjangan antara orang kaya dan orang miskin.

Rata-rata, seiring bertambahnya ukuran kota, peluang bisnis dan inovasi juga meningkat yang pada tingkat tertentu mengimbangi sisi gelap pertumbuhan kota, tetapi tantangannya adalah bagaimana kita tetap dapat merancang dan mencapai kota yang berkembang pesat tetapi tetap sehat dan menggairahkan untuk ditinggali dan bekerja.



### **Pendorong perubahan**

Empat pendorong perubahan dalam lanskap kota kontemporer telah diidentifikasi

- **Kehidupan public:** Keinginan untuk menciptakan tempat yang diinginkan orang, yang menyenangkan dan berkelanjutan, berarti kita harus berupaya memanfaatkan dampak sebanyak mungkin dari setiap intervensi di permukiman untuk memungkinkan kehidupan publik yang beragam muncul dan berkembang. Ini adalah kunci untuk kekayaan, kesetaraan, dan keberlanjutan.
- **Efisiensi:** Sumber daya yang tersedia untuk menerapkan perubahan terbatas. Beberapa, seperti keuangan dan keterampilan sumber daya manusia, tertantang oleh iklim ekonomi saat ini. Mencapai efisiensi terbesar dengan sumber daya yang tersedia merupakan perhatian utama investor dan dewan kota. Efektivitas akses antara bangunan dan ruang diperlukan tetapi tidak cukup untuk menciptakan tempat yang hebat, yang membutuhkan partisipasi pemangku kepentingan dan perencanaan serta desain yang kreatif dan imajinatif.
- **Kolaborasi:** Lingkungan perkotaan itu kompleks, dengan banyak komunitas, pemangku kepentingan, dan proses, dan proses perubahan bisa menjadi rumit. Kolaborasi antara para pengambil keputusan, masyarakat, dan profesional diperlukan untuk mencapai perubahan yang efektif dan berkelanjutan dari waktu ke waktu. Kota cerdas yang berkelanjutan adalah salah satu rute desain untuk bergerak melalui kompleksitas ini, membimbing orang dan agenda menuju konsensus tentang apa yang perlu dilakukan untuk mencapai dampak yang saling menguntungkan.
- **Keberlanjutan:** Kota yang berkelanjutan bukanlah keadaan yang tetap dan sempurna, tetapi keadaan yang terus berkembang yang merespons perubahan dalam proses ekologi dan ekonomi serta dalam budaya dan lembaga manusia. Isu-isu utama ini dan lainnya akan membawa perdebatan desain menjauh dari praktik terbaik ke 'praktik berikutnya', dengan fokus pada inovasi dalam desain perumahan, tempat kerja, ruang publik, layanan, dan transportasi. Dalam hal ini, keberlanjutan adalah tentang membuat tempat-tempat mengonsumsi sumber daya minimum untuk generasi mendatang dan kemakmuran, mencerminkan banyak hal yang terjadi di alam dan pada saat yang sama meningkatkan kualitas hidup. Kualitas tidak boleh dikompromikan oleh ukuran. Perencanaan meta-kota sebagai kawasan dengan sejumlah kawasan ekologi layak huni yang lebih kecil di dalamnya harus mengarah pada pendekatan yang lebih mudah dikelola dan berkelanjutan yang lebih mungkin menghindari jebakan populasi skala besar yang terkonsentrasi di area yang relatif kecil. Eugene Tsui mengusulkan desain biomimetik untuk Menara Ultima kota setinggi 2 mil untuk menampung satu juta orang menggunakan pohon dan sistem kehidupan lain seperti rayap sebagai inspirasinya untuk mengurangi jejak karbonnya. Namun, apakah ini realistis dengan semua masalah manusia yang dapat ditimbulkan oleh kehidupan yang dekat? Ken Yeang telah mengembangkan ide untuk kota taman vertikal

## **18.2 KOTA BERKELANJUTAN YANG LAYAK HUNI**

### **Apa Yang Dimaksud Dengan Kota Layak Huni Yang Berkelanjutan?**

Definisi kota layak huni yang berkelanjutan sebagai berikut.

- Kota yang adil, tempat keadilan, makanan, tempat tinggal, pendidikan, kesehatan, dan harapan didistribusikan secara adil dan tempat semua orang berpartisipasi dalam pemerintahan.
- Kota yang indah, tempat seni, arsitektur, dan lanskap memicu imajinasi dan menggerakkan jiwa.
- Kota yang kreatif, tempat keterbukaan pikiran dan eksperimen memobilisasi potensi penuh sumber daya manusianya dan memungkinkan respons cepat terhadap perubahan.
- Kota yang giat tempat yang sukses baik untuk bisnis karena mereka menopang ekonomi lokal dengan mendorong modal ekonomi untuk berakar juga; tempat yang sukses 'memperbaiki' modal, ekonomi sekaligus sosial.
- Kota yang inovatif, yang memungkinkan warga untuk membangun modal sosial dan kapasitas yang dibutuhkan untuk menjadi pencipta bersama dan produsen bersama layanan baru dan inovatif dengan sarana untuk memastikan bahwa layanan tersebut diberikan dengan cara yang lebih efektif dan inklusif, memanfaatkan sepenuhnya teknologi dan proses baru.
- Kota yang inklusif, tempat keberlanjutan sosial melalui partisipasi publik dalam pengambilan keputusan lokal adalah kunci untuk meningkatkan demokrasi dan tata kelola.
- Kota yang adaptif kota yang sukses adalah kota yang tangguh dan kuat; kota ini beradaptasi dengan baik terhadap perubahan dan kemunduran serta mempertahankan dirinya dalam berbagai bentuk dari generasi ke generasi.
- Kota ekologis, yang meminimalkan dampak ekologisnya, tempat lanskap dan bentuk bangunan seimbang serta tempat bangunan dan infrastruktur aman dan hemat sumber daya.
- Kota yang terhubung, kota dengan kontak dan mobilitas mudah, yang melindungi pedesaan, memfokuskan dan mengintegrasikan masyarakat dalam lingkungan sekitar, dan memaksimalkan kedekatan.

Kelayakan hidup adalah jumlah dari aspek-aspek yang berkontribusi pada kualitas hidup suatu tempat, termasuk ekonomi, fasilitas, keberlanjutan lingkungan, kesehatan dan kesejahteraan, kesetaraan, pendidikan dan pembelajaran, serta kepemimpinan. Cara individu mengukur kelayakan hidup bervariasi: bagi sebagian orang, kelayakan hidup terletak pada jumlah ruang hijau setempat, bagi yang lain, adalah keragaman pekerjaan, berbagai pilihan hiburan, jangkauan transportasi umum, atau kualitas sekolah. Secara umum, kota harus direncanakan untuk mencapai tujuan-tujuan berikut.

- Ekonomi, seperti revitalisasi dan pembangunan ekonomi.
- Penggunaan lahan, seperti pembangunan yang kompak dan serba guna.
- Transportasi, seperti kemudahan berjalan kaki, aksesibilitas, dan pilihan transportasi.

- Keadilan seperti perumahan yang terjangkau dan komunitas berpendapatan campuran.
- Pengembangan komunitas, seperti rasa memiliki tempat, keamanan, dan kesehatan masyarakat.

Kota bersifat jangka panjang dan perlu beradaptasi untuk menghadapi perubahan berkelanjutan dalam teknologi serta dalam masyarakat itu sendiri. Kemampuan beradaptasi suatu tempat terletak pada kapasitasnya untuk menanggapi kekuatan perubahan sedemikian rupa sehingga tempat tersebut tetap positif di mata masyarakat yang tinggal di dan menggunakan tempat tersebut.

Ketahanan dalam pengertian ini mengharuskan kita memandang suatu tempat sebagai suatu sistem yang terdiri dari bagian-bagian yang saling terhubung sosial, ekonomi, dan lingkungan yang berfungsi secara sinergis (lihat Bagian 18.3). Setiap bagian harus cukup tangguh dalam skala dan kualitas agar tidak mudah gagal. Jika diselaraskan bersama, bagian-bagian tersebut harus saling melengkapi sehingga dapat mendukung adaptasi bertahap tempat tersebut secara keseluruhan, untuk mengakomodasi tekanan dan dampak perubahan.

Dengan cara ini, sistem tersebut mampu bekerja sama dan mengorganisasikan untuk mengoptimalkan tempat tersebut dengan lebih baik terhadap kondisi yang berubah dan mengubah komposisinya agar sesuai dengan pola-pola yang berubah yang dihadapi. Prasyarat kemampuan beradaptasi yang tangguh tersebut adalah adanya keyakinan yang dianut oleh

Para pemangku kepentingan tentang nilai suatu tempat; adanya komunikasi tentang dan partisipasi dalam tanggapan terhadap kondisi yang berubah; dan ada informasi dan analisis yang andal dan terkini tentang kinerja suatu tempat dan kemungkinan perubahan untuk memungkinkan proses pengembangan tempat tersebut diinformasikan secara cerdas. Kota yang adaptif harus dinilai dari keberhasilan tempat-tempat kita berdasarkan kemampuan suatu wilayah untuk menjadi 'siap berubah' dan adaptif, serta mampu memanfaatkan peluang.

### **Faktor-faktor lain**

#### **Kualitas hidup**

Mirip dengan 'kelayakan huni', istilah 'kualitas hidup' adalah istilah yang sangat umum yang dapat memiliki arti yang berbeda bagi orang yang berbeda dan mencakup berbagai domain. Secara umum, kualitas hidup mengacu pada kesejahteraan umum individu dan masyarakat. Maslow memetakan piramida kebutuhan yang menggambarkan faktor-faktor penting yang menentukan kesejahteraan bagi seorang individu (Gambar 18.2). Jika faktor-faktor ini terpenuhi, maka, secara umum, seseorang akan merasa puas, bahagia, dan cenderung memiliki motivasi yang tinggi.

Lingkungan kota dapat memengaruhi kebutuhan fisiologis, keamanan, dan aktualisasi diri. Bahkan rasa memiliki terhadap suatu tempat serta kohesi sosial yang dapat ditimbulkan oleh kota tersebut penting bagi individu. Pada tingkat komunitas, kota perlu menyediakan struktur dan infrastruktur yang cerdas, penyediaan sosial, fasilitas, dan hak milik dasar bagi warganya. Transportasi, perumahan, sekolah, dan keamanan adalah hal-hal mendasar. Kota harus adil, jujur, bersih, dan dapat diakses oleh semua usia dan budaya. Warga juga memiliki tanggung jawab untuk menjaga warisan perkotaan mereka. Tantangannya adalah menyatukan

semua ini menjadi satu kesatuan yang harmonis.

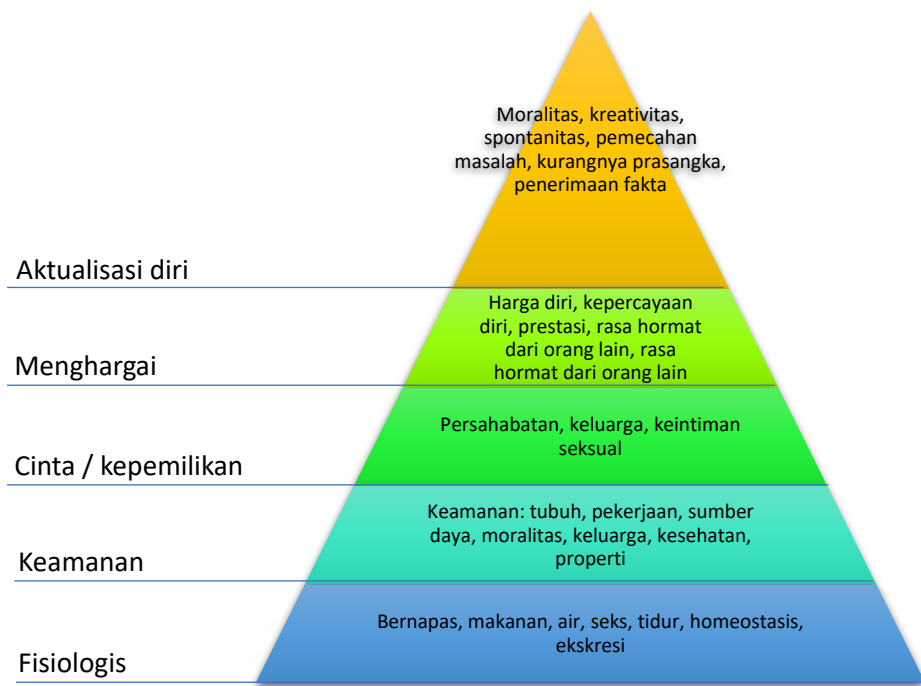
### **Nilai Ruang Hijau**

Dalam Bab 2, kami menjelaskan bagaimana alam menunjukkan kepada kita bagaimana optimalisasi alam dapat dicapai dan bagaimana serangga sosial tampak bekerja dengan mudah dalam tim, tetapi bagi manusia hal-hal ini tidak mudah dicapai dalam praktik. Sebagian besar dari kita hidup dalam masyarakat di mana uang menentukan pertumbuhan ekonomi, dan ini bertentangan dengan kebutuhan untuk pembangunan berkelanjutan.

Di alam, kebutuhan dasar adalah nilai-nilai, tetapi bagi manusia nilai-nilai kita dipandang dengan cara yang sangat berbeda tidak hanya oleh budaya yang berbeda tetapi juga oleh individu-individu dalam budaya ini. Terlalu sering, nilai-nilai dikorbankan untuk keuntungan finansial jangka pendek. Belajar dari alam dan bercita-cita untuk merancang dengan cara yang mendukungnya memberi kita kesempatan untuk memikirkan kembali beberapa strategi kita dalam arsitektur dan bagaimana kita dapat menangani pembangunan berkelanjutan, tetapi kita perlu mendekatinya dengan pikiran terbuka, dan keterlibatan aktif publik dan swasta dari semua orang.

Sudah saatnya untuk berhenti merancang dalam citra mesin dan mulai merancang dengan cara yang menghormati kompleksitas kehidupan itu sendiri kita harus mencerminkan interkoneksi mendalam alam dalam epistemologi desain kita sendiri. Mengintegrasikan alam secara efektif ke dalam desain dapat mengurangi penggunaan bahan, energi, dan juga polutan dengan membersihkan udara dari ozon dan sulfur dioksida.

Kota-kota ramah lingkungan mendorong berjalan kaki dan interaksi sosial, menghasilkan keteduhan, menyediakan persediaan makanan serta kesempatan rekreasi untuk semua usia, dan secara signifikan meningkatkan nilai properti. Ruang terbuka dengan taman, pepohonan, dan fitur air bersifat menenangkan dan memiliki dampak langsung pada kesehatan mental dan spiritual kita. (Lihat Bab 2 untuk informasi lebih lanjut tentang pelajaran dari alam.)



**Gambar 18.2 Piramida kebutuhan Maslow**

**Mobilitas**

Orang-orang ingin bepergian ke suatu tempat, tetapi keterhubungan di antara tempat-tempat tersebut dapat membuat frustrasi, menyita waktu, dan membuat stres. Transportasi yang lebih baik merupakan tuntutan yang hampir universal bagi kota-kota baru dan lama. Kota-kota yang dapat dilalui dengan berjalan kaki dengan jalur khusus untuk bersepeda lebih ramah, tidak terlalu berpolusi, dan lebih sehat, tetapi hal ini perlu didukung oleh sistem transportasi umum yang efektif.

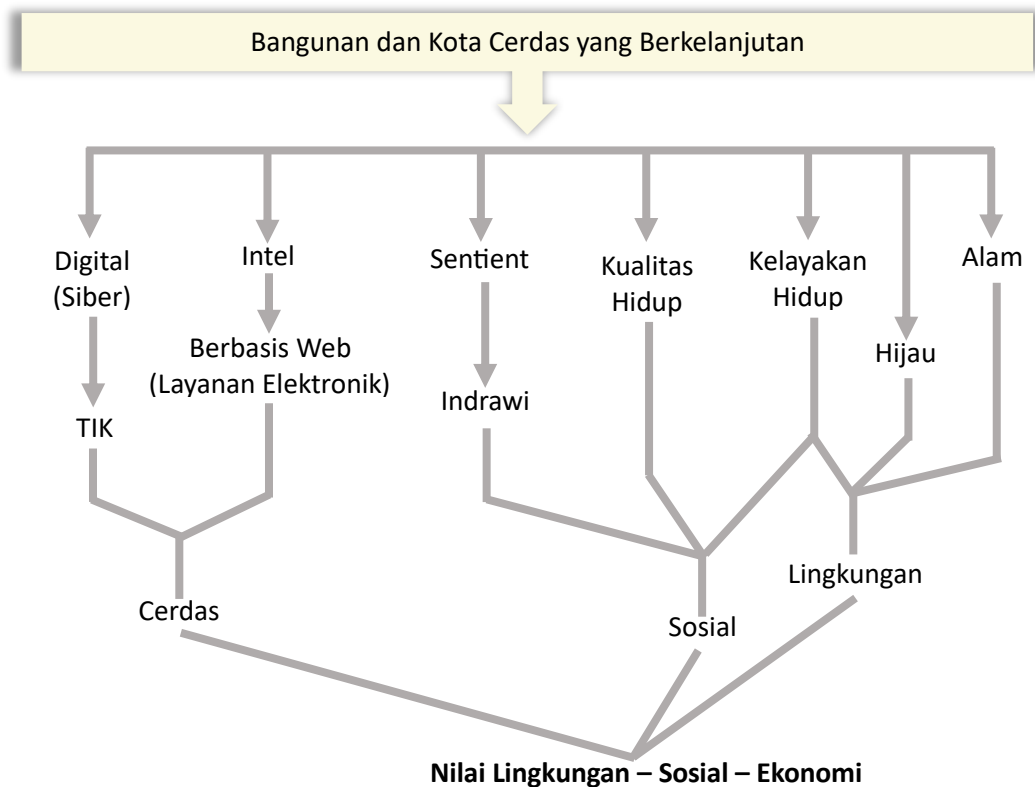
Hal ini lebih mudah dicapai di kota-kota yang lebih kecil. London yang bersejarah dikenal sebagai kumpulan desa, dan Anda dapat berjalan kaki dan menikmatinya: desa-desa tersebut terhubung satu sama lain oleh sistem metro bawah tanah, yang dibuka sekitar tahun 1850, dan jaringan bus. Saat ini, ada 9 juta penumpang per hari di London yang diangkut oleh sistem bawah tanah dan bus.

Namun, pemeliharaan, keselamatan, dan peningkatan sistem transportasi merupakan tantangan utama bagi kota-kota bersejarah yang telah menjadi sukses secara komersial. Contoh transportasi umum yang paling menonjol yang sering dikutip adalah sistem bus cepat TransMilenio, yang dibuka di Bogata pada tahun 2000, dan telah mengurangi polusi, volume mobil, dan kecelakaan secara drastis, meskipun kepemilikan mobil cukup rendah dibandingkan dengan AS. Kemacetan lalu lintas membuat stres dan juga mahal. EIU (2010) mengutip biaya kemacetan dalam sebuah studi tahun 2006 sebesar Rp. 310 Triliun per tahun untuk New York. Dirks dan Keeling (2009) memperkirakan biaya ini di seluruh dunia biasanya sebesar 1–3% dari PDB.

### 18.3 KOTA CERDAS

Pemahaman yang berlaku tentang kota cerdas (atau, secara lebih umum, ruang cerdas) adalah: lingkungan cerdas dengan teknologi informasi dan komunikasi tertanam yang menciptakan ruang interaktif yang membawa komputasi ke dunia fisik. Dari perspektif ini, kota cerdas merujuk pada lingkungan fisik tempat teknologi informasi dan komunikasi serta sistem sensor menghilang saat mereka tertanam ke dalam objek fisik dan lingkungan tempat kita tinggal, bepergian, dan bekerja.

Namun, beberapa istilah telah berkembang untuk menggambarkan kota cerdas. ‘Kota digital’, misalnya, adalah istilah khusus yang merujuk pada aspek teknologi informasi dan komputasi yang tertanam dalam desain dan pengoperasian kota untuk memungkinkan komunikasi yang lancar bagi organisasi, individu, dan masyarakat. Media sosial, internet, komputasi awan, sensor, dan telepon seluler menciptakan infrastruktur digital.



Gambar 18.3 Klasifikasi Istilah

Istilah ‘kota siber’ menggambarkan apa yang coba dilakukan oleh kota digital, tetapi awalan ‘cyb-’ dikaitkan dengan ide yang lebih futuristik seperti cyborg, makhluk dengan bagian biologis dan buatan (misalnya elektronik, mekanik, atau robot). ‘Kota yang peka’ menggambarkan seberapa baik kota merespons kebutuhan individu dan komunitas. ‘Kepekaan mengacu pada kemampuan untuk merasakan atau memahami secara subjektif, dan tidak selalu mencakup kemampuan kesadaran diri’.

Kita semakin sering melihat sensor ditanamkan dalam bahan termasuk pakaian sehingga orang menjadi bagian dari jaringan sensor nirkabel (lihat Bab 7), dan tidak hanya respons fisiologis yang dapat diukur tetapi juga suasana hati dan tingkat stres. Mahdavi (2009) telah mengajukan ide-ide tentang bangunan yang peka: 'Kota yang peka', yang didefinisikan oleh Sustainable Europe Research Institute (SERI), 'menciptakan serangkaian layanan e-pemerintahan yang baru dan inovatif untuk memenuhi kebutuhan warga negara dan bisnis'.

Gambar 18.3 mengklasifikasikan berbagai istilah ini dengan cara yang sama seperti yang dijelaskan untuk bangunan di Bab 1. Dalam bab ini, istilah 'kota cerdas' digunakan sebagai istilah yang mencakup semuanya, karena istilah ini mengakui pendekatan pasif berteknologi rendah serta sistem aktif berteknologi tinggi yang menjadikan kota cerdas.

Misalnya, Kota Masdar adalah kota netral karbon yang sedang dibangun di Abu Dhabi, dan menggunakan fitur perencanaan lingkungan tradisional seperti jalan sempit dan halaman untuk naungan sinar matahari di samping solusi teknologi canggih untuk sistem transportasi, air, dan limbah. Baru-baru ini, kota cerdas telah berkembang menuju integrasi yang kuat dari kecerdasan manusia, kolektif, dan buatan yang tersedia di dalam kota.

Kota-kota tersebut dibangun sebagai aglomerasi multidimensi yang menggabungkan tiga dimensi utama. Dimensi pertama dimulai dengan orang dan sisi modal manusia dari persamaan tersebut. Hollands (2008) mengemukakan bahwa 'faktor penting dalam setiap komunitas, perusahaan, atau usaha yang sukses adalah orang-orangnya dan cara mereka berinteraksi'.

Perspektif ini diambil oleh Paskaleva (2011), yang menjelaskan bahwa kota cerdas membutuhkan 'warga negara cerdas' jika kota tersebut benar-benar inklusif, inovatif, dan berkelanjutan. Namun, memberdayakan orang untuk memainkan peran yang lebih penuh dan lebih setara dalam sistem tata kelola yang muncul melalui akses ke layanan dinamis yang didukung internet terbukti menjadi tantangan, karena tidak semua orang mendapatkan akses yang sama terhadap keterampilan dan peluang yang seharusnya ada.

Dimensi kedua berkaitan dengan kecerdasan kolektif penduduk kota. Dimensi ini didasarkan pada lembaga-lembaga kota yang memungkinkan kerja sama dalam pengetahuan dan inovasi, yang mengubah dinamika 'kota cerdas' dengan menyatukan berbagai jenis keterampilan dan pengetahuan masyarakat, berdasarkan pengalaman hidup dan pembelajaran profesional mereka.

Pemahaman ini merupakan inti dari gagasan inovasi terbuka dalam 'kota pintar', namun menyiratkan bahwa produksi dan penyediaan layanan dan barang harus dibalikkan, sehingga kota benar-benar dapat menemukan kembali potensi masyarakat dan menyegarkan kembali jaringan sosial masyarakatnya.

Dimensi ketiga berkaitan dengan kecerdasan buatan yang tertanam dalam lingkungan fisik kota dan tersedia bagi penduduk kota: infrastruktur komunikasi, ruang digital, dan perangkat pemecahan masalah daring yang tersedia bagi penduduk kota, yang memperjelas hubungan antara berbagai komponen fisik. Oleh karena itu, 'kota cerdas' mengintegrasikan ketiga dimensi yang disebutkan di atas.

Ini melibatkan menghubungkan 'bagian'/'sistem' (misalnya tindakan individu,



bangunan cerdas, infrastruktur atau ruang digital, lembaga) ke 'tempat utuh' yang lebih besar dan mempertimbangkan keseluruhan sebelum menyetujui/merancang bagian/sistem individual. Misalnya, ketika sistem ekonomi tertekan, ini berdampak pada sistem sosial kita atau, pada akhirnya, sistem lingkungan dan sebaliknya.

Anda dapat membuat sistem kurang efektif dengan tidak menghubungkan komponen-komponen tersebut. Jika mereka tidak dirancang untuk bekerja sama satu sama lain, mereka akan cenderung bekerja melawan satu sama lain. Levine dkk. (2006) menunjukkan bahwa solusi lokal untuk satu bagian masalah sering kali menyebabkan konsekuensi negatif yang tidak diinginkan di tempat lain, dan setiap langkah menjadi lebih sulit sedemikian rupa sehingga titik keuntungan yang semakin berkurang tercapai.

Pandangan menyeluruh tentang suatu tempat memungkinkan pemahaman tentang bagaimana pengaruh yang memengaruhi suatu komunitas (kebijakan dan politik, ekonomi dan keuangan, mobilitas dan keterampilan masyarakat) dapat dikaitkan dengan aset suatu komunitas (masyarakat, lingkungan fisik, identitas dan budaya) untuk membentuk solusi yang imajinatif dan berbasis tempat.

Untuk mencapai hal ini, diperlukan perubahan baik dalam proses maupun dalam cara berpikir. Pembangunan perkotaan pada dekade pertama abad ke-21 mengalami siklus dramatis 'boom and bust', kekuatan finansial dan ekonomi yang menyebabkan runtuhnya investasi dalam pembangunan di seluruh dunia berjalan beriringan dengan tren makro perubahan lingkungan, demografi, sosial, politik dan teknologi, yang semuanya berdampak pada tempat dan komunitas perkotaan serta sektor pengembangan properti. Akibatnya, empat isu utama telah berulang kali muncul. Fragmentasi masyarakat dan hilangnya kohesi sipil.

- Layanan publik pendukung yang terlalu banyak dan meningkatnya kebutuhan yang tidak terpenuhi.
- Komunitas yang tidak kompetitif dan semakin tidak berfungsi.
- Lingkungan yang dibangun memiliki nilai sosial, lingkungan, dan pasar yang lebih rendah.

Oleh karena itu, pemahaman tentang hubungan timbal balik antara sistem kota kompleksitas sistem perkotaan, laju perubahan teknologi, ekonomi, dan sosial, serta persyaratan keterlibatan masyarakat sangat penting bagi para pengambil keputusan dan tim pembangunan untuk mengurangi biaya pemrograman, perancangan, konstruksi, dan pengoperasian serta dampak sosial dan lingkungan.

#### **18.4. KOTA SEBAGAI SISTEM**

Seperti yang telah dibahas, kota terdiri dari sejumlah sistem yang saling berinteraksi, dan interaksi di antara mereka harus efektif. Namun, beberapa sistem dapat dimodelkan lebih mudah daripada yang lain. Misalnya, memodelkan sistem transportasi adalah mungkin, tetapi dampaknya terhadap bisnis dan konsekuensi sosial lebih sulit untuk diperkirakan. Forkenbrock dan Weisbrod mencatat bahwa jaringan transportasi dapat memengaruhi kualitas visual suatu area, tingkat kebisingan lalu lintas, interaksi sosial, dan kohesi komunitas, yang semuanya

dapat memengaruhi kemampuan suatu area untuk menarik bisnis dan penduduk baru.

Interoperabilitas sangat penting. 'Keseluruhan' (kota dengan sistem yang dapat dioperasikan) memiliki batasan yang ditetapkan oleh alam itu sendiri; waktu, dalam arti bahwa kota itu untuk generasi mendatang maupun generasi sekarang dan apa yang kita sebut sekarang sebagai pembangunan berkelanjutan; nilai sosial-ekonomi, di mana kualitas dicari dengan biaya seumur hidup; dan keterjangkauan bagi orang-orang yang tinggal dan bekerja di sana. Secara keseluruhan, ini merupakan masalah yang rumit bagi para perencana, desainer, dan operator untuk dipecahkan, dan tidak hanya memerlukan keterampilan teknis tetapi juga banyak imajinasi.

Lawrence menggambarkan hubungan antara perumahan dan kesehatan misalnya, dan menyimpulkan bahwa kompleksitas dan kerumitan ini tidak dapat ditangani dengan pendekatan pemecahan masalah standar, dan karenanya mendefinisikannya sebagai 'masalah pelik', sebuah ungkapan yang awalnya dicetuskan oleh Rittel dan Webber. Tentu saja, kota-kota dengan segala keragamannya menimbulkan bukan hanya satu tetapi beberapa masalah pelik. Lawrence memberi judul babnya dalam Brown et al. 'Di luar batasan disipliner menuju transdisiplineritas imajinatif', dan menyarankan cara berpikir baru yang layak dipertimbangkan lebih lanjut. Konektivitas, interoperabilitas, dan integrasi adalah kata kunci yang sulit dicapai manusia dalam praktik tetapi tidak oleh alam.

Checkland menganggap sifat-sifat yang muncul sebagai fitur terpenting dari pemikiran sistem. Johnson menyatakan: Properti yang muncul dapat dianggap sebagai perilaku tak terduga yang berasal dari interaksi antara komponen aplikasi dan lingkungannya. Pemikiran holistik, bukan pendekatan terpisah, diperlukan untuk mengatasi hal ini. Jika tidak, fragmentasi akan terjadi dan beberapa sistem berfungsi tetapi saling ketergantungan antara sistem akan hilang. Yang penting adalah melihat peran setiap bagian dalam organisasi keseluruhan, untuk melihat bagaimana bagian tersebut memiliki identitasnya sendiri dan, pada saat yang sama, dibentuk dalam bentuk dan perilakunya dengan berpartisipasi dalam sistem yang lebih besar dari dirinya sendiri.

### **18.5. DESAIN KOTA SEBAGAI SISTEM INTEGRAL**

Pendekatan integral, sebagaimana diuraikan oleh DeKay dan Ellin dan lainnya, melibatkan perspektif utama diri, budaya, dan alam (atau seni, moral, dan sains) pada berbagai tingkat kompleksitas. Secara khusus, pendekatan ini mengambil pendekatan perkembangan terhadap perspektif berbagai pandangan dunia yang ada dalam budaya kontemporer. Budaya pluralistik tersebut merupakan gabungan dari nilai-nilai tradisional, modern, postmodern, dan integral yang menggunakan metode yang berbeda untuk memahami dunia. Selain mengintegrasikan fungsi-fungsi yang dipisahkan oleh kota modern, urbanisme integral juga berupaya untuk mengintegrasikan.

- Gagasan konvensional tentang perkotaan, pinggiran kota, dan pedesaan, untuk menghasilkan model baru bagi kota kontemporer
- Desain dengan alam
- Karakter lokal dengan kekuatan global

- Profesi desain
- Orang-orang dari berbagai etnis, pendapatan, usia, dan kemampuan. Urbanisme integral adalah tentang hal berikut.
- Hibriditas dan konektivitas, yang menyatukan aktivitas dan orang-orang, alih-alih mengisolasi objek dan memisahkan fungsi. Kualitas-kualitas ini juga memperlakukan orang dan alam sebagai simbiosis seperti halnya bangunan dan lanskap alih-alih sebagai oposisi.
- Porositas, yang menjaga integritas dari apa yang disatukan sambil memungkinkan akses bersama melalui membran yang dapat ditembus, alih-alih upaya modernis untuk membongkar batas-batas atau benteng pascamodernis.
- Keaslian, yang melibatkan keterlibatan aktif dan pengambilan inspirasi dari kondisi sosial dan fisik yang sebenarnya dengan etika kepedulian, rasa hormat, dan kejujuran. Seperti semua organisme yang sehat, keaslian selalu tumbuh dan berkembang sesuai dengan kebutuhan baru yang muncul karena lingkaran umpan balik yang menyesuaikan diri yang mengukur dan memantau keberhasilan dan kegagalan.
- Kerentanan, yang mengharuskan kita melepaskan kendali, mendengarkan dengan saksama, menghargai proses dan juga produk, dan mengintegrasikan kembali ruang dengan waktu.

Eksplorasi dalam desain berkelanjutan integral memotong perspektif utama ini dengan empat tingkat kompleksitas, untuk menghasilkan banyak 'prospek' pada desain. Nilai dari pendekatan tersebut terhadap desain dan perencanaan kota ada tiga.

- Pendekatan ini mempertimbangkan berbagai pembacaan isu perkotaan dan memberikan palet luas solusi potensial.
- Pendekatan ini menawarkan kerangka kerja yang menyatukan berbagai pandangan pemangku kepentingan dan membantu mencapai solusi praktis.
- Pendekatan ini memberikan pemahaman tentang bahasa, budaya, konsep, nilai, dan metode berbagai isu, sehingga memberikan desainer dan perencana alat yang ampuh untuk berkomunikasi secara efektif dengan semua pemangku kepentingan.

DeKay menggambarkan pendekatan yang diinformasikan secara integral terhadap kota berkelanjutan berdasarkan pertanyaan-pertanyaan berikut.

- Dari perspektif pengalaman: bagaimana bentuk kota dapat dibentuk untuk menghasilkan pengalaman oleh individu-individu tentang alam dan kekuatannya? Dari perspektif budaya: bagaimana bentuk kota dapat dibentuk untuk mewujudkan makna yang dianut oleh budaya lokal tentang Alam dan proses kehidupannya?
- Dari perspektif perilaku: bagaimana bentuk kota dapat dibentuk untuk memaksimalkan kinerja melalui penggunaan sumber daya yang efisien dan meminimalkan polusi?
- Dari perspektif sistem: bagaimana bentuk kota dapat dibentuk untuk memandu aliran proses ekologi dan menyesuaikan aktivitas manusia dengan konteks ekologi?

Pandangan integral membantu kita menyembuhkan fragmentasi keragaman belaka dan merekonstruksi pandangan dan solusi baru yang muncul, kolaboratif, dan lebih kompleks

terhadap masalah kota. Pergeseran dari pendekatan linear ke model terpadu dan holistik merupakan lompatan budaya signifikan yang perlu dilakukan oleh para arsitek, insinyur, dan perencana. Perjalanan ini melibatkan pembiasaan ulang dan pemahaman keterkaitan antara manusia dan tempat serta perubahan secara evolusioner yang diarahkan untuk menciptakan tempat yang lebih aman, khas, dan berkelanjutan.

Tantangannya adalah untuk memahami kembali proses perancangan-perencanaan-pembangunan, dengan memberikan perhatian khusus pada solusi baru untuk persyaratan komunikasi dan koordinasi guna mencapai transfer efektif dari perancangan ke permukiman hidup yang terwujud. Dengan kata lain, proses perancangan kota harus dilihat sebagai sesuatu yang memungkinkan daripada deterministik: individu harus bertanggung jawab atas tindakan mereka dan diberi tingkat kebijaksanaan dalam penerapan proses tingkat tinggi.

#### **18.6. PERENCANAAN KOTA CERDAS, BERKELANJUTAN, DAN LAYAK HUNI**

‘Perangkat’ perencanaan kota kontemporer mempertahankan rencana spasial indikatif sebagai alat bantu komunikasi, dan kini harus mencakup instrumen untuk memantau perubahan lingkungan dan kinerja serta hasil pembangunan. Dalam proses ini, metode kolaborasi perlu diterapkan di berbagai tingkatan dan untuk berbagai fase, pada kedalaman detail yang berbeda-beda, dan responsif terhadap berbagai peluang. Proses ini perlu didekati sebagai aktivitas koordinasi sistem yang saling terkait untuk mempertahankan penyelarasan konstruktif berbagai aktivitas yang terus dipantau dan ditinjau (dikelola dengan penggunaan informasi). Aktivitas ini meliputi:

- Visi yang terus berkembang yang menggabungkan tujuan yang layak pengaturan tempat
- Rencana hubungan dan penggunaan lahan yang indikatif dan dapat disesuaikan pembuatan tempat
- Desain yang mencerminkan nilai dan prinsip sosial, ekonomi, dan lingkungan pembuatan tempat
- Program bergulir proyek yang dikelola dengan nilai yang memiliki manajemen fasilitas yang efektif, termasuk evaluasi pasca-hunian sehingga dampaknya ditinjau.

Praktik kota cerdas yang berkelanjutan kemudian dapat dipahami sebagai pengelolaan ‘teralis’ proses yang di dalamnya serangkaian tingkat pekerjaan praktis yang berbeda dapat diatur dan dilakukan. Nilai dari pendekatan ‘teralis’ adalah pendekatan ini dapat mengungkapkan keterkaitan dan saling ketergantungan yang diperlukan dari berbagai aktivitas.

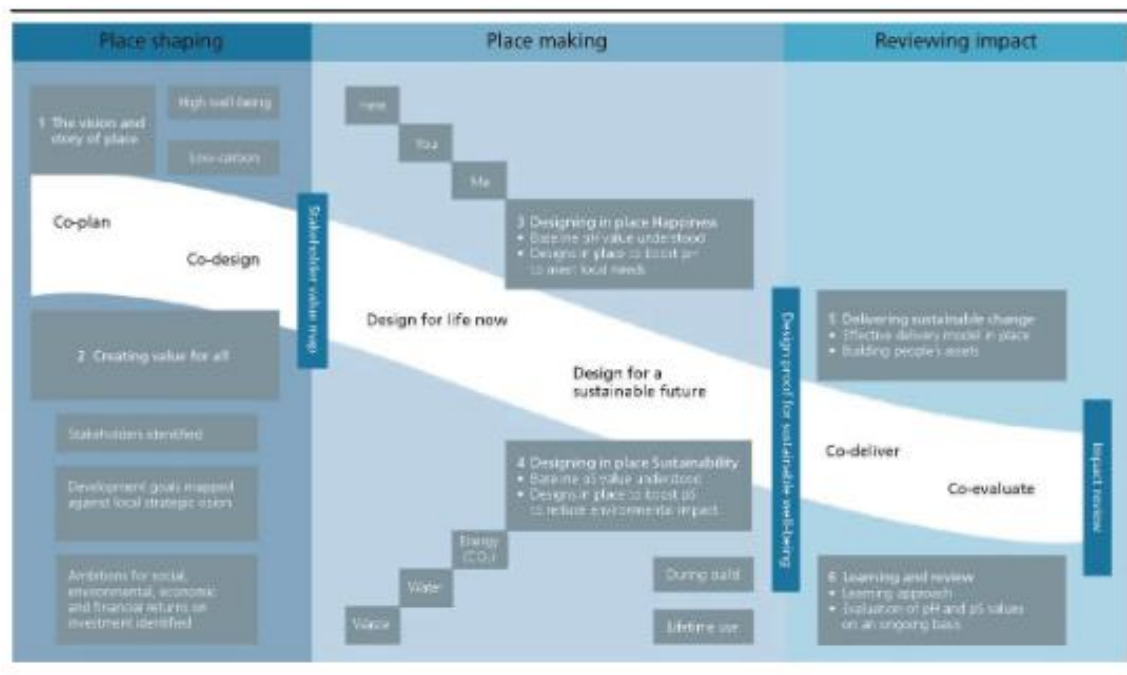
#### **Solusi Penilaian Berkelanjutan**

AIWaer dan rekan kerjanya melakukan evaluasi komparatif terhadap struktur dan pengoperasian metode penilaian di berbagai tingkat dan untuk berbagai fase yang berfokus pada berbagai bidang kinerja keberlanjutan. Analisis tersebut menyimpulkan sebagai berikut.

- Sebagian besar metode penilaian yang ada tidak dirancang secara eksplisit untuk menangani isu-isu spesifik regional (tidak ada satu pun yang ‘berhasil’ tanpa adaptasi), dan sulit dimanipulasi ke berbagai dimensi konteks (nilai, budaya, politik, dan sosial).
- Pergeseran dari ‘hijau’ (praktik atau kebijakan yang tidak berdampak negatif terhadap

lingkungan) ke 'berkelanjutan' (dapat dipertahankan pada tingkat atau level tertentu) menghadirkan tantangan besar untuk meningkatkan alat penilaian, karena sebagian besar alat berfokus pada dimensi lingkungan tanpa komitmen yang jelas terhadap faktor sosial, budaya, dan ekonomi.

Gambar 18.4 Proses perencanaan harus mempertahankan keselarasan konstruktif dari elemen-elemen yang membantu mengoordinasikan seluruh sistem hubungan.



- Salah satu aspek yang menghalangi kita untuk sepenuhnya menyadari manfaat jangka panjang dari solusi penilaian berkelanjutan adalah fokus jangka pendek saat ini pada pemasangan solusi, daripada perspektif jangka panjang yang memastikan kinerja berkelanjutan sepanjang masa pakai yang dimaksudkan meskipun kondisi berubah.
- Ada beberapa alat yang membahas penilaian komunitas berkelanjutan di luar bangunan hijau (yaitu tingkat lingkungan dan distrik), yang harus memperhitungkan regenerasi perkotaan, aspek ekonomi, sosial, dan budaya dari perencanaan induk dan desain kota.
- Tidak ada mekanisme yang jelas yang terkandung dalam alat-alat ini yang menyatukan berbagai kelompok kepentingan untuk membentuk proses penilaian berbasis konsensus.
- Proses perhitungan tidak jelas bagi pengguna. Dalam hal ini, ini bukan masalah pemahaman tetapi kurangnya kejelasan metode digunakan sebagai 'latihan kotak hitam atau kotak centang' mereka memberikan jawaban, tetapi metodenya tidak transparan atau dibenarkan.
- Sebagian besar alat belum menyertakan bobot kepentingan yang tertanam atau tidak ada urutan kepentingan untuk kriteria. Beberapa isu harus diberi poin lebih banyak

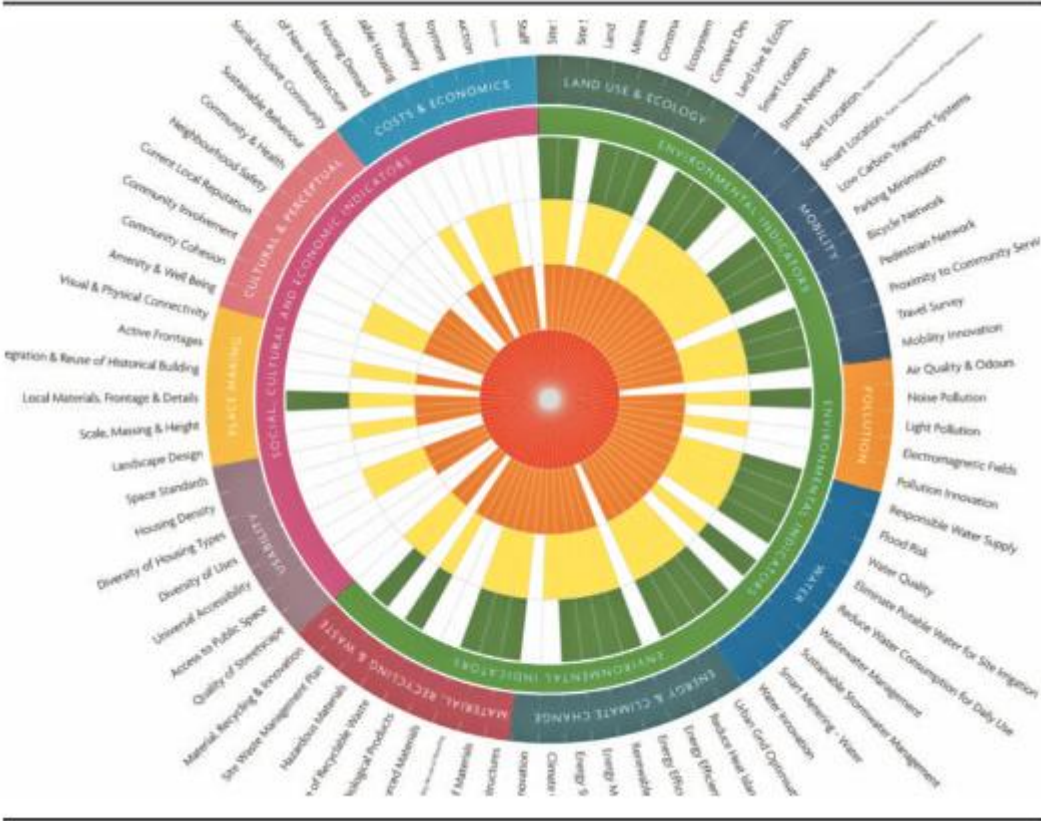
daripada yang lain (lebih banyak untuk kualitas udara yang baik daripada untuk parkir sepeda, kualitas udara relatif terhadap emisi).

Disimpulkan bahwa diperlukan pemahaman terperinci tentang proses inklusif, dampak, dan penerapan metode penilaian, khususnya dalam hal berikut.

- Keterlibatan pemangku kepentingan (proses berbasis konsensus versus konflik dan proses kompromi).
- Menjadi adaptif dan berorientasi pada konteks (menangani isu dan prioritas khusus regional).
- Menjadi komprehensif (mempromosikan penggunaan pendekatan pemikiran sistem secara menyeluruh untuk menciptakan tempat yang lebih baik).
- Bersifat prosedural: proses penilaian bukan sekadar uji coba akhir skema setelah keputusan besar diambil dan dilaksanakan proses ini harus menjadi bagian dari proses pengembangan, pembelajaran, dan peningkatan proyek, proposal, kebijakan, program, dan kinerja, dan latihan pembelajaran. Nilai pemantauan dan evaluasi yang berkelanjutan hanya akan terwujud sepenuhnya jika diterapkan pada tiga tingkat berikut:
  - menilai penyampaian kebijakan dan prosedur
  - menilai efektivitas permukiman/lingkungan
  - menilai keberlanjutan dari apa yang telah dicapai.

Informasi ini harus dihasilkan dari seluruh proses penilaian, dan perlu disusun, dikomunikasikan, lalu ditafsirkan dan direfleksikan kembali kepada para pelaku dalam proses tersebut sehingga mereka belajar dari apa yang telah terjadi. Oleh karena itu, penting untuk menetapkan bagaimana pemantauan dan peninjauan akan dilakukan sebagai bagian dari keseluruhan proses. AlWaer dan Clements-Croome dengan Hilson Moran Partnership mengembangkan Sustainable Built Environment Tool. Dalam proses pengembangan, desain kerangka kerja dibentuk oleh poin-poin berikut. Gambar 18.5 Diagram SuBETRadAR kerangka kerja SuBET digambarkan sebagai indikator keberlanjutan integral.





- Mempromosikan solusi sosial, lingkungan, dan ekonomi ke dalam pendekatan holistik. Daripada melihat rencana induk sebagai kumpulan hal-hal (lereng, drainase, jalan, ruang, dan bangunan, dll.), perencanaan induk didekati sebagai properti yang muncul dari interaksi semua sistem ini.
- Mengidentifikasi indikator keberlanjutan utama yang ‘dapat diukur, sebanding, dapat dipindahtangankan, informatif, dan dapat diterima untuk pilihan kebijakan’. Hal ini telah menyebabkan penggabungan lebih dari 75 indikator ke dalam SuBETool, yang mengkompromikan faktor lingkungan, sosial, budaya, dan ekonomi. Faktor-faktor ini diklasifikasikan pada empat tingkatan terpadu, mulai dari skala mikro (misalnya air, energi, dan pemeliharaan) hingga skala meso (misalnya penggunaan lahan, penataan tempat, konektivitas perkotaan, pemilihan lokasi, dan transportasi) hingga skala makro (misalnya aspek perencanaan perkotaan dan regional, emisi gas rumah kaca) dan, terakhir, hingga skala global (misalnya perubahan iklim).
- Mampu digunakan dalam konteks desain yang berbeda. Dengan demikian, dianggap penting bahwa SuBETool memiliki bentuk dan metodologi yang konsisten, tetapi dapat beradaptasi dengan situasi yang berbeda.
- Penilaian keberlanjutan harus dipahami sebagai ‘proses penentuan ruang lingkup yang partisipatif dan siklus’ yang melaluinya ‘interpretasi bersama tentang keberlanjutan dikembangkan’. Dalam proses ini, partisipasi semua pemangku kepentingan dapat membantu mengenali keberagaman regional dan budaya; dan pada akhirnya mencapai solusi praktis dan efektif.



Alat perencanaan induk SuBET dapat digunakan untuk mengartikulasikan kualitas subjektif yang dirasakan oleh berbagai pemangku kepentingan serta ukuran objektif dalam desain dan pengoperasian rencana induk dan infrastruktur di dalam kota. SuBET dapat membantu menciptakan integrasi dan keterlibatan yang lebih besar antara semua pemangku kepentingan yang terlibat. Kerangka kerja perencanaan induk SuBET didasarkan pada model seumur hidup yang berfokus pada

- Orang: pemilik; pemangku kepentingan, penghuni, pengguna
- Produk: kualitas bangunan, ruang; infrastruktur, layanan, taman hijau, kain

**Tabel 18.1 Indikator SuBET**

(a) Kelompok dan indikator SuBET (lingkungan)	
<p>Material, daur ulang, dan limbah</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemanfaatan kembali struktur, infrastruktur, dan material</li> <li>• Desain untuk pembongkaran, adaptasi, penggunaan kembali, atau daur ulang</li> <li>• Material bersumber lokal</li> <li>• Sumber produk biologis berkelanjutan</li> <li>• Penyimpanan limbah yang dapat didaur ulang</li> <li>• Material berbahaya</li> <li>• Rencana pengelolaan limbah di lokasi</li> <li>• Inovasi material dan daur ulang</li> </ul>	<p>Aspek budaya dan persepsi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fasilitas dan kesejahteraan</li> <li>• Kohesi komunitas</li> <li>• Keterlibatan komunitas g Reputasi lokal saat ini g Keamanan lingkungan sekitar</li> <li>• Komunitas dan kesehatan</li> <li>• Perilaku berkelanjutan</li> <li>• Komunitas yang inklusif secara sosial</li> </ul>
<p>Kegunaan</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kualitas ruang jalan</li> <li>• Akses ke ruang public</li> <li>• Aksesibilitas universal</li> <li>• Keragaman penggunaan dan tipe perumahan</li> <li>• Kepadatan perumahan</li> <li>• Ruang dan standar</li> </ul>	<p>Biaya dan ekonomi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kelayakan infrastruktur baru</li> <li>• Permintaan perumahan perumahan yang terjangkau</li> <li>• Kemakmuran lokal</li> <li>• Potensi/ketersediaan lapangan kerja</li> <li>• Produksi pangan lokal</li> <li>• Pemeliharaan: meminimalkan seluruh biaya siklus hidup</li> <li>• Keterampilan dan pengetahuan staf operasi</li> </ul>
<p>Pembuatan tempat</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desain lanskap</li> <li>• Skala, massa, dan tinggi</li> </ul>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material lokal, bagian depan, dan detail</li> <li>• Integrasi dan penggunaan kembali bangunan bersejarah</li> <li>• Bagian depan aktif</li> <li>• Konektivitas visual dan fisik</li> </ul>	
(b) Kelompok dan indikator SuBET (sosial, budaya dan ekonomi)	
<b>Pemilihan lokasi dan ekologi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemilihan lokasi: pemanfaatan kembali lahan dan perlindungan lahan produktif</li> <li>• Remediasi</li> <li>• Meminimalkan dampak ekologis</li> <li>• Konstruksi: pengolahan nilai ekologis</li> <li>• Peningkatan ekosistem</li> <li>• Pembangunan yang kompak</li> <li>• Inovasi pemanfaatan lahan dan ekologi</li> </ul>	<b>Konservasi air</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Penyediaan air yang bertanggung jawab</li> <li>• Risiko banjir</li> <li>• Kualitas air</li> <li>• Menghilangkan air minum untuk irigasi lahan</li> <li>• Mengurangi konsumsi air untuk penggunaan sehari-hari</li> <li>• Pengelolaan limbah dan air hujan</li> <li>• Pengukuran air pintar</li> <li>• Inovasi air</li> </ul>
<b>Mobilitas dan konektivitas perkotaan</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lokasi cerdas</li> <li>• Jaringan jalan</li> <li>• Kedekatan dan frekuensi infrastruktur yang ada dengan transportasi umum</li> <li>• Penyediaan struktur baru dengan transportasi umum</li> <li>• Sistem transportasi rendah karbon</li> <li>• Minimalisasi tempat parkir</li> <li>• Jaringan sepeda dan pejalan kaki</li> <li>• Kedekatan dengan layanan masyarakat</li> <li>• Survei perjalanan</li> <li>• Inovasi mobilitas</li> </ul>	<b>Energi dan perubahan iklim</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimalisasi jaringan perkotaan</li> <li>• Mengurangi efek pulau panas</li> <li>• Pencahayaan luar ruangan yang hemat energi</li> <li>• Bangunan hemat energi</li> <li>• Pembangkitan dan penggunaan energi terbarukan</li> <li>• Pengukuran energi dan strategi energi</li> <li>• Perubahan iklim: kerentanan dan</li> <li>• Adaptasi</li> <li>• Inovasi energi dan sumber daya alam</li> </ul>
<b>Polusi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kualitas udara dan bau</li> <li>• Polusi suara dan cahaya</li> <li>• Medan elektromagnetik</li> <li>• Inovasi polusi</li> </ul>	

- Prinsip: indikator keberlanjutan; keterlibatan pemangku kepentingan; prioritas dan sistem penilaian yang relevan secara lokal; isu-isu berwujud dan tidak berwujud
- Proses: tata kelola kolaboratif; perencanaan proses; tahap penilaian, pemantauan yang dikelola dengan menggunakan informasi forum pembelajar bersama dan roda pembelajaran) dan hubungan timbal balik di antara mereka sesuai dengan fase perencanaan, desain, konstruksi, dan operasi.

### **18.7. TATA KELOLA KOLABORATIF KOTA**

Koordinasi proses pengembangan tempat lokal telah mengembangkan praktik tata kelola yang rumit. Perencanaan lokal, jalan, kontrol bangunan, dan otoritas hukum lainnya mengatur kegiatan pengembangan pemilik tanah dan pengembang. Masyarakat lokal yang terkena dampak proposal pembangunan memiliki hak untuk didengar pada kesempatan tertentu dalam prosedur persetujuan yang diformalkan.

Fragmentasi saluran komunikasi dan pengambilan keputusan yang dilembagakan telah menuai kritik sebagai penyebab dari mediokritasnya pembangunan lokal baru-baru ini. Kemampuan untuk mengembangkan pemahaman kolektif dan mendalam melalui dialog, alih-alih perdebatan, merupakan keterampilan yang hampir wajib bagi tim kota cerdas di masa mendatang jika kita berharap untuk mengubah sifat pemahaman kita tentang, dan kepedulian terhadap, pembangunan berkelanjutan.

Kami menyimpulkan bahwa faktor keberhasilan utama dari pendekatan kota cerdas yang lebih baik adalah merencanakan ketahanan tempat; mewujudkan perilaku yang berjiwa wirausaha; dan membangun kolaborasi dan partisipasi. Elemen-elemen ini perlu dimanfaatkan dengan tata kelola proses pembangunan yang efektif, dan yang penting untuk ini adalah pentingnya manajemen informasi yang lebih tinggi, yang memerlukan pemantauan situasi, penilaian peluang, dan pengukuran kinerja dampak aktual dari pembangunan bertahap.

Untuk mewujudkan perubahan ini, kita memerlukan pandangan yang jauh lebih terintegrasi tentang perencanaan dari perspektif infrastruktur, dan lebih banyak integrasi dalam cara mengelola dan mengoperasikan data di seluruh jaringan. Misalnya, Simon Giles, Prinsipal Senior Kota Cerdas, mengatakan:

Jika kita ingin berinovasi pada model bisnis, kita harus berinovasi pada tata kelola. Dapatkah kita melangkah lebih jauh dari negara bagian dan pemerintah daerah sebagai satu-satunya pihak yang mampu melakukan investasi di dalam kota, dan mulai berbicara tentang model tata kelola alternatif yang menempatkan tanggung jawab itu ke dalam beberapa bentuk organisasi bersama atas nama kota, tetapi yang memiliki lebih banyak kebebasan untuk bertindak dan memicu semangat kewirausahaan?

Singkatnya, advokasi adalah untuk melakukan yang lebih baik dengan lebih sedikit dengan menjadi lebih terinformasi dan kooperatif. Pandangan partisipatif tentang keterlibatan pemangku kepentingan mendukung proses desain dan perencanaan. Konsultasi telah berkembang dari latihan teknis yang preskriptif menjadi proses siklus yang memfasilitasi dialog yang bersifat musyawarah antara berbagai pemangku kepentingan dan terkait erat dengan

proses pengambilan keputusan untuk secara eksplisit memengaruhi keputusan-keputusan penting terkait dengan pembangunan masa depan suatu wilayah.

Suatu proses di mana berbagai pemangku kepentingan berbagi forum bersama, mempelajari nilai-nilai satu sama lain dan merefleksikan nilai-nilai mereka sendiri serta menciptakan visi dan tujuan bersama. Reed dan 7 Group menyebut pendekatan ini sebagai ‘pendekatan pemangku kepentingan integratif’ terhadap proses desain. Pendekatan ini memerlukan proses tata kelola yang memfasilitasi komunikasi antara semua pelaku, bersamaan dengan dorongan untuk mencapai tujuan berkualitas tinggi.

### **18.8. PELAJARAN BAGI DUNIA YANG MENGALAMI URBANISASI**

Beberapa pelajaran yang muncul dari perencanaan dan pengembangan Curitiba di Brasil untuk kota-kota lain meliputi hal-hal berikut.

- Prioritas utama harus diberikan kepada transportasi umum daripada mobil pribadi, dan kepada pejalan kaki daripada kendaraan bermotor. Jalur sepeda dan area pejalan kaki harus menjadi bagian terpadu dari jaringan jalan dan sistem transportasi umum.
- Kota yang berkelanjutan adalah kota yang menggunakan seminimal mungkin dan melestarikan semaksimal mungkin. Penerapan pragmatis dari manajemen permintaan dan daur ulang ini dicontohkan di Curitiba melalui pemulihan limbah padat, penggunaan kembali bus-bus lama sebagai sekolah keliling, pelestarian dan penggunaan tempat tinggal bersejarah, dan kebijakan ketenagakerjaan yang menempatkan orang miskin di pabrik pemilahan limbah dan sebagai pengajar mata kuliah pendidikan lingkungan.
- Dapat ada rencana aksi yang terpadu dan peka terhadap lingkungan untuk setiap rangkaian masalah. Solusi dalam setiap kota tidak bersifat spesifik dan terisolasi, tetapi saling terkait. Rencana aksi harus melibatkan kemitraan antara para pelaku yang bertanggung jawab seperti pengusaha sektor swasta, organisasi nonpemerintah, lembaga kota, utilitas, asosiasi lingkungan, kelompok masyarakat, dan individu.
- Kreativitas dapat menggantikan sumber daya finansial. Idealnya, kota harus mengubah sumber masalah tradisional menjadi sumber daya. Misalnya, transportasi umum, limbah padat perkotaan, dan pengangguran secara tradisional terdaftar sebagai masalah, tetapi mereka berpotensi menjadi generator sumber daya dan solusi baru. Ide-ide kreatif dan padat karya dapat, sampai batas tertentu, menggantikan teknologi padat modal.
- Solusi sosial, lingkungan, dan ekonomi dapat diintegrasikan ke dalam pendekatan holistik.

Kombinasi kemitraan publik-swasta, transparansi, dan partisipasi mendorong tanggung jawab bersama. Pengalaman Curitiba menunjukkan bahwa solusi, bukan hanya masalah, dapat dilihat secara terpadu

### **18.9. REKOMENDASI**

Inilah saatnya untuk cara berpikir baru: kita perlu menciptakan perubahan dalam

proses dan pemikiran. Daripada melihat kota cerdas sebagai kumpulan berbagai hal, kota cerdas harus didekati sebagai cara memanfaatkan proses dinamis yang terus-menerus menyusun dan merestrukturisasi. Pandangan ini didukung oleh Reed et al., yang menekankan bahwa diperlukan perubahan dari fokus pada produk rencana kota ke pola pikir sistem yang bertujuan. Model ini meminta para pemangku kepentingan untuk bersikap terbuka dan bersedia mengubah cara mereka selama ini melakukan sesuatu.

Untuk mencapai hasil yang disepakati, serangkaian hubungan perlu dibangun, membawa kita ke ranah kepemimpinan tetapi menjauh dari satu orang yang mengendalikan proses menuju gagasan kepemimpinan yang terdistribusi, dengan banyak orang yang memimpin dan memberi masukan. Ini adalah proses evolusi yang idealnya mendorong partisipasi dan mengilhami tindakan bersama. Kualitas komunikasi, mendengarkan, dan pembelajaran yang terjadi selama proses akan tercermin dalam hasil akhir.

Jadi, kita tidak boleh berasumsi bahwa ada model yang benar untuk kota cerdas; sebaliknya, kita harus menganggap praktik sebagai pengalaman belajar dalam hal mengakomodasi berbagai pandangan dan menghasilkan serta menggunakan pengetahuan yang relevan secara sah. Bab 1 mengacu pada perlunya kerja tim terpadu yang dibantu dengan menggunakan anggota tim integrator sistem tetapi juga menekankan pentingnya faktor manusia dan sosial; sistem manajemen data yang efektif; inovasi yang tepat; dan perlunya pemikiran sistem holistik. Semua rekomendasi yang dijelaskan di sana berlaku untuk kota maupun bangunan cerdas.

Di luar langkah-langkah ini, kita perlu meninjau pendidikan dan pelatihan yang kita tawarkan kepada para perencana, arsitek, insinyur, dan pihak lain yang bertanggung jawab atas pembangunan kota. Para pemangku kepentingan memiliki pendekatan dan tingkat pencapaian yang berbeda-beda dalam pendidikan mereka, dan ini mengarah pada budaya yang sangat terpisah yang memecah belah. Ada beberapa upaya untuk mempromosikan pembelajaran terpadu antara arsitek dan insinyur, tetapi terlalu sedikit. Peran yang berubah dijelaskan oleh Cooper dan Symes. Kita perlu mimpi untuk merangsang kemungkinan lain untuk masa depan, tetapi kenyataan hidup sehari-hari harus membuat rencana kota menjadi layak.

Kota adalah warisan bagi generasi mendatang, jadi kota harus mampu beradaptasi dengan perubahan sosial dan teknologi yang cepat yang sedang terjadi. Ingatlah bahwa perubahan sosial sama cepatnya dengan perubahan teknologi. Schumacher, dalam bukunya *Small is Beautiful*, menulis tentang teknologi perantara yang tepat dengan mengakui bahwa teknologi saja tidak menyelesaikan segalanya, terutama masalah manusia. Penggunaan inovasi harus diintegrasikan ke dalam lingkungan tertentu.

Arsitektur kota dan bangunan memerlukan keseimbangan teknologi yang memungkinkan tujuan tersebut terwujud, tetapi ini akan mencakup pelajaran dari arsitektur vernakular, yang biasanya diklasifikasikan sebagai teknologi rendah, di samping kemajuan dalam teknologi tinggi.

## **BAB 19**

### **PELUANG DAN TANTANGAN BAGI BANGUNAN CERDAS**

Bangunan cerdas dibedakan dari bangunan yang berisi sistem cerdas melalui integrasi teknologi untuk beroperasi melalui jaringan data tunggal. Manfaat sistem jaringan umum yang terintegrasi terlihat dari penghematan biaya modal dan operasional sebagai hasil dari gangguan minimum dalam mengakomodasi perubahan yang terlambat dan berkurangnya kebutuhan untuk peningkatan bangunan di masa mendatang, peningkatan komunikasi dan efisiensi dalam mengaktifkan layanan dan sistem baru.

Bangunan cerdas menciptakan nilai melalui penghindaran biaya yang tidak perlu, peningkatan efisiensi dan penyediaan peluang pendapatan melalui interaksi publik seperti penggunaan perangkat seluler atau layar tampilan untuk membantu meningkatkan daya tarik dan tingkat hunian di sektor ritel. Daya tarik bangunan dapat ditingkatkan dengan menyediakan WiFi, yang meningkatkan pengalaman pelanggan.

Evolusi desain bangunan perlu mengimbangi teknologi dan pendekatan tradisional yang masih disukai banyak orang di industri ini perlu ditantang, tetapi seiring dengan berkembangnya basis pengetahuan dan manfaatnya yang lebih dipahami secara luas, hambatan akan teratasi. Bangunan yang benar-benar cerdas dan berkelanjutan akan menjadi norma karena pengguna dan perancang bangunan masa depan semakin memiliki keterampilan untuk mewujudkannya.

### **19.1. PENDAHULUAN**

Jumlah teknologi dan jumlah sistem kontrol yang digunakan di gedung-gedung komersial telah meningkat secara eksponensial selama tiga dekade terakhir. Fokusnya adalah menyediakan alat yang semakin canggih untuk mengelola lingkungan, keamanan, komunikasi, orang-orang, dan perilaku mereka. Dengan kecanggihan yang ditambahkan, muncullah kompleksitas dan akses ke sejumlah besar informasi. Sementara kemampuan pemrosesan sirkuit elektronik telah berkembang sejalan dengan 'hukum Moore', yang memprediksi penggandaan daya pemrosesan setiap 2 tahun, evolusi desain bangunan telah berjuang untuk mengimbangnya.

Semua bangunan modern memiliki sistem cerdas. Yang membedakan bangunan cerdas dari bangunan yang berisi sistem cerdas adalah integrasi teknologi untuk beroperasi melalui jaringan data IP yang ada di mana-mana, kemampuan mereka untuk memanfaatkan kekuatan interoperabilitas untuk meningkatkan kinerja dan nilai ekonomi, dan penyediaan data berguna waktu nyata yang diakses dari antarmuka manusia yang mudah digunakan.

### **19.2. DEFINISI BANGUNAN CERDAS**

Jadi, apa itu bangunan cerdas? Salah satu definisi paling awal untuk bangunan cerdas dikemukakan pada Simposium Internasional tentang Bangunan Cerdas, yang diadakan di Toronto pada tahun 1985:

*Bangunan cerdas menggabungkan inovasi teknologi atau bukan, dengan manajemen yang*

*terampil untuk memaksimalkan laba atas investasi.*

Definisi yang lebih baru ditulis oleh Kari Baden, Direktur Pelaksana Dimension Data Advanced Infrastructure (DDAI), sebuah perusahaan yang paling tepat digambarkan sebagai penyedia industri zaman baru di sektor bangunan cerdas, dalam makalahnya yang berjudul, *Arsitektur Bangunan Terpadu Hype Pemasaran atau Nilai Bisnis? Sebuah bangunan yang produktif bagi penggunanya, efisien secara operasional bagi pemilik/pengembang, dan lebih aman serta lebih hijau bagi semua melalui integrasi semua sistem bangunan ke dalam jaringan konvergen dan penggunaan sistem manajemen terintegrasi yang cerdas.*

Sangat menarik untuk melihat bagaimana kedua definisi tersebut menekankan pentingnya nilai baik dalam bentuk laba atas investasi atau dengan menyediakan ruang yang produktif dan efisien. Pada akhirnya, dari sudut pandang klien komersial, bangunan cerdas adalah bangunan yang sepenuhnya disewakan dan menghasilkan pendapatan.

### **19.3. PENGGERAK BANGUNAN CERDAS TERPADU**

Untuk memahami peluang bangunan cerdas terpadu, penting untuk memahami penggerak yang mendasari perubahan dari sistem cerdas tradisional yang berbeda menjadi solusi yang saling terhubung dan dapat dioperasikan. Kemajuan teknologi bukanlah penggerak itu sendiri, meskipun evolusi protokol komunikasi standar dan adopsi internet ke dalam kehidupan sehari-hari telah menciptakan lingkungan bisnis untuk bangunan cerdas terpadu. Penggerak bisnis yang berdampak pada desain lingkungan binaan adalah sebagai berikut.

- Globalisasi bersaing di pasar global.
- Perubahan iklim adaptasi untuk menghindari keusangan.
- Pembangunan berkelanjutan mengoptimalkan penggunaan sumber daya.
- Kecepatan konstruksi prafabrikasi dan pra-komisioning.
- Biaya modal standarisasi.
- Biaya operasional mengurangi biaya energi dan pemeliharaan.
- Tahan masa depan mudah beradaptasi dan fleksibel.
- Diferensiasi penciptaan nilai dan produktivitas tempat kerja.
- Kelangsungan bisnis ketahanan dan keandalan.
- Keamanan terorisme dan langkah-langkah keamanan bisnis.
- Demografi melayani populasi yang menua dan persaingan untuk mendapatkan bakat.
- Kesehatan dan keselamatan aman digunakan, aman digunakan, kesehatan dan kesejahteraan.

Sebuah bangunan cerdas terpadu menanggapi semua faktor pendorong ini, dan menciptakan nilai dengan menghindari biaya yang tidak perlu, meningkatkan efisiensi, dan menyediakan peluang pendapatan.

### **19.4. MENCIPTAKAN NILAI**

Berinvestasi dalam jaringan cerdas tangguh dengan bandwidth tinggi yang terintegrasi akan menambah nilai intrinsik pada struktur bangunan. Jaringan ini bekerja pada sejumlah



level, menciptakan manfaat bagi berbagai pemangku kepentingan di berbagai tahap siklus hidup bangunan. Pada fase konstruksi, mengganti beberapa jaringan kabel yang dibuat khusus dengan satu jaringan tangguh akan menghemat waktu dan uang. Pendekatan bisnis seperti biasa, dengan setiap kontraktor spesialis bekerja dengan mentalitas berbasis silo, memasang sistem kabel mandiri yang berbeda, mengarah pada serangkaian instalasi yang tidak terkoordinasi dan dibatasi waktu.

Sebagian besar sistem otomasi bangunan (CCTV, keamanan, sistem manajemen bangunan (BMS), kontrol pencahayaan, pengukuran energi, dll.) dan sistem perusahaan bangunan (suara, video, data, WiFi, layanan intranet, dll.) dapat beroperasi dengan cukup baik pada jaringan data yang sama menggunakan jaringan area lokal virtual (VLAN). Mengganti beberapa jaringan kabel dengan satu jaringan tulang punggung tangguh yang dapat digunakan oleh beberapa sistem mengurangi jumlah kontraktor kabel yang mengerjakan proyek, menghemat biaya modal, dan memberikan fleksibilitas untuk mengakomodasi perubahan yang terlambat dengan gangguan minimum.

Persyaratan penting bisnis di dunia TI telah menjadikan pengujian bukti konsep di luar lokasi sebagai bagian integral dari proses perancangan dan pengujian jaringan kabel data dan infrastruktur aktif. Integrasi sistem kontrol bangunan ke jaringan umum telah membawa ketelitian baru ke dunia proyek konstruksi dengan pengujian bukti konsep awal yang mengharuskan semua penyedia sistem untuk mengembangkan desain perangkat lunak dan perangkat keras mereka jauh lebih cepat dalam program proyek daripada yang biasanya terjadi. Menghubungkan sistem ke dalam satu jaringan juga mendorong dialog dan kerja sama yang konstruktif antara penyedia spesialis, dan masalah teknis dengan cepat diidentifikasi dan dipecahkan jauh sebelum fokus aktivitas beralih ke lokasi.

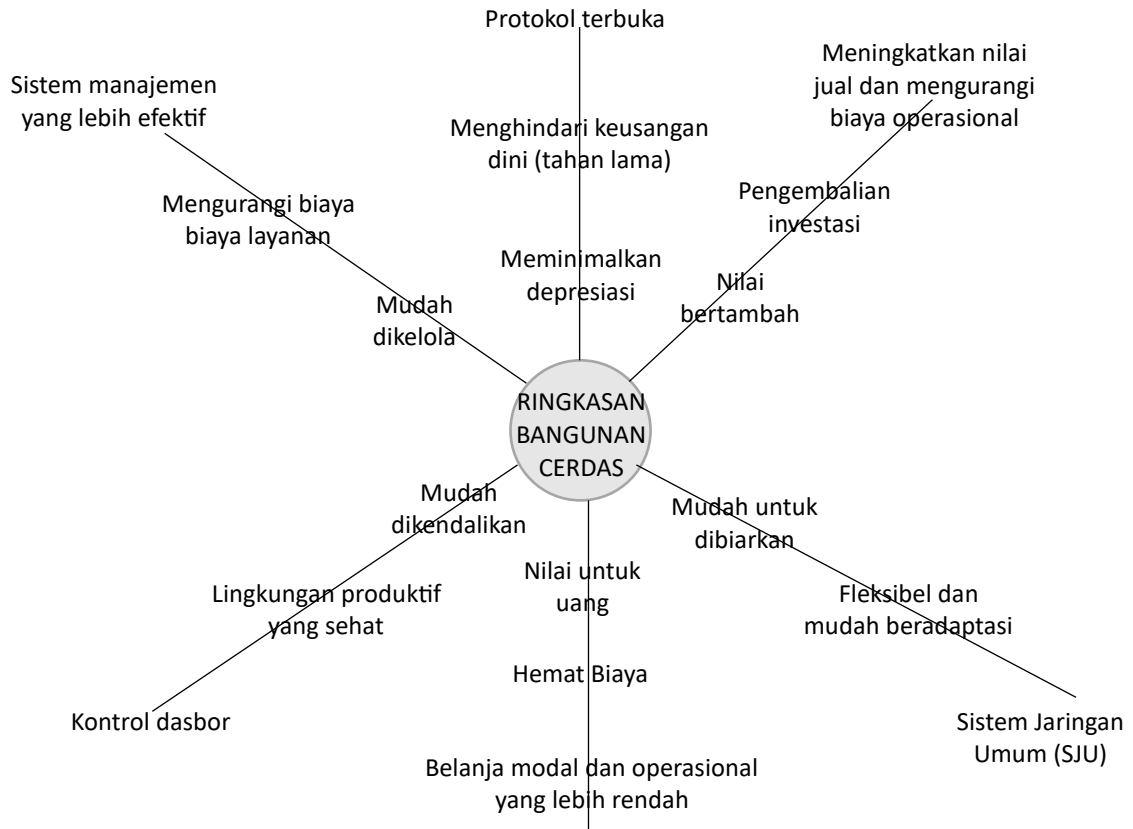
Dengan hampir semua sistem kontrol dan manajemen bangunan bergantung pada pengiriman jaringan data umum, pemasangan dan komisioning awal menjadi jauh lebih penting daripada sistem individual mana pun yang berdiri sendiri. Hal ini memberikan tekanan kepada kontraktor utama untuk menyediakan ruang pemrosesan pusat, lokasi hub, dan rute kabel lebih awal dalam program pembangunan daripada sebelumnya. Hal ini pada gilirannya membantu memastikan bahwa sistem dikomisioning lebih awal, sehingga ada waktu di akhir proyek untuk menguji dan membuktikan sistem bangunan.

Memiliki jaringan data umum berdasarkan sistem operasi dan protokol standar memberikan manfaat bagi pengguna dan operator bangunan, meningkatkan komunikasi, efisiensi manajemen, dan memungkinkan layanan dan sistem baru untuk diterapkan tanpa memerlukan infrastruktur tambahan. Hal ini juga mengurangi kebutuhan untuk peningkatan yang mahal dan mengganggu selama masa pakai bangunan. Penyediaan layanan suara, video, dan data yang berpusat pada bangunan yang beroperasi di seluruh jaringan data umum juga membuka peluang untuk menghasilkan pendapatan. Hal ini khususnya terjadi dalam lingkungan ritel di mana hubungan komunikasi bisnis-ke-bisnis dan bisnis-ke-pelanggan memungkinkan pemilik dan operator bangunan untuk menyediakan layanan bernilai tambah kepada pelanggan bisnis dan mengakses pendapatan iklan dari platform perangkat lunak terintegrasi menggunakan layar tampilan, layar sentuh, situs web, SMS, WiFi, dan situs jejaring

sosial.

### 19.5. MEMENUHI KEBUTUHAN KLIEN UNTUK BANGUNAN CERDAS

Elemen-elemen berikut merupakan inti dari kebutuhan klien untuk bangunan komersial yang sukses.



**Gambar 19.1 Ringkasan Klien Untuk Bangunan Pintar**

- Nilai yang meningkat laba atas investasi.
- Mudah disewakan fleksibel dan mudah beradaptasi.
- Meminimalkan penyusutan menghindari keusangan dini.
- Efisien untuk dikelola dan dioperasikan mengurangi biaya biaya layanan.
- Mudah dikendalikan menciptakan lingkungan yang sehat dan produktif.

Bangunan cerdas yang mencakup sistem jaringan umum terpadu membantu memenuhi aspirasi ini dengan meningkatkan aset dan nilai jual potensial, menambah fleksibilitas dan ketahanan masa depan, menurunkan biaya modal dan operasional, mengurangi risiko konstruksi, dan menyediakan kontrol dasbor yang mudah digunakan.

### 19.6. PERJALANAN KLIEN MENUJU SOLUSI BANGUNAN CERDAS TERPADU

Land Securities adalah perwalian investasi real estat (REIT) terbesar di Inggris dengan portofolio properti komersial senilai sekitar Rp235.159,54. Perusahaan ini adalah perusahaan

FTSE100 yang memiliki dan mengelola sekitar 29 juta ft<sup>2</sup> properti komersial dan menyediakan layanan properti kepada lebih dari 2500 klien sektor swasta dan publik. Kepemilikan properti perusahaan terutama difokuskan pada kantor komersial di pusat kota London dan pusat ritel serta taman gudang ritel di seluruh Inggris, dengan peningkatan eksposur ke pasar hunian multi-penghuni kelas atas di West End London.

Dengan tanggung jawab untuk mengelola berbagai properti yang tersebar secara geografis di seluruh Inggris, Land Securities telah memimpin sektor properti dalam mengadopsi teknologi baru dan solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi manajemen dan menambah nilai pada bangunannya. Perkembangan pesat sistem manajemen gedung (BMS) berbasis grafis pada akhir tahun 1980-an dan awal tahun 1990-an serta keinginan untuk tidak terikat pada satu penyedia menyebabkan perlunya penanganan data dari beberapa sistem dalam antarmuka pengguna umum baik di tingkat lokasi individual maupun di seluruh portofolio gedung.

Upaya awal untuk mengembangkan protokol alarm umum dengan sejumlah pemasok BMS diikuti oleh perangkat lunak yang dirancang khusus untuk menghubungkan sistem menggunakan konverter protokol guna menyediakan layar antarmuka pengguna akhir dengan kepala umum. Gedung Land Securities pertama yang menggunakan perangkat lunak terintegrasi jenis ini adalah pusat perbelanjaan White Rose di Leeds, yang selesai dibangun pada tahun 1997. Pusat tersebut juga memiliki sistem peringatan toko yang dihubungkan melalui jaringan khusus, yang menyediakan sistem komunikasi sederhana antara manajemen pusat dan pengecer. Komersialisasi internet pada tahun 1995 membawa serta pendekatan baru dalam penggunaan teknologi dan pemrosesan data di gedung.

Dorongan untuk mengadopsi protokol umum dan beroperasi melalui jaringan TCP/IP mulai meruntuhkan mentalitas silo dan proteksionisme pemasok teknologi, yang selama ini menolak dorongan dari klien untuk mengintegrasikan sistem otomasi gedung dan menyederhanakan antarmuka pengguna. Ledakan dot-com di awal tahun 2000-an memicu keinginan pemilik properti untuk menggunakan teknologi informasi di gedung untuk memfasilitasi manajemen aset aktif dan mengakses aliran pendapatan baru dari aset dunia nyata mereka. Frasa 'bricks and clicks' memasuki kosakata.

Bagi Land Securities, peluang untuk membangun hubungan bisnis-ke-bisnis dan bisnis-ke-konsumen dipimpin oleh sektor rekreasi dan ritel. Jaringan IP tuan tanah pertama di seluruh gedung dipasang di 'The Gate' di Newcastle pada tahun 2002, tempat layar tampilan video yang menghadap pelanggan dan layar sentuh informasi digabungkan dengan intranet komunikasi pengecer. Hal ini diikuti oleh serangkaian pengembangan baru pada awal tahun 2000-an di Bullring Birmingham, Whitefriars Canterbury, dan Princesshay Exeter, yang dibangun berdasarkan pendekatan terpadu dan menambahkan berbagai sistem manajemen serta layanan desktop suara dan data pusat.

Langkah logis berikutnya adalah menggabungkan sistem kontrol otomasi gedung (BMS, kontrol pencahayaan, CCTV, dan keamanan, dsb.) dengan sistem jaringan IP pemilik gedung (sistem suara, video, data, dan intranet) untuk berjalan melalui infrastruktur jaringan umum. Transisi CCTV dari teknologi analog ke digital yang terjadi pada pertengahan tahun 2000-an

menciptakan permintaan lain untuk jaringan IP pita lebar yang tangguh di gedung-gedung, dan ini memberikan dorongan yang diperlukan untuk mengambil langkah berikutnya. Bekerja sama erat dengan pengembang properti lain Hammerson, yang telah menjadi mitra dalam proyek Bullring, perusahaan-perusahaan tersebut mendekati proyek bersama berikutnya, pengembangan pusat perbelanjaan Cabot Circus di Bristol, dengan komitmen untuk menyediakan infrastruktur jaringan umum guna mendukung semua teknologi informasi dan sistem otomasi gedung menggunakan arsitektur VLAN.

Bangunan ini selesai dibangun pada tahun 2008 dengan semua sistem, kecuali sistem alarm kebakaran, menggunakan infrastruktur bangunan umum. Bangunan ini memenangkan Penghargaan Penggunaan TI Terbaik dari CIBSE pada tahun 2009. Pendekatan serupa diadopsi dalam pembangunan pusat perbelanjaan St David milik Land Securities di Cardiff, yang selesai dibangun pada tahun 2009. Hingga saat ini, Land Securities hanya menggunakan pendekatan infrastruktur jaringan umum pada pembangunan ritel, tetapi skema baru di pusat kota London, yang menggabungkan fasilitas perbelanjaan utama dengan kantor seluas lebih dari 350.000 kaki persegi, menjadi batu loncatan untuk memasukkan sistem kontrol kantor tuan tanah dalam pendekatan terpadu.

Skema ini adalah pembangunan One New Change yang diakui secara luas yang terletak di sebelah Katedral St Paul di pusat kota London. Pusat perbelanjaan dibuka pada tahun 2010, dan penyewa kantor mulai menempatnya pada tahun 2011. Skema One New Change sangat diuntungkan dari pengalaman yang diperoleh selama hampir satu dekade integrasi dan sistem bangunan cerdas. Kombinasi jenis penggunaan, sistem kontrol terpadu, dan fasilitas komunikasi bisnis-ke-bisnis dan bisnis-ke-konsumen menjadikan pengembangan One New Change sebagai standar bagi bangunan komersial cerdas di Inggris. Sejumlah pengembangan Land Securities baru saat ini sedang dibangun menggunakan solusi bangunan cerdas One New Change sebagai model untuk persyaratan desain mereka sendiri.

### **19.7. PENINGKATAN NILAI DAN PELUANG PENDAPATAN NON-SEWA**

Pengembangan ritel telah memimpin jalan bagi penggabungan sistem jaringan umum di bangunan komersial, dan ini sebagian disebabkan oleh ruang lingkup yang lebih besar untuk peningkatan nilai dan peluang pendapatan non-sewa melalui layanan bernilai tambah dan komersialisasi area publik. Menyediakan lingkungan yang kaya fitur tempat masyarakat dapat berinteraksi dengan teknologi untuk membantu menemukan jalan, menggunakan perangkat seluler pribadi mereka sendiri, dan dihibur atau mendapatkan informasi yang lebih baik melalui layar tampilan dapat membantu meningkatkan tingkat ketertarikan dan waktu tunggu.

Pelanggan yang lebih terinformasi cenderung melakukan pembelian. Semakin banyak unit ritel disewakan dengan sistem sewa omzet, di mana pendapatan pemilik lahan secara langsung terkait dengan kinerja pengecer. Hal ini memastikan bahwa kedua belah pihak bekerja sama secara erat untuk memastikan lingkungan terbaik yang memungkinkan untuk meraih kesuksesan. Dari sudut pandang pemilik lahan, pengelolaan aset aktif menjadi sesuatu yang 'harus dimiliki' daripada 'sesuatu yang menyenangkan untuk dimiliki', dan bangunan cerdas yang terintegrasi sangat penting, yang menyediakan data waktu nyata dan alat

interaktif untuk mewujudkan hal ini.

Tim manajemen pusat memperoleh akses ke data penjualan harian pengecer melalui antarmuka pengecer, dan dapat menganalisis angka-angka tersebut bersama dengan data arus pejalan kaki dan penggunaan tempat parkir mobil. Jaringan layar tampilan dan kios layar sentuh pusat dapat digunakan untuk memperkuat pesan pemasaran untuk pengecer tertentu, dan perangkat lunak portal dapat ditautkan dalam pesan SMS dan situs web. Interaksi pelanggan dengan teknologi bangunan dan kehadiran daringnya memberikan peluang untuk mengumpulkan informasi tentang basis pelanggan dan preferensi mereka. Penghubungan ritel dunia nyata dan dunia maya mulai membuka banyak peluang baru, dan orang-orang sudah bereksperimen dengan penggunaan situs jejaring sosial untuk mendorong pengunjung ke pusat perbelanjaan.

Butuh waktu untuk membangun penggunaan iklan layar tampilan di pusat perbelanjaan, tetapi peluang untuk iklan bertarget di titik penjualan kini mulai diakui. Kombinasi peningkatan pendapatan, pengurangan biaya teknologi, dan masa pakai layar yang lebih lama semuanya berkontribusi pada kelayakan investasi dalam jenis model bisnis ini. Infrastruktur utama juga mendukung penerapan WiFi, jangkauan telepon seluler di dalam gedung, dan skema kartu hadiah. Sekali lagi, ini dapat memberikan peluang pendapatan bagi pemilik gedung, tetapi yang lebih penting lagi, ini memperkuat daya tarik gedung melalui peningkatan pengalaman pelanggan.

Menggunakan teknologi untuk berkomunikasi dengan pelanggan dan pengecer meningkatkan efisiensi manajemen, sehingga menghemat uang. Layanan bernilai tambah dapat ditawarkan kepada pengecer, mulai dari mengiklankan lowongan pekerjaan pada perangkat komunikasi pusat hingga memperluas sistem penghitungan pejalan kaki untuk mencakup unit ritel individual yang tidak memiliki akses ke jenis data ini dengan biaya yang efektif. Di sektor perkantoran komersial, alasan untuk berinvestasi dalam gedung pintar harus lebih berasal dari skala ekonomi menggunakan satu jaringan daripada beberapa jaringan dan meningkatkan efisiensi manajemen daripada dari peluang pendapatan langsung. Meskipun demikian, sebagian pendapatan dapat dihasilkan dari layanan bernilai tambah, dan iklan menggunakan teknologi terintegrasi di gedung multi-penghuni di mana pemilik gedung masih terlibat dalam pengelolaan gedung sehari-hari.

## **19.8. BANGUNAN BERKELANJUTAN**

Bangunan yang sukses adalah bangunan yang berkelanjutan, dan di masa depan kemampuan sebuah gedung untuk merespons dengan cara yang cerdas terhadap kebutuhan orang-orang yang menggunakannya akan semakin penting. Memiliki infrastruktur tangguh yang tertanam dengan bandwidth tinggi, berkabel dan nirkabel akan menjadi fitur utama. Kombinasi penggunaan sumber daya terbaik yang tersedia di gedung hijau dengan penggunaan informasi terbaik yang tersedia di gedung cerdas akan menghasilkan gedung yang paling berkelanjutan di masa mendatang.

## **19.9. HAMBATAN DAN CARA MENGATASINYA**

Selalu ada hambatan untuk berubah, dan semakin besar perubahannya, semakin besar pula penolakannya. Penggunaan sistem jaringan umum untuk menjalankan berbagai sistem gedung dan bisnis menantang status quo yang telah ada di industri konstruksi selama bertahun-tahun. Sistem teknologi awalnya diperkenalkan ke dalam gedung untuk memenuhi kebutuhan khusus seperti keamanan atau kontrol HVAC (pemanas, ventilasi, dan pendingin udara). Umumnya, sistem ini dikirimkan oleh berbagai pemasok menggunakan instalasi kabel khusus dan standar operasi yang berbeda.

Manajemen proyek konstruksi, model biaya, dan dokumentasi kontrak pendukung telah berkembang selama kurun waktu tertentu untuk mengalokasikan tanggung jawab pengiriman individual kepada setiap pemasok. Secara historis, hal ini menyebabkan munculnya pulau-pulau otomatisasi atau silo-silo di mana kepentingan pribadi diperkuat sepanjang masa pakai gedung. Jika klien menuntut interkoneksi dan interoperabilitas, ketidakcocokan sistem individual telah membuat hal ini menjadi rumit dan mahal untuk dicapai dan dipelihara. Konvergensi suara, video, dan data menggunakan standar berbasis industri melalui jaringan umum telah memimpin jalan dalam mengatasi tantangan teknis untuk integrasi sistem.

Sebagian besar sistem kontrol otomatisasi bangunan sekarang menggunakan TCP/IP standar atau memiliki antarmuka standar untuk memungkinkan komunikasi melalui jaringan Ethernet. Jadi, teknologinya tidak lagi menjadi penghalang, tetapi bias historis terhadap sistem berbasis silo masih menyebar luas di sebagian besar industri konstruksi. Biaya sering kali ditaksir terlalu tinggi atau dibesar-besarkan untuk mendukung pendekatan tradisional. Kurangnya pengetahuan dan rasa takut akan hal yang tidak diketahui juga berperan dalam mencegah penerapan solusi bangunan cerdas terintegrasi. Sulit bagi klien yang kurang informasi untuk menentang rekomendasi penasihat mereka, dan sering kali pendekatan baru dikaitkan dengan risiko yang lebih tinggi.

Selalu menarik untuk membandingkannya dengan infrastruktur listrik di gedung. Sistem kabel listrik dipasang dengan standar umum, dan umumnya dipasang oleh satu kontraktor, tetapi semua penyedia sistem spesialis membutuhkan daya, dan dengan senang hati akan terhubung ke sistem listrik utama yang tanpanya sistem tersebut tidak dapat berfungsi, dan jika tidak dikirimkan tepat waktu akan memiliki implikasi dan risiko kontraktual. Namun, hal ini tidak dianggap sebagai masalah dalam dunia konstruksi, dan proses manajemen serta dokumen kontraktual tampaknya cukup fleksibel untuk menghadapi tantangan antarmuka.

Ada kekurangan keterampilan umum dalam industri konstruksi, dan menyediakan bangunan terintegrasi yang cerdas memerlukan keahlian yang berbeda dan lebih tinggi. Salah satu masalah yang dihadapi industri ini adalah menarik orang-orang muda yang sangat terampil, tetapi penggunaan teknologi yang terus meningkat dalam desain bangunan dan berbagai teknologi tertanam yang digunakan dalam bangunan memang memberikan peluang besar untuk memposisikan ulang sektor tersebut guna menarik bakat baru. Klien yang unggul di pasar seperti Land Securities, Hammerson, British Land, Westfield, dan Lend Lease telah menyadari manfaat yang dapat diberikan oleh tingkat integrasi yang lebih tinggi, dan secara

teratur menantang industri konstruksi untuk menghadirkan bangunan yang cerdas dan berkelanjutan. Seiring berkembangnya basis pengetahuan dan semakin luasnya pemahaman manfaat, hambatan akan teratasi.

#### **19.10. MASA DEPAN BANGUNAN CERDAS**

Sampai saat ini, adopsi infrastruktur jaringan umum, sistem terintegrasi, dan solusi bangunan cerdas telah menjadi pasar yang dipimpin klien yang didominasi oleh proyek-proyek besar seperti Terminal 5 di Heathrow, Stadion Wembley, Ascot Racecourse, Liverpool One, Cabot Circus Bristol, St David's Centre Cardiff, One New Change, Trinity Leeds, dan Pusat Perbelanjaan Westfield di London.

Namun, karena semakin banyak sistem kontrol bangunan mengadopsi standar operasi umum, penghematan biaya dan waktu yang dapat dicapai dengan menggabungkan sistem ke dalam satu jaringan mulai diakui, dan banyak pemasok dan kontraktor spesialis yang berpandangan ke depan memposisikan diri untuk menawarkan solusi terintegrasi. Generasi pengguna bangunan dan perancang bangunan berikutnya tidak takut dengan teknologi, dan mereka akan membawa serta keterampilan yang diperlukan untuk menghasilkan apa yang akan menjadi norma, bukan pengecualian: 'bangunan yang benar-benar cerdas dan berkelanjutan'.



## **BAB 20**

### **MASA DEPAN YANG INOVATIF**

Bab ini menganalisis dan membahas kemungkinan dampak inovasi selama beberapa dekade mendatang. Pemerintah di seluruh dunia telah menetapkan target yang sangat optimis untuk dicapai hingga tahun 2050 yang berupaya untuk mengatasi, antara lain, ancaman perubahan iklim, kelebihan populasi, polusi, dan penipisan sumber daya dengan harapan dapat mengubah umat manusia menuju jalur masa depan yang lebih berkelanjutan. Inovasi dalam masyarakat modern cenderung mengabaikan masalah sosial demi tren pasar dan profitabilitas.

Ada pengecualian untuk ini, dan faktanya sepanjang sejarah dampak inovasi terbesar berasal dari ide-ide yang mengatasi masalah sosial tertentu. Namun, dalam masyarakat global yang didorong oleh budaya konsumen dan status selebriti, upaya inovasi disalurkan untuk memenuhi kebutuhan konsumen melalui peningkatan yang mantap pada inovasi sebelumnya yang menghasilkan margin kinerja yang lebih luas dalam daya saing pasar dan bukan melalui ide-ide perubahan sosial yang meningkatkan kehidupan masyarakat dan membawa umat manusia lebih dekat ke masa depan pertumbuhan yang berkelanjutan.

#### **20.1. PENDAHULUAN**

Kita hidup di beberapa masa yang paling transisional dalam sejarah terkini. Teknologi berubah dengan kecepatan yang lebih cepat daripada sebelumnya (Clements-Croome, 2004), dan saat ini sebagian besar pakar dan pemerintah sepakat bahwa ada kebutuhan mendesak untuk perubahan drastis pada cara hidup kita sejak perkembangan revolusi industri membentuk masyarakat menjadi masyarakat yang bergantung pada bahan bakar fosil saat ini.

Populasi berlebih, konsumerisme, polusi, persediaan makanan, kekurangan air, kekacauan ekonomi, dan perubahan iklim telah memunculkan gerakan global terpadu menuju keberlanjutan yang dengan cepat meningkat dan memicu perubahan mendasar dalam masyarakat. Konvergensi krisis ini dikombinasikan dengan peningkatan pesat dan pengaruh eksponensial teknologi informasi (TI) dan komunikasi global telah membuka jalan bagi globalisasi pada tingkat yang belum pernah dibayangkan sebelumnya. Untuk pertama kalinya dalam sejarah, warga biasa di hampir setiap sudut dunia mampu berkomunikasi satu sama lain secara real time dan kapan saja sepanjang hari.

Kebebasan komunikasi yang luas dan potensi besar untuk berbagi pengetahuan global ini telah memicu gelombang inovasi yang merevolusi perubahan sosial di tingkat 'akar rumput'. Perubahan yang begitu cepat sulit dipahami, dan terkadang sulit bahkan bagi para ahli untuk mengikuti berbagai kemajuan yang terjadi di seluruh dunia di setiap bidang individu. Inovasi tampaknya ditelan oleh evolusi yang cepat ini, dan sebagian besar kemajuan dan inovasi yang signifikan saat ini berpotensi diabaikan atau tidak diberi perhatian penting yang seharusnya. Berbagai tingkatan yang berbeda di mana inovasi dapat terjadi dan keragaman praktik di

seluruh dunia di mana inovasi benar-benar berkembang berarti definisi dan peran inovasi yang sebenarnya dalam masyarakat saat ini tidak langsung dijelaskan dengan jelas.

- Apakah inovasi tentang kemajuan teknologi yang nyata? Atau tentang menemukan solusi cerdas untuk masalah yang rumit?
- Seberapa banyak Anda harus meningkatkan ide sebelumnya agar dianggap inovatif? Apakah inovasi semata-mata tentang melangkah maju?
- Bisakah inovasi berarti merangkul praktik yang telah lama terlupakan? Bisakah Anda melihat masa lalu untuk inovasi masa depan?

Semua pertanyaan ini valid dalam konteks inovasi itu sendiri dan apa sebenarnya artinya menjadi inovatif. Bab ini akan mengeksplorasi dan membahas pertanyaan-pertanyaan ini dan akan menentukan apakah pertanyaan-pertanyaan tersebut dapat dijawab, untuk memungkinkan narasi mengidentifikasi kemungkinan dampak global dari inovasi selama 20 tahun ke depan.

## 20.2. APA ITU INOVASI ?

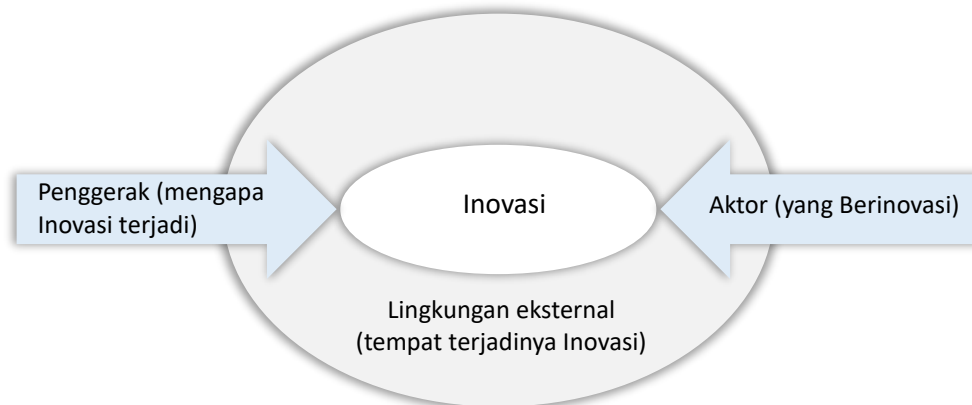
Citra tradisional inovasi paling sering dikaitkan dengan citra 'bola lampu' atau 'ide kecil yang cerdas' yang tiba-tiba muncul dan memiliki kapasitas untuk mengubah dunia. Pada kenyataannya, inovasi terjadi setiap saat dan pada berbagai tingkatan (pada tingkat nano, mikro, dan makro), dan inovasi tidak selalu memiliki kapasitas untuk mengubah dunia ke cara berpikir yang baru. Faktanya, para inovator sering kali tidak tahu bahwa mereka sedang berinovasi atau mengetahui kemungkinan implikasi tindakan mereka di masa mendatang.

Salah satu tantangan yang terus-menerus dihadapi seorang inovator adalah membuktikan nilai dari pekerjaan mereka. Banyak yang percaya bahwa inovasi dan kreativitas tidak dapat diukur dan karena itu akan selalu berjuang untuk mendapatkan rasa hormat yang layak dalam suatu organisasi. Persepsi bahwa dampak inovasi tidak dapat diukur adalah mitos belaka. Inovasi berasal dari konteks masyarakat di mana ide dan teknologi terus berkembang dan terus menciptakan tuntutan baru yang mendorong inovasi itu sendiri dan yang bertanggung jawab atas transformasi sosial yang berkontribusi pada pertumbuhan ekonomi, daya saing, dan kualitas hidup.

Inovasi sendiri tidak memiliki definisi tunggal dan mutlak, tetapi secara umum dapat dideskripsikan sebagai penciptaan dan adopsi pengetahuan baru untuk meningkatkan nilai produk, proses, dan layanan. Oxford English Dictionary mendefinisikan inovasi sebagai proses yang terkait dengan ide, metode, atau produk baru, tetapi tidak mempertimbangkan dampak yang mungkin terjadi sebagai hasil dari ide baru ini. Definisi yang lebih lengkap ditemukan di Wikipedia, yang mendefinisikan inovasi sebagai:

*Penciptaan produk, proses, layanan, teknologi, atau ide yang lebih baik atau lebih efektif yang diterima oleh pasar, pemerintah, dan masyarakat. Inovasi berbeda dari penemuan karena inovasi mengacu pada penggunaan ide atau metode baru, sedangkan penemuan lebih langsung mengacu pada penciptaan ide atau metode itu sendiri.*

Definisi ini mempertimbangkan peran inovasi yang lebih luas dalam masyarakat dan pasar global. Definisi ini juga membuat perbedaan yang jelas antara inovasi dan penemuan, istilah yang terkadang digunakan secara bergantian.



**Gambar 20.1 Bagaimana Inovasi Terjadi Dan Dampaknya Bergantung Pada Lingkungan Eksternal, Pendorong Dan Pelaku Inovasi.**

Telah ada upaya untuk mengklasifikasikan berbagai jenis inovasi. Misalnya, Henderson dan Clark menyatakan bahwa inovasi akan diklasifikasikan sesuai dengan tingkat produk atau pengetahuan yang dibutuhkan untuk penerapannya. Mereka mengklasifikasikan inovasi sebagai inovasi inkremental, modular, arsitektural, dan radikal. Departemen Perdagangan dan Industri menyarankan bahwa inovasi dapat mengambil beberapa bentuk: inovasi produk, inovasi proses, inovasi posisi, dan inovasi paradigma. Sedangkan, Phillips membedakan dua jenis inovasi: teknologi dan non-teknologi.

Apa pun definisinya, kunci inovasi adalah memahami kemungkinan dampak dari setiap ide baru terhadap masyarakat itu sendiri, baik itu ide baru atau daur ulang, dan agar inovasi dan dampaknya benar-benar terjadi bergantung pada lingkungan eksternal, pendorong motivasi, dan pelakunya. Dalam sebagian besar kasus, dampak inovasi akan bersifat jinak, tetapi terkadang dapat merugikan masyarakat jika ide atau maksud asli suatu inovasi disalahartikan. Misalnya, jika fisikawan Prancis Pierre dan Marie Curie dapat membayangkan ketika mereka menemukan bijih uranium (yang mengandung zat yang sangat radioaktif yang akhirnya mereka beri nama radium) bahwa penemuan mereka pada akhirnya akan mengarah pada pengembangan 'Proyek Manhattan' dan pembuatan bom atom, apakah mereka akan membayangkan bahwa inovasi dan penemuan mereka akan secara langsung bertanggung jawab atas 200.000 kematian akibat bom-bom ini?

Jika mereka mampu memprediksi potensi penggunaan penemuan mereka di masa depan, apakah mereka berani mempromosikan penemuan tersebut? Secara umum, apa pun pendorong atau motivasinya, atau dampak yang mungkin dan tidak mungkin, inovasi adalah kunci menuju kemakmuran, keamanan, pekerjaan yang lebih baik, dan kesehatan yang lebih baik. Pada saat yang sama, inovasi memungkinkan evolusi alami dari ide, harta benda, produk, dan aktivitas sosial kita semua elemen kunci dari keharmonisan masyarakat manusia.

Evolusi ide yang konstan ini hampir selalu mengarah pada inovasi usang dari masa lalu. Dampak yang mungkin dan tak terelakkan adalah bahwa hampir semua hal yang kita anggap penting dan tak tergantikan saat ini suatu hari akan memudar dan digantikan oleh versi yang lebih baru, lebih efisien dan efektif sebagai akibat langsung dari inovasi. Inovasi pada dasarnya adalah alasan mengapa teknologi berevolusi, inovasi adalah percikan yang menyalakan api untuk evolusi sosial. Namun, kebutuhan untuk berubah sudah ada dalam diri kita. Setiap generasi ingin mengekspresikan dirinya dengan cara yang khas, baik dalam budaya, musik, arsitektur, atau norma sosial.

Kecepatan perubahan teknologi menambah dorongan untuk hal ini. Manusia ingin tahu, ingin menemukan, dan didorong oleh kebutuhan untuk menghadapi tantangan. Namun, kita juga harus memahami bahwa inovasi tidak hanya terkait dengan kemajuan teknologi: inovasi terbesar dalam sejarah manusia tidak banyak berhubungan dengan peralatan atau teknologi pada abad ke-21, kita perlu mempertimbangkan bahwa inovasi memerlukan interaksi manusia dan adopsi skala luas, dan hampir selalu lebih banyak tentang apa yang kita lakukan dengan sebuah ide daripada ide itu sendiri.

### **20.3. MEMAHAMI SEJARAH INOVASI**

Dengan melihat tren inovasi masa lalu sepanjang sejarah, kita dapat belajar cara merangkul dan mengenali gelombang inovasi baru dan mengidentifikasi peluang dan tren masa depan di pasar yang dapat memengaruhi masyarakat secara signifikan. Ambil contoh mesin cetak. Lebih dari 500 tahun setelah kematiannya, Johannes Gutenberg, 'penemu' mesin cetak, digembar-gemborkan sebagai salah satu orang terpenting dalam sejarah meskipun faktanya orang Cina menemukan huruf cetak dan banyak teknik cetak berabad-abad sebelumnya.

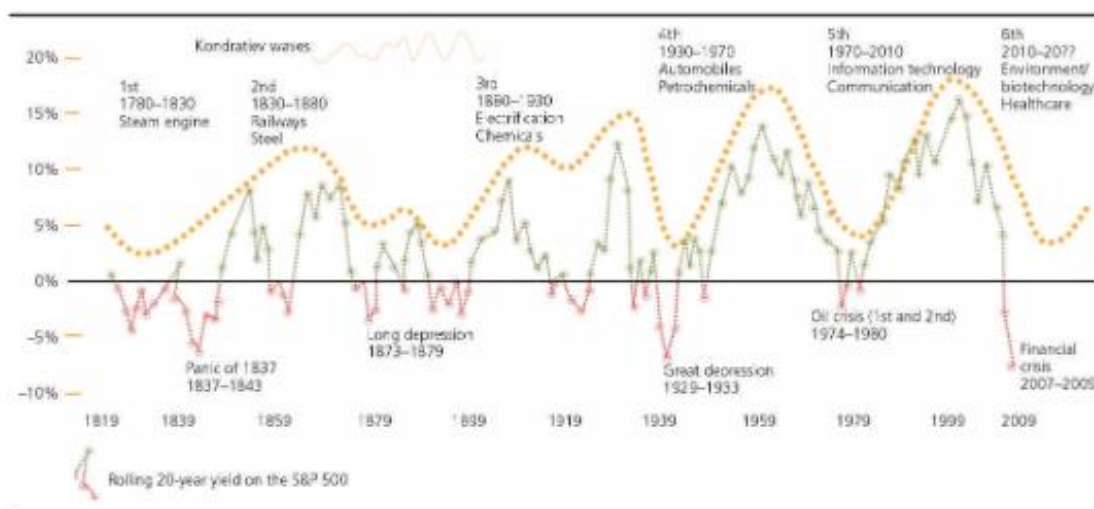
Dalam hal ini, pentingnya inovasi didasarkan pada fakta bahwa Gutenberg adalah orang pertama yang berhasil dengan percetakan di Eropa dan bukan pada kemungkinan dampaknya terhadap masyarakat itu sendiri. Faktanya, para sejarawan menyatakan bahwa ia kemungkinan besar hanya berusaha mencari nafkah dan tidak mengubah dunia. Hanya beberapa abad kemudian dampaknya yang sebenarnya terhadap masyarakat dapat diukur.

Inovasi dipicu oleh kebutuhan khusus yang terbentuk melalui perkembangan di pasar global dan tren ekonomi yang mengarahkan keseimbangan inovasi ke arah siklus permintaan dan penawaran yang cerdas. Hal ini secara tradisional lebih menyukai kemajuan yang paling layak secara ekonomi dan tidak selalu inovasi yang paling nyaman atau paling sadar secara sosial. Inovasi juga berasal dari berbagai sumber. Secara umum, sumber inovasi dapat berhubungan dengan berbagai perubahan dalam struktur industri, struktur pasar, demografi lokal dan global, persepsi, suasana hati dan makna manusia, dan jumlah pengetahuan ilmiah yang sudah tersedia.

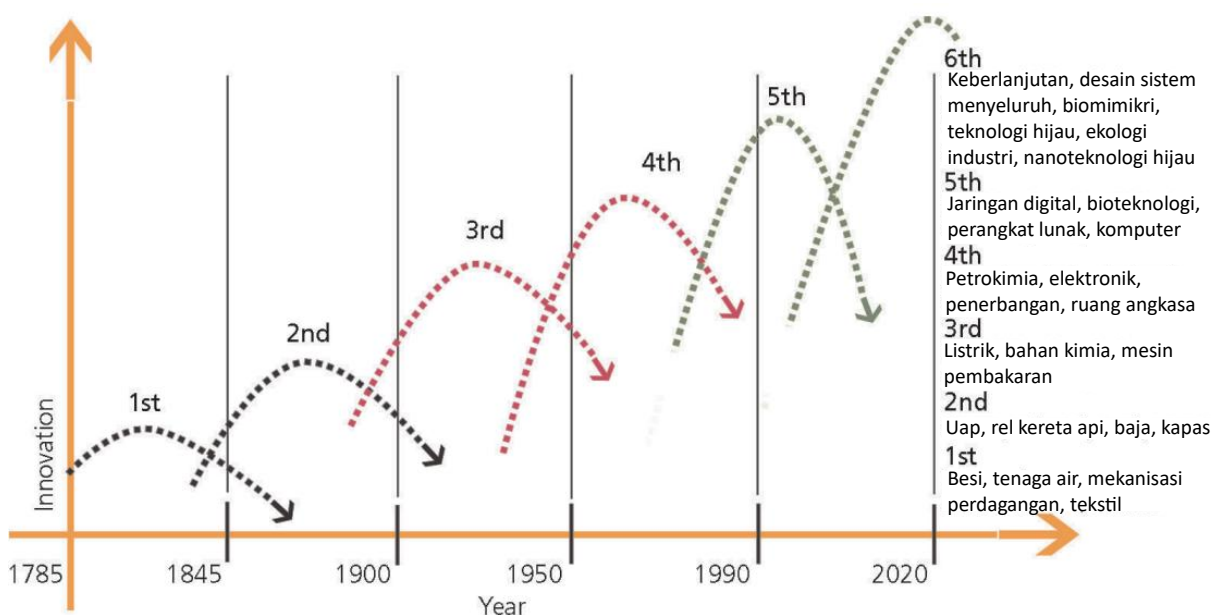
Ekonom Rusia Nikolai Kondratiev mengusulkan konsep bahwa ekonomi kapitalis dunia modern berevolusi melalui serangkaian siklus gelombang dalam kerangka waktu linier tertentu. Siklus ini bertepatan dengan 'gelombang inovasi' besar yang memicu perubahan signifikan dalam masyarakat. Dari penemuan mesin uap, hingga mobil dan perkembangan

masyarakat informasi saat ini, dua ratus tahun terakhir telah menyaksikan perekonomian melalui lima 'gelombang Kondratiev' yang panjang. Gelombang-gelombang ini telah memetakan jalur evolusi untuk inovasi dan terkait erat dengan fluktuasi ekonomi historis.

Joseph Schumpeter mempelajari dan mengadaptasi kurva gelombang panjang ini dalam bukunya *Business Cycles*, dengan mengusulkan bahwa setiap kurva tidak akan berbentuk seragam seperti yang diusulkan oleh Kondratiev, tetapi setiap gelombang akan berlangsung sekitar 50 tahun, dan, seiring berjalannya waktu, setiap gelombang akan menjadi lebih pendek sementara kompleksitas inovasi akan meningkat. Gambar 20.3 mengadaptasi siklus yang diusulkan Schumpeter dan menggabungkan kemungkinan tren inovasi terkini dalam 'gelombang inovasi keenam' yang prospektif.



**Gambar 20.2 Siklus Kondratiev Gelombang Panjang Kemakmuran. Hasil Bergulir 10 Tahun (% Per Tahun) Pada S&P 500 Dari Tahun 1814 Hingga Maret 2009**



**Gambar 20.3 Gelombang Inovasi**

Banyak investor kini bertanya-tanya apakah krisis keuangan saat ini dapat menandai dimulainya siklus kemakmuran baru. Akankah sektor lingkungan, bioteknologi, dan kesehatan berfungsi sebagai mesin ekonomi masa depan dan mengembalikan kita ke jalur pertumbuhan berkelanjutan? Seperti yang dinyatakan sebelumnya, kunci inovasi adalah memahami kemungkinan dampak dari setiap ide baru terhadap masyarakat itu sendiri sebelum diterapkan secara luas; namun, jika kita memahami sejarah inovasi dan kompleksitas strukturnya dalam masyarakat, jelas bahwa hal ini hampir tidak pernah terjadi.

Dalam kebanyakan kasus, inovasi berarti 'kemajuan', yang menurut standar saat ini berarti lebih sedikit perhatian diberikan pada topik-topik kritis masyarakat kolektif (misalnya keanekaragaman hayati dan lingkungan) daripada mungkin gaya individualis, gaya hidup pribadi, dan status sosial. Ini berarti bahwa kemajuan umum dalam teknologi saat ini cenderung merugikan lingkungan demi keuntungan, kenyamanan, dan citra diri.

#### **Apa Yang Terjadi Dengan Rami?**

Rami adalah contoh bagus tentang bagaimana inovasi terkadang dapat mendistorsi persepsi kemajuan. Rami adalah salah satu serat alami terkuat di dunia, dengan kekuatan yang sebanding dengan baja, dan telah dibudidayakan untuk penggunaan praktisnya selama lebih dari 10.000 tahun. Rami juga tumbuh cepat, tanaman tidak memerlukan pestisida, dan menghasilkan hampir nol pemborosan tanaman. Seiring berjalannya waktu dan minyak mulai menipis, keputusan untuk meninggalkan rami bahan alami terbarukan yang menangkap karbon dioksida, memiliki karakteristik yang mirip dengan plastik dan memiliki kekuatan yang setara dengan baja demi alternatif berbasis minyak bumi yang lebih murah patut dipertanyakan.

Baru-baru ini, dengan pencarian bahan yang lebih berkelanjutan, muncul beberapa bahan yang menggunakan rami dalam konstruksi, baik sebagai campuran dinding semen yang dapat mengisolasi sendiri atau sebagai blok beton rami, dan rami semakin banyak digunakan untuk perumahan di beberapa bagian Eropa, Inggris, dan AS. Komposit limbah, bal jerami, dan tanah padat merupakan contoh lebih lanjut tentang penghematan dalam penggunaan material untuk konstruksi.

#### **20.4 APA YANG DAPAT KITA HARAPKAN DARI INOVASI?**

Dengan mempertimbangkan pendorong inovasi yang disebutkan di atas, evolusi alaminya akan didasarkan pada kesenjangan yang sangat spesifik dan terkini di pasar dan dibangun di atas inovasi yang paling banyak digunakan saat ini. Tidak ada yang lebih sulit, lebih meragukan keberhasilannya, atau lebih berbahaya, daripada menjadi pemimpin yang memperkenalkan cara-cara baru dalam melakukan sesuatu. Pemimpin seperti itu segera menjadikan semua orang yang diuntungkan oleh cara-cara lama sebagai musuh.

Setiap inovasi baru atau 'gelombang inovasi' kolektif harus membawa perubahan mendasar agar menjadi signifikan dan melihat melampaui insiden inovasi sejati yang terisolasi dan berusaha untuk memproyeksikan peta tanggung jawab sosial yang teratur ke masa lalu sehingga kita akhirnya dapat merangkul masa depan yang berkelanjutan. Namun, masih ada

jalan yang harus ditempuh sebelum tanggung jawab sosial ini tersaring ke inovator saat ini. Saat ini, inovasi yang paling sukses lahir, berkembang, dan dipasarkan sepenuhnya di dalam organisasi yang mapan, terutama perusahaan besar atau lembaga pendidikan tinggi dengan mekanisme pendanaan yang besar.

Orang-orang yang melakukan ini untuk mencari nafkah bukanlah wirausahawan melainkan intrapreneur. Bagi mereka, mencari uang untuk mendukung pekerjaan pengembangan mungkin bukan masalah, tetapi mendapatkan lampu hijau dari kantor pusat perusahaan atau dari badan pendanaan masing-masing sering kali menjadi masalah. Ada bukti signifikan bahwa gelombang inovasi berikutnya akan didorong oleh kebutuhan untuk mencapai pembangunan berkelanjutan. Pada abad ke-21, pendorong utama inovasi adalah kebutuhan untuk meningkatkan produktivitas sambil meringankan beban lingkungan manusia di planet ini.

Negara, perusahaan, dan wirausahawan yang bekerja sama untuk menangani pembangunan berkelanjutan dapat memposisikan diri mereka untuk menjadi yang terdepan dalam gelombang inovasi berikutnya di bidang-bidang seperti teknologi hijau, peralatan yang efisien, perlengkapan hemat sumber daya, energi terbarukan (tenaga surya, angin, arus laut, dan biomassa) dan berbagai macam teknologi hijau yang tersedia saat ini. Teknologi-teknologi ini tersedia secara luas saat ini tetapi masih banyak ruang untuk perbaikan, khususnya di bidang efisiensi energi, non-toksisitas, pengurangan limbah, penggunaan kembali, dan daur ulang. Dengan mempertimbangkan hal-hal di atas, penting bagi semua kontributor baru untuk gelombang berikutnya untuk menyadari rencana global yang terkoordinasi untuk perubahan yang mendukung keberlanjutan manusia dan ekosistem planet ini.

## **20.5 SASARAN, GAGASAN, DAN TREN**

Dalam 20 tahun ke depan, dunia menghadapi tantangan besar dalam mencoba mengatasi tantangan terbesar dan paling kritis yang pernah dihadapi umat manusia secara keseluruhan. Untuk pertama kalinya dalam sejarah, umat manusia telah berhasil menggeser keseimbangan alam dan telah mengubah keseimbangan bioma dan ekosistem global ke tingkat yang mungkin tidak akan pernah sepenuhnya kita pahami sebagai spesies. Upaya terus-menerus untuk menaklukkan alam yang dimulai dengan bangsa Romawi dan mencapai tingkat obsesi pada zaman Victoria (berlanjut hingga zaman modern) telah memunculkan tren perilaku dalam masyarakat yang berupaya menghancurkan alih-alih melestarikan atau meregenerasi habitat alaminya. Manusia telah gagal memahami bahwa kita semua berbagi ekosistem yang sama dan bahwa kita juga secara kolektif merupakan bagian dari ekosistem ini (satu-satunya) milik kita. Seperti yang dikatakan oleh pendiri Gerakan Sabuk Hijau Wangari Maathai:

*Jika saya telah mempelajari satu hal, itu adalah bahwa manusia hanyalah bagian dari ekosistem ini. Ketika kita menghancurkan ekosistem, kita menghancurkan diri kita sendiri, karena kelangsungan hidupnya bergantung pada diri kita sendiri.*



Namun, apa yang dilakukan dunia untuk mengatasi masalah ini? Sasaran apa yang akan kita cari sebagai spesies dalam 20 tahun ke depan? Atau jika Anda percaya pada siklus Shumpeter dalam 50 tahun ke depan? Dapatkah kita menerima gagasan bahwa kita adalah kawan atau lawan ekosistem yang kita huni? Manusia secara alami memiliki rasa ingin tahu, dan selalu tertarik untuk mengetahui apa yang mungkin terjadi di masa depan. Memprediksi masa depan dipandang sebagai 'cara yang berguna untuk menyelaraskan dan meningkatkan strategi saat ini' dan juga sebagai cara untuk 'menentukan potensi pendorong dan masalah yang mungkin mengubahnya'.

Inovasi dapat menjadi tren, tetapi antusiasme awal dapat memudar, dan hanya setelah periode waktu tertentu, yang disebut fase pencerahan, inovasi yang benar-benar signifikan muncul. Kurva Gartner untuk tahun 2010 dan 2011 dengan jelas menunjukkan hal ini. Perubahan ekonomi, sosial, budaya, lingkungan, dan teknologi tidak dapat dihindari dan merupakan hal yang wajar, tetapi sifat pasti dari perubahan tersebut pada dasarnya tidak dapat diprediksi. Perubahan gaya hidup sepanjang abad kedua puluh menunjukkan bagaimana masyarakat dapat berubah dengan cepat, dengan cara yang sangat sulit diprediksi.

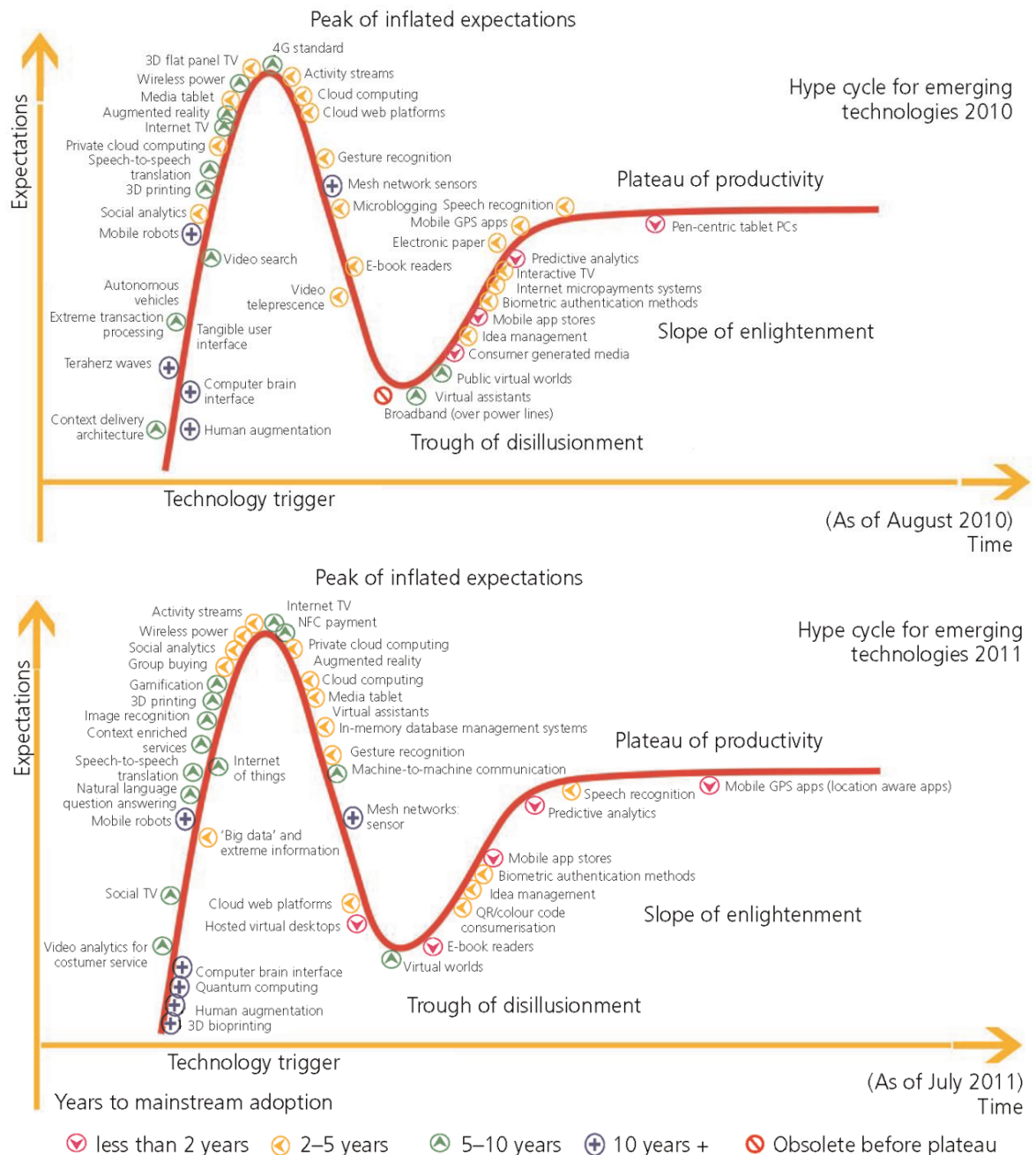
Yang sama pentingnya adalah persepsi kita tentang pencapaian perubahan keberlanjutan dari waktu ke waktu: konteks berubah (misalnya perubahan iklim, puncak produksi minyak); pemikiran berkembang; inovasi dan metode baru dan canggih dicoba dan diuji; solusi berhasil atau gagal. Terkadang tujuan itu sendiri berkembang: kota cerdas dan pintar, kota 24 jam, kota tangguh, kota netral karbon, dan kehidupan satu planet telah muncul secara berurutan selama dekade terakhir. Tantangan yang tersisa di sini adalah bagaimana menggabungkan prioritas yang berubah, inovasi dan teknologi baru, alat dan teknik, dan pemikiran ke dalam apa yang kita lakukan saat ini, sambil memastikan, sebaik mungkin, bahwa apa yang kita terapkan sekarang akan relevan di masa mendatang. Tempat dan strategi lokal kita harus selalu mencerminkan tantangan ini.

Tempat-tempat di masa depan dan keberhasilannya harus dinilai berdasarkan kemampuan suatu area untuk menjadi 'siap berubah' dan adaptif, serta mampu memanfaatkan peluang di masa depan. Bahkan dengan penerapan inovasi tertentu atau melalui penyebaran ide dan metode inovatif secara luas, upaya untuk akhirnya mengubah masyarakat menuju keberlanjutan mungkin tidak cukup jika tidak mempertimbangkan budaya, lingkungan lokal, dan perilaku masyarakat. Konsumerisme dan praktik pemborosan harus ditangani secara langsung atau inovasi apa pun yang muncul demi keberlanjutan akan gagal meninggalkan jejak hanya karena kebanyakan orang tidak akan mau mengadopsinya jika tidak berada dalam jangkauan konsumerisme mereka.

Kampanye media sosial terkini seperti Kony 2012 dan sejumlah acara yang digagas Facebook baru-baru ini merupakan indikator nyata bahwa inovasi dalam komunikasi dan berbagi pengetahuan merupakan kunci untuk mencapai perubahan mendasar dalam perilaku dalam skala global. Yang lebih penting, ponsel dan perangkat pintar genggam telah mencapai tingkat pengaruh yang sangat besar dalam waktu singkat dan jangkauan akar rumput di seluruh dunia hingga ke dalam masyarakat saat ini.

Ini adalah perangkat penting yang tidak dapat diabaikan dan merupakan inovasi

mendasar yang berpotensi untuk memungkinkan tujuan optimis yang ditetapkan oleh badan pemerintah dan konferensi internasional untuk mengatasi perubahan iklim dan semua bencana sosial lainnya yang perlu diselesaikan dalam gelombang inovasi berikutnya. Sekilas tentang tren dan teknologi terkini yang memberikan dampak besar di seluruh dunia mungkin dapat memberikan petunjuk tentang apa yang diharapkan dari sektor tertentu.



**Gambar 20.4** Siklus Hype Gartner Untuk Teknologi Baru Pada Tahun 2010 Dan 2011 (Fenn Dan Lehong, 2011; Wikipedia, 2012b)

## 20.6 KEBERLANJUTAN

Tren pasar dan perundang-undangan saat ini menunjukkan bahwa gelombang inovasi berikutnya dalam 20 tahun ke depan akan melihat tingkat investasi dan pengembangan yang besar dalam teknologi terbarukan, model pembangkitan dan kehidupan mandiri, serta masyarakat yang berkelanjutan. Ini akan membutuhkan kemajuan dalam efisiensi energi, pengelolaan air, pengolahan, fasilitas desalinasi, dan metode daur ulang. Gelombang ini akan didorong sebagian oleh kebutuhan, tetapi yang lebih penting adalah tata kelola. Berikut ini adalah beberapa target optimis yang ditetapkan oleh berbagai pemerintah dan kelompok internasional di seluruh dunia yang kemungkinan akan memicu gelombang inovasi dalam keberlanjutan:

*AS Mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 28% pada tahun 2020 (Gedung Putih, 2012)*  
*Skotlandia 80% pembangkitan energi terbarukan pada tahun 2020 (Pemerintah Skotlandia, 2010)*

Undang-Undang Perubahan Iklim Inggris 2008 memangkas emisi gas rumah kaca sebesar 80% di bawah tingkat tahun 1990 pada tahun 2050 dan 34% pada tahun 2020. Australia Mengurangi emisi GRK sebesar 5–15% pada tahun 2020 di bawah tingkat tahun 2000 Protokol Kyoto Mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 12,5% di bawah tingkat tahun 1990 pada tahun 2008–2012 (saat ini belum terpenuhi). Peningkatan tingkat target emisi karbon ini akan memerlukan investasi besar-besaran dalam program penelitian dan pengembangan, subsidi pemerintah, dan inovasi di seluruh dunia agar dapat menjadi katalisator bagi perkembangan inovator masa depan.

Namun, target yang disebutkan di atas hanya dapat dipenuhi dengan secara khusus mengarahkan saluran inovasi untuk mengatasinya secara langsung. Semua inovasi dan kemungkinan dampak masa depan terhadap masyarakat harus dibangun dari inovasi sebelumnya, karena investasi untuk mengganti infrastruktur yang sudah ada di seluruh dunia tidak realistis. Upaya global untuk mencapai keberlanjutan ini dapat memicu gelombang inovasi kolektif terbesar dalam sejarah.

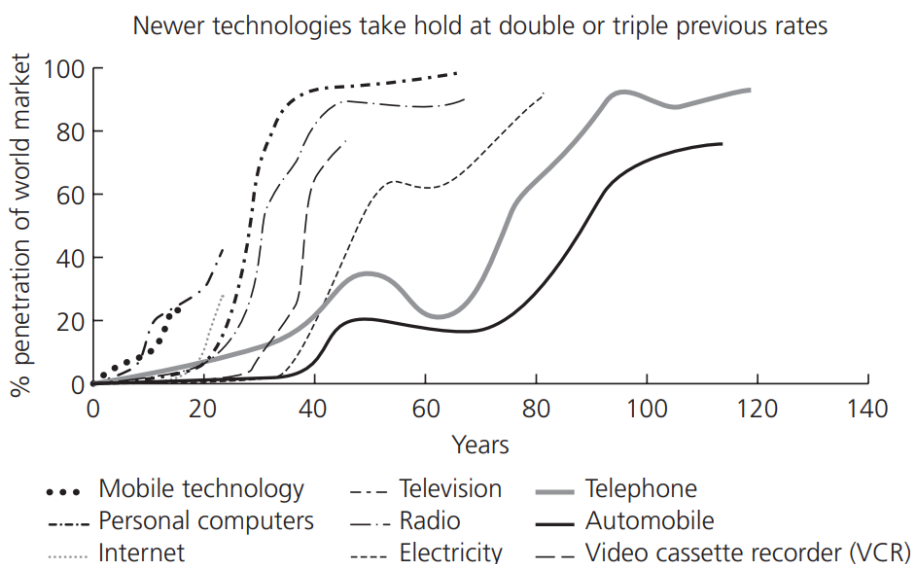
## 20.7 TEKNOLOGI, INFORMASI, DAN KOMUNIKASI GLOBAL

Kita hidup di dunia tempat para penemu dan pengusaha garasi yang berdedikasi melalui karya yang hanya dapat digambarkan sebagai inovasi sejati mengubah ide-ide mereka menjadi perusahaan yang mendominasi dunia dan akhirnya menjual gagasan mereka ke perusahaan global lainnya yang sama-sama hebat. Sulit untuk membayangkan bahwa perusahaan seperti YouTube atau Twitter tidak ada hingga tahun 2005. Internet, seperti yang kita kenal sekarang, diciptakan sekitar tahun 1986.

Pada awal tahun 1990-an, internet menjadi mudah diakses dan hanya butuh waktu 5 tahun hingga mencapai 50 juta pengguna. Jika kita bandingkan dengan radio (yang butuh waktu lebih dari 35 tahun untuk mencapai jumlah pengguna ini), kita dapat menyadari betapa cepatnya laju teknologi saat ini. Lebih jauh lagi, komunikasi global dan teknologi seluler juga

mengalami pertumbuhan dan dominasi yang sangat besar di pasar global baru-baru ini.

Inggris sendiri memiliki sekitar 13 juta telepon seluler yang digunakan saat ini, dan, sebagai perbandingan, semua panggilan telepon yang dilakukan selama tahun 1984 kini dilakukan dalam waktu kurang dari satu hari, dan setiap 18 bulan sejak tahun 1965, komputer telah menggandakan daya pemrosesannya. Gambar 20.5 menunjukkan bagaimana teknologi yang lebih baru merasuki masyarakat dengan kecepatan yang lebih cepat daripada teknologi lama. Meskipun demikian, seperti yang dinyatakan oleh Clements-Croome, "sebagian besar teknologi informasi yang akan kita gunakan dalam 10 tahun ke depan sudah ada saat ini", begitu pula kosakata teknologi informasi. Peningkatan teknologi yang sering diperlukan di gedung-gedung menjadi tantangan, dan bentuk-bentuk baru kontrak sewa untuk sistem TIK menjadi lebih umum.



**Gambar 20.5 Laju Inovasi Semakin Cepat**

### Inovasi terbuka dan sumber terbuka

Inovasi lain yang mungkin akan membentuk transfer pengetahuan di masa depan akan berasal dari budaya 'sumber terbuka'. Istilah 'sumber terbuka' mengacu pada strategi pengembangan perangkat lunak di mana kode sumbernya disediakan untuk komunitas secara gratis. Dengan cara ini, setiap orang dapat membuat perubahan dan perbaikan pada perangkat lunak. Pendekatan sumber terbuka untuk kolaborasi ini memungkinkan orang-orang dari seluruh dunia untuk terlibat dan berkreasi bersama. Karena proyek tidak dikelola dari atas ke bawah, para peserta dapat mengeksplorasi semua jenis usaha kolaboratif yang berbeda, yang memungkinkan inovasi lebih lanjut. Konsep 'inovasi terbuka' sangat sejalan dengan pemikiran teknologi sumber terbuka.

Henry Chesbrough pada tahun 2003 adalah salah satu cendekiawan awal yang pertama kali mempromosikan gagasan inovasi terbuka, sebuah paradigma yang mengantisipasi bahwa perusahaan harus menggunakan ide-ide eksternal serta ide-ide internal, dan jalur internal dan eksternal ke pasar, saat mereka berupaya memajukan teknologi. Disarankan bahwa inovasi

terbuka tidak hanya merujuk pada industri tetapi juga pada cara pemerintah dan lembaga lain bekerja dan berkolaborasi dengan masyarakat. Gagasan inovasi terbuka yang muncul ini, yang didasarkan pada jaringan dan hubungan antarlembaga, tampak sangat relevan dengan paradigma kota pintar.

Dengannya, pemerintah dan pengembang dapat memanfaatkan keahlian, keterampilan, dan pengetahuan warga untuk mengembangkan layanan dan barang canggih yang relevan dengan kebutuhan masyarakat dan lingkungan perkotaan (Paskaleva, 2011). Namun, ini menyiratkan bahwa produksi dan penyediaan layanan dan barang harus dibalik, sehingga kota benar-benar dapat menemukan kembali potensi masyarakat dan menyegarkan kembali jaringan sosial komunitas mereka.

Hasil dari hal ini, seperti yang dinyatakan Paskaleva, dapat berupa perubahan radikal pada sifat dan fokus layanan kota: misalnya, tidak hanya melihat potensi masyarakat di wilayah konkret mereka, tetapi juga ke lingkungan atau jalan setempat, atau wilayah yang lebih luas. Dalam hal ini, kebijakan inovasi yang mendukung dan mendorong proses inovasi secara strategis sangat penting untuk meningkatkan keunggulan kompetitif perkotaan di masa mendatang sehingga pengguna tidak diperlakukan sebagai objek dalam proses inovasi atau sekadar pelanggan, tetapi sebagai kontributor dan inovator tahap awal.

## **20.8 NANOTEKNOLOGI DAN BIOTEKNOLOGI**

Sebagaimana ditunjukkan dalam Bab 1 dan 2, kemajuan besar dalam beberapa dekade terakhir dalam penelitian bioteknologi dan nano telah menghasilkan banyak penemuan penting, termasuk pemetaan genom manusia (DNA), kloning genetik, pemahaman tentang partikel nano, dan serangkaian aplikasi nanoteknologi praktis serta teknologi permukaan pintar yang telah membentuk kembali banyak metode konstruksi dan manufaktur tradisional.

Nanoteknologi mencakup salah satu bidang penelitian dan pengembangan yang tumbuh paling cepat di dunia. Seperti banyak bidang eksplorasi ilmiah dan teknologi, nanoteknologi berada di perbatasan antara berbagai disiplin ilmu, termasuk fisika, kimia, ilmu material, biologi, kedokteran, TIK, dan Teknik.

## **20.9. BIOMIMETIKA**

Bab 2 telah mendefinisikan biomimetika atau biomimikri sebagai studi tentang alam dan penerapannya dalam desain kontemporer. Disiplin desain yang relatif baru ini mencari solusi berkelanjutan dengan meniru pola dan strategi alam yang telah teruji waktu, yang telah berkembang selama ribuan tahun, dan menerapkannya ke dalam praktik modern. Gagasan intinya adalah bahwa alam, yang imajinatif karena kebutuhan, telah memecahkan banyak masalah yang kita hadapi saat ini: misalnya, solusi alam untuk tantangan energi, produksi pangan, pengendalian iklim, kimia tidak beracun, transportasi, pengemasan dapat langsung diterapkan pada masyarakat saat ini.

Melihat alam dan secara sadar meniru kejeniusannya untuk mengatasi masalah saat ini kemungkinan akan menjadi area inovasi yang sangat besar di tahun-tahun mendatang. Dalam biomimikri, masyarakat dapat mulai memandang alam sebagai model, mentor, dan ukuran

untuk semua inovasi di masa mendatang. Biomimetika memiliki relevansi dalam desain arsitektur dan perkotaan.

#### **20.10. INOVASI DI SELURUH DUNIA**

Andonian dkk., bekerja sama dengan Forum Ekonomi Dunia, mengidentifikasi faktor-faktor umum yang diamati di pusat inovasi yang sukses, termasuk yang mendorong inovasi, seperti lingkungan bisnis, pemerintah dan regulasi, serta infrastruktur, dan proksi untuk keluaran inovasi. Hal ini memungkinkan terciptanya 'peta panas inovasi' yang menunjukkan kluster inovasi di seluruh dunia, dan juga untuk menemukan pola dan tren yang tampaknya penting bagi pengembangan dan pemeliharaan pusat inovasi. Studi tersebut juga menunjukkan bahwa sektor yang berbeda membutuhkan bahan yang berbeda, penggerak inovasi yang berbeda.

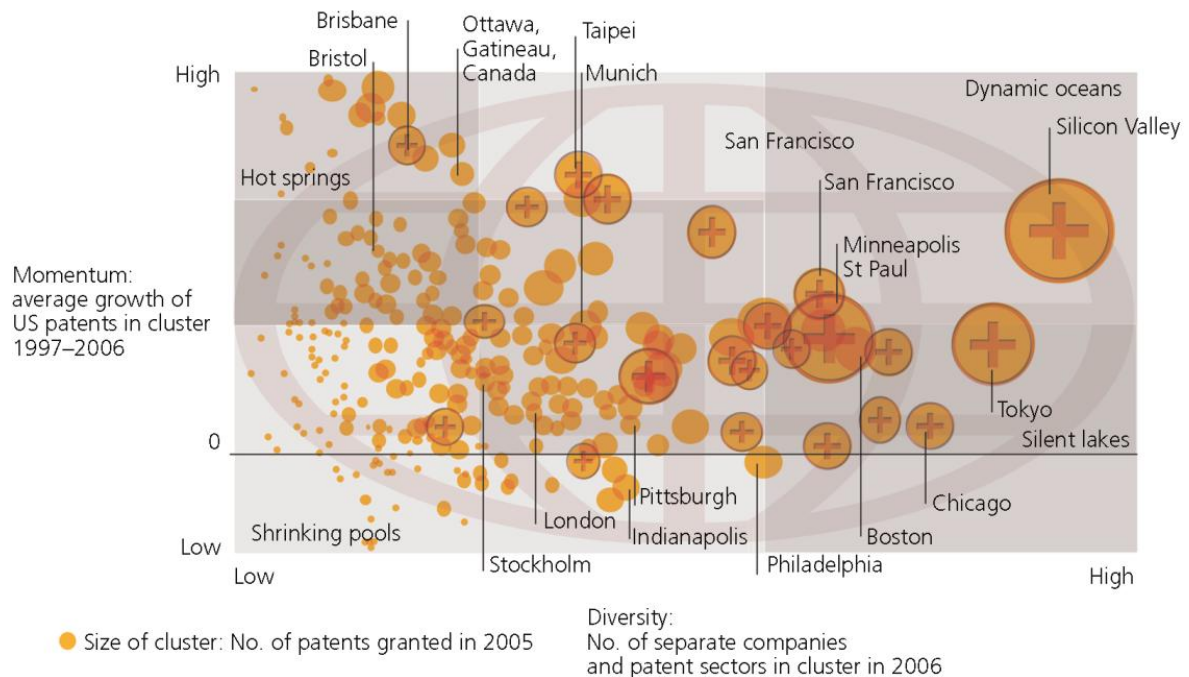
Menurut McKinney, sektor-sektor tersebut dapat diklasifikasikan berdasarkan dinamika pertumbuhan dan keragamannya. Kategori-kategori tersebut adalah 'sumber air panas' (pusat-pusat kecil yang tumbuh cepat dan dapat menjadi pusat inovasi dunia), 'lautan dinamis' (pusat-pusat besar dan dinamis dengan penciptaan dan penghancuran bisnis baru yang berkelanjutan), 'danau sunyi' (ekosistem yang lebih tua dan tumbuh lambat, dengan sejumlah kecil perusahaan besar yang mapan) dan 'kolam yang menyusut' (pusat-pusat yang tidak dapat memperluas area aktivitasnya, perlahan-lahan bermigrasi ke bawah rantai nilai).

#### **20.11. MASA DEPAN INOVATIF UNTUK BANGUNAN DAN KOTA CERDAS BERKELANJUTAN**

##### **Tren inovatif**

Bab 1 memperkenalkan beberapa inovasi yang akan memengaruhi bangunan cerdas. Kota bersifat jangka panjang dan perlu beradaptasi untuk menghadapi perubahan berkelanjutan dalam teknologi serta masyarakat itu sendiri. Meramalkan masa depan memang sulit, tetapi trennya jelas terlihat. Nanoteknologi memberikan dampak besar di banyak industri. Dalam arsitektur, struktur bangunan melalui bahan pembuatnya sedang direvolusi oleh bahan nano. Jaringan sensor nirkabel menghubungkan orang dengan lingkungan mereka dengan cara yang semakin personal.





**Gambar 20.6 Pemetaan Klaster Inovasi**

TIK memajukan sistem cerdas untuk jaringan listrik seperti jaringan cerdas. Percetakan tiga dimensi dan pemodelan informasi bangunan adalah contoh teknologi yang mengubah proses desain dan manajemen serta membantu menangani semua kompleksitas yang dihadapkannya, selain memberi pengguna kesempatan untuk berpartisipasi dalam desain. Pendekatan inovatif yang muncul terhadap pengelolaan karbon dioksida melibatkan transformasi karbon dioksida dari suatu kewajiban menjadi suatu sumber daya dengan menggunakan katalis baru, berdasarkan bahan berstruktur nano yang berpotensi mengubah karbon dioksida menjadi hidrokarbon bernilai tinggi (dan molekul lain yang mengandung karbon, yang dapat digunakan sebagai sumber energi. Dewan Agenda Global untuk Teknologi Baru dari Forum Ekonomi Dunia menyusun daftar sembilan teknologi baru teratas yang diyakini akan memiliki dampak terbesar pada keadaan dunia pada tahun 2012:

1. Informatika untuk menambah nilai pada informasi. Kuantitas informasi yang kini tersedia bagi individu dan organisasi belum pernah terjadi sebelumnya dalam sejarah manusia, dan laju pembuatan informasi terus tumbuh secara eksponensial. Namun, volume informasi yang sangat banyak berisiko menciptakan lebih banyak gangguan daripada nilai, dan, sebagai hasilnya, membatasi penggunaan efektifnya. Inovasi dalam cara informasi diatur dan ditimbang diperlukan.
2. Biologi sintetis dan rekayasa metabolisme. Dunia alami merupakan bukti potensi besar yang melekat dalam kode genetik di inti semua organisme hidup. Kemajuan pesat dalam biologi sintetis dan rekayasa metabolisme memungkinkan ahli biologi dan insinyur untuk memanfaatkan potensi ini dengan cara yang belum pernah terjadi sebelumnya, memungkinkan pengembangan proses dan organisme biologis baru yang dirancang untuk melayani tujuan tertentu baik mengubah biomassa menjadi bahan kimia, bahan bakar dan material, memproduksi obat terapeutik baru atau melindungi



tubuh dari bahaya.

3. Revolusi Hijau 2.0, teknologi untuk peningkatan produksi pangan dan biomassa. Pupuk buatan merupakan salah satu pencapaian utama kimia modern, yang memungkinkan peningkatan hasil produksi tanaman yang belum pernah terjadi sebelumnya. Namun, permintaan global yang terus meningkat akan makanan yang sehat dan bergizi mengancam akan melampaui sumber daya energi, air, dan lahan. Dengan mengintegrasikan kemajuan di seluruh ilmu biologi dan fisika, revolusi hijau yang baru ini menjanjikan peningkatan hasil produksi tanaman lebih lanjut, meminimalkan dampak lingkungan, mengurangi ketergantungan energi dan air, serta mengurangi jejak karbon.
4. Desain material berskala nano. Meningkatnya permintaan akan sumber daya alam membutuhkan peningkatan efisiensi yang belum pernah terjadi sebelumnya. Material berstruktur nano dengan sifat yang disesuaikan, dirancang dan direayasa pada skala molekuler, telah menunjukkan fitur baru dan unik yang akan mengantar pada revolusi energi bersih berikutnya, mengurangi ketergantungan kita pada sumber daya alam yang menipis, dan meningkatkan efisiensi produksi dan pemrosesan atom.
5. Sistem dan biologi kuantum serta pemodelan/simulasi komputasional sistem kimia dan biologi. Untuk meningkatkan perawatan kesehatan dan manufaktur berbasis bio, penting untuk memahami bagaimana biologi dan kimia bekerja sama. Biologi sistem dan pemodelan serta simulasi komputasional memainkan peran yang semakin penting dalam merancang terapi, material, dan proses yang sangat efisien dalam mencapai tujuan desainnya, dengan dampak yang minimal terhadap kesehatan manusia dan lingkungan.
6. Tenaga nirkabel. Masyarakat sangat bergantung pada perangkat bertenaga listrik. Namun, keterbatasan signifikan dalam pengembangan dan kegunaannya yang berkelanjutan adalah kebutuhan untuk dihubungkan ke jaringan listrik melalui kabel – baik secara permanen atau melalui pengisian ulang baterai yang sering. Pendekatan yang muncul untuk transmisi daya nirkabel akan membebaskan perangkat listrik dari keharusan untuk dicolokkan secara fisik, dan siap untuk memberikan dampak yang signifikan pada perangkat elektronik pribadi seperti halnya WiFi terhadap penggunaan internet.
7. Sistem daya dengan kepadatan energi tinggi. Baterai yang lebih baik sangat penting jika teknologi energi bersih generasi berikutnya ingin diwujudkan. Sejumlah teknologi baru bersatu untuk meletakkan dasar bagi penyimpanan dan penggunaan energi listrik tingkat lanjut, termasuk pengembangan elektroda berstruktur nano, elektrolisis padat, dan pengiriman daya cepat dari superkapasitor baru berdasarkan material nano berbasis karbon. Teknologi ini akan menyediakan kepadatan energi dan daya yang dibutuhkan untuk meningkatkan teknologi energi bersih generasi berikutnya.
8. Pengobatan, nutrisi, dan pencegahan penyakit yang dipersonalisasi. Seiring dengan populasi global yang melampaui 7 miliar orang yang semuanya mengharapkan umur panjang dan sehat pendekatan konvensional untuk memastikan kesehatan yang baik

menjadi semakin tidak dapat dipertahankan, didorong oleh meningkatnya permintaan, berkurangnya sumber daya, dan meningkatnya biaya. Kemajuan dalam bidang seperti genomik, proteomik, dan metabolomik kini membuka kemungkinan untuk menyesuaikan pengobatan, nutrisi, dan pencegahan penyakit untuk setiap individu. Bersama dengan teknologi baru seperti biologi sintetis dan nanoteknologi, teknologi ini meletakkan dasar bagi revolusi dalam perawatan kesehatan dan kesejahteraan yang tidak terlalu membutuhkan banyak sumber daya dan lebih tepat sasaran untuk kebutuhan individu.

9. Teknologi pendidikan yang ditingkatkan. Pendekatan baru diperlukan untuk memenuhi tantangan dalam mendidik populasi muda yang terus bertambah dan menyediakan keterampilan yang penting bagi ekonomi pengetahuan. Hal ini terutama terjadi dalam masyarakat global yang berkembang pesat dan sangat terhubung saat ini. Pendekatan berbasis TI yang dipersonalisasi untuk pendidikan muncul yang memungkinkan pendidikan yang berpusat pada peserta didik, pengembangan pemikiran kritis, dan kreativitas. Perkembangan pesat dalam media sosial, kursus terbuka, dan akses internet yang ada di mana-mana memudahkan pembelajaran di luar kelas dan pendidikan berkelanjutan.
1. Ini bukan daftar yang pasti, tetapi ini mengungkapkan kumpulan pandangan dari sekelompok orang dengan segudang pengalaman. Inovasi terus berkembang.

### **Peralatan**

Semakin banyak kecerdasan yang dirancang dalam bangunan, sistem, dan peralatan, bahkan pakaian. Produsen seperti Aga, LG, Samsung, dan Magimix mengembangkan kompor, lemari es, dan pemanggang roti dengan sensor yang memajukan sistem manajemen rumah yang efektif. ABI Research memperkirakan bahwa perkembangan ini kemungkinan akan segera menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari. Konsumsi energi peralatan sekitar setengah dari seluruh energi yang dikonsumsi oleh rumah pada umumnya.

Haines dan Mitchell dalam Bab 9 menunjukkan bagaimana peralatan cerdas dapat menawarkan kontrol monitor jarak jauh: prediksi kebutuhan dan pengurangan konsumsi energi dengan meningkatkan kesadaran pengguna tentang bagaimana gaya hidup/perilaku mereka memengaruhi pola penggunaan energi. Pemantauan jarak jauh penting, dan akan mengubah hubungan antara pengguna rumah dan peralatan yang mereka gunakan, memberikan peluang untuk menjadi lebih berkelanjutan dan juga menghemat uang.

Semua metodologi tersebut valid, tetapi satu faktor yang sering diabaikan, dan perlu ditekankan di sini, adalah kegunaan, jadi pengujian dengan pengguna dan peralatan penting untuk memastikan antarmuka manusia memuaskan. Pertumbuhan pesat populasi perkotaan (diprediksi mencapai 70% pada tahun 2050, dengan populasi dunia lebih dari 9 miliar) yang tinggal di rumah yang padat akan meningkatkan permintaan pasar peralatan rumah tangga. Penelitian tentang nanoteknologi dan jaringan sensor nirkabel berarti peralatan rumah tangga pintar akan menjadi norma.

Orang-orang akan lebih terinformasi tentang penggunaan energi pribadi, dan ini juga

akan terhubung ke area lain seperti manajemen pola makan sehat. Personalisasi kemungkinan akan meningkat, seperti halnya penginderaan jarak jauh, pemantauan, dan kontrol. Pasar peralatan rumah tangga akan lebih beragam dan menyatukan berbagai industri yang akan memengaruhi cara kita menggunakan peralatan untuk fungsi, kenyamanan, dan keberlanjutan, dan secara individu kita cenderung menjadi lebih sehat.

### **Cara Berpikir**

Ada banyak sekali faktor yang membentuk industri konstruksi. Masa depan sulit diprediksi, tetapi laporan Imex Power of 10 mengungkapkan 'tantangan besar' berikut untuk masa depan, yang berlaku untuk sektor industri mana pun.

1. Mengembangkan persona industri yang khas.
2. Menetapkan model dampak ekonomi universal.
3. Membuktikan relevansi dan nilai.
4. Berpikir dan bertindak secara strategis.
5. Membina kelincahan dan fleksibilitas.
6. Mempersonalisasi dan memperdalam pengalaman belajar.
7. Bereksperimen dengan model bisnis dan aliran pendapatan.
8. Mengadopsi pemikiran rantai nilai.
9. Memperoleh, mempertahankan, dan mengembangkan bakat serta merangkul keberagaman.
10. Mengembangkan pemimpin dan manajer masa depan.

Inti dari hal ini adalah bahwa perdebatan kita harus lebih banyak tentang nilai sehingga ada keseimbangan antara kualitas dan biaya seumur hidup. Dibandingkan dengan industri lain, konstruksi perlu memformalkan mekanisme umpan balik seperti evaluasi pasca-hunian dan melihatnya sebagai pengalaman belajar yang positif untuk kepentingan semua orang.

Semua pengetahuan terbaik di dunia tidak akan efektif kecuali kita juga membina bakat dan memiliki kepemimpinan kreatif yang kuat, sehingga pendidikan kita perlu ditinjau di semua tingkatan dan bertujuan untuk pendekatan yang lebih terintegrasi yang akan memungkinkan bahasa yang sama ditempa di antara para pemangku kepentingan.

## **20.12. KESIMPULAN**

Populasi dunia meningkat dengan cepat, dan dengan peningkatan yang cepat ini muncullah konsumerisme dan permintaan akan teknologi yang lebih baru dan lebih cepat untuk memenuhi kebutuhan konsumerisme kita yang terus meningkat. Masyarakat modern telah menginfeksi pikiran kita dengan gagasan bahwa kita harus mencari individualisme kita sendiri dan mengekspresikan identitas kita melalui barang-barang yang kita miliki.

Konsumerisme dan produksi massal telah memunculkan berbagai macam pengembangan produk dan berbagai macam investasi yang lebih besar dalam meningkatkan lini produk yang tak terhitung jumlahnya yang telah dijual. Cat tahan air baru yang mengungguli cat lain di pasaran tetapi mencapai tujuan yang hampir sama memiliki sedikit pengaruh dalam keseluruhan skema kebutuhan masyarakat; namun, itu tetap merupakan inovasi.

Pada tingkat kebijakan, narasi kemajuan telah menyebabkan pengabaian terhadap efek negatif dari perubahan teknologi di seluruh lanskap kelembagaan yang lebih luas. Oleh karena itu, inovasi telah dilihat sebagai hal yang positif bagi pertumbuhan ekonomi, dengan sedikit pertimbangan tentang arah inovasi dan pertanyaan tentang pilihan teknologi (Whyte dan Sexton, 2011). Harus ada strategi global yang ditetapkan dengan jelas yang mencakup semua inovasi dan memandang setiap penemuan baru yang dianggap baru dengan pandangan skeptis yang mendukung keberlanjutan.

Inovasi masa depan harus menyediakan alternatif untuk meremajakan potensi lokal wilayah dan masyarakatnya, di mana warga negara secara sadar menyadari dan membuat pilihan untuk berbagi tanggung jawab dan dampak dari proses hidup bersama, produksi bersama, dan pengambilan keputusan bersama sebagai bagian dari pembangunan berkelanjutan perkotaan. Semuanya tergantung pada bagaimana inovasi digunakan. Material dan teknologi baru pasti dapat memainkan peran penting dalam pengembangan sektor konstruksi yang lebih berkelanjutan. Namun, jika perhatian tidak diberikan secara merata pada semua dimensi keberlanjutan (ekonomi, lingkungan, dan sosial), dampak sebaliknya dapat terjadi.

Jika ada jalur yang jelas untuk dirancang, pemerintah harus mendedikasikan sumber daya dan penelitian untuk keberlanjutan secara keseluruhan dan bukan sebagai hasil dari kerangka kerja saat ini. Intinya adalah, saat ini, konsumen biasanya hanya menginginkan peningkatan yang stabil yang menghasilkan margin yang lebih luas untuk memenuhi kebutuhan spesifik mereka, tetapi definisi dan kesadaran tentang apa yang sebenarnya merupakan kebutuhan masyarakatlah yang akan menandai inovasi mana yang kemungkinan besar akan memiliki dampak paling besar dalam 20 tahun ke depan. Ada kebutuhan dasar dan konsisten manusia untuk memiliki tempat tinggal, dan 'tidak ada alasan untuk percaya bahwa kebutuhan ini akan hilang sebagai akibat dari meningkatnya konektivitas elektronik'.

### **20.13. MASA DEPAN**

Inovasi berubah dengan cepat dan menghadirkan tantangan seperti memperbarui sistem yang cepat usang. Namun, arsitektur membutuhkan interaksi antara yang baru dan yang lama. Inovasi adalah pendorong, tetapi tindakan pasif historis yang terlihat dalam arsitektur vernakular juga penting. Meskipun demikian, ada beberapa tren yang dapat kita lihat yang akan menjadi signifikan, tetapi waspadalah terhadap mode yang sering kali digembar-gemborkan oleh media dan kemudian menghilang dengan cepat.

Bangunan adalah mesin yang kompleks untuk bekerja dan tinggal, seperti yang disinggung oleh Le Corbusier, dan kami telah menyederhanakan semua masalah desain dan manajemen yang kompleks dengan menggunakan model linier. Lu et al. meninjau teori kekacauan dan model dinamis non-linier untuk melihat apakah kita dapat mendekati pemodelan dengan cara yang berbeda. Penghuni bangunan sering mengatakan bahwa mereka memiliki sedikit kendali atas lingkungan mereka. Tentu saja, perilaku penghuni memengaruhi kinerja sistem, dan merupakan alasan penting mengapa kinerja yang dimaksudkan oleh desain sering kali tidak terjadi dalam praktik.

Analisis masalah dalam lingkungan yang dibangun sering kali mengasumsikan untuk kesederhanaan bahwa tindakan terjadi dalam sistem non-linier, tetapi pada kenyataannya sistem non-linier yang dinamis mendominasi. Ilmu jaringan adalah bagian dari bidang ilmu kompleksitas dan teori kekacauan. Ilmu ini memungkinkan untuk mempelajari bagaimana sistem berinteraksi dan memunculkan sifat dan perilaku yang muncul. Perkembangan dan ide-ide ini akan membuat pemodelan sistem lebih realistis di masa mendatang.

Tabel 20.1 menunjukkan beberapa inovasi penting, beberapa di antaranya telah memberikan dampak pada industri konstruksi. Banyak di antaranya telah disebutkan dalam Bab 1, 2, 5, 7, dan 9. Saat ini ada perdebatan tentang perlunya jejak karbon pribadi ditambah tren yang berkembang untuk menghormati kebutuhan dan tanggung jawab individu yang menempati dan menggunakan bangunan. Munculnya sensor yang dapat disematkan ke dalam material dan peralatan, bersama dengan jaringan sensor nirkabel, akan menghasilkan jaringan di mana-mana yang menyediakan data real-time yang luas dan berharga tentang kinerja.

Data yang diambil tentang respons penghuni terhadap lingkungan yang berubah dapat dianalisis untuk mengungkap pola penting yang dapat digunakan untuk memberikan tingkat kontrol pribadi. Ini akan menjadi praktik normal selama beberapa tahun ke depan. Keeling dkk. dalam Bab 7 menunjukkan bagaimana perangkat elektronik yang dapat dikenakan pada pakaian dan aksesoris pribadi telah sangat berkembang dalam industri tekstil dan akan membantu orang meningkatkan kesadaran mereka tentang tindakan mereka sehubungan dengan konsumsi energi dan air, misalnya.

Pengukuran cerdas di gedung akan membantu kita memahami pengaruh perilaku penghuni terhadap tingkat konsumsi dan mengarahkan orang ke berbagai cara untuk mengurangi tingkat tersebut dan menjadi lebih berkelanjutan. Manfaat bagi konsumen rumah tangga adalah mereka dapat menghemat uang, dan, dalam kasus gedung komersial, organisasi dapat mendorong staf mereka untuk lebih menyadari langkah-langkah ramah lingkungan dengan menawarkan skema bonus ramah lingkungan. Selain itu, dengan membandingkan kinerja gedung dan sistemnya dengan respons penghuni, seseorang dapat dengan mudah menentukan area ketidakpuasan dan melihat apakah kriteria desain yang lebih tepat dapat digunakan. Sudah terbukti dari pengukuran air bahwa penghematan konsumsi yang cukup besar dapat dilakukan.

Tabel 20.1 Beberapa Inovasi Penting

Inovasi	Dampak
ICT	Sistem interaktif yang lebih cepat
Cloud computing	Komputer virtual dan tipis
Sensor tertanam	Personalisasi dan umpan balik waktu nyata
Material cerdas (pembersihan mandiri, penyembuhan mandiri, rendahnya wujud)	Energi
Biomimetika	Pemanfaatan material dan energi yang ekonomis

Robotika	Pemeliharaan dan survei internal
Teori kekacauan dan kompleksitas	Pengambilan keputusan yang realistis
Ilmu jaringan	Skenario pemasaran

Analisis masalah dalam lingkungan binaan sering kali mengasumsikan bahwa tindakan terjadi dalam sistem non-linier, tetapi, pada kenyataannya, sistem non-linier dinamis mendominasi. Ilmu jaringan merupakan bagian dari bidang ilmu kompleksitas dan teori kekacauan. Ilmu ini memungkinkan studi tentang bagaimana sistem berinteraksi dan memunculkan sifat dan perilaku yang muncul. Perkembangan dan ide ini akan membuat pemodelan sistem lebih realistis di masa mendatang.

Perkembangan pendidikan akan menjadi sangat penting. Tim desain dan manajemen tradisional dapat diperluas untuk mencakup spesialis keberlanjutan yang baru muncul. Platform Nasional Inggris untuk Lingkungan Binaan yang dirumuskan oleh Kelompok Tugas Keunggulan Konstruksi Inggris pada tahun 2006 menyoroti konsumsi sumber daya, sistem informasi dan komunikasi, desain berbasis pengetahuan yang digerakkan oleh klien, dan proses konstruksi sebagai isu-isu utama. Pemodelan informasi bangunan yang dijelaskan dalam Bab 11 memperkuat prakiraan ini.

Dalam bukunya *Physics of the Future*, Michio Kaku mengajak kita dalam perjalanan waktu ke tahun 2100 dan membayangkan seperti apa kehidupan di kantor (jika gedung-gedung seperti itu masih ada), dengan robot yang dikendalikan telepati, lensa kontak yang terhubung ke internet, kehadiran holografik manusia, dan komputer kuantum (Kaku, 2011). Komputer dan robot yang dikendalikan pikiran mengisyaratkan bahwa kontrol yang lebih individual atas pekerjaan dan kehidupan pribadi kita akan menjadi mungkin, dan ini membuka jati diri kita yang kreatif.

Hal ini harus dilihat dalam skenario besar untuk masa depan yang dijelaskan dalam buku Kurzweil *The Singularity is Near*. Singularitas adalah peristiwa yang tidak dapat kita lihat lebih jauh, seperti saat manusia akan menyatu dengan mesin cerdas, yang menurut Kurzweil, akan terjadi sekitar tahun 2045. Ia meramalkan bahwa kita akan mampu merekayasa ulang otak pada tahun 2029. Apa pun spekulasinya, masa depan akan penuh tantangan tetapi memberi kita peluang untuk meningkatkan kualitas hidup di seluruh negara berkembang, dan arsitektur memiliki peran penting untuk dimainkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Almusaed, A. (2011). *Biophilic and bioclimatic architecture: Analytical therapy for the next generation of passive sustainable architecture*. Springer Science & Business Media.
- Berardi, U. (2017). A cross-country comparison of the building energy consumptions and their trends. *Resources, Conservation and Recycling*, 123, 230-241. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.03.014>
- Bragança, L., Vieira, S. M., & Andrade, J. B. (2014). Early stage design decisions: The way to achieve sustainable buildings at lower costs. *The Scientific World Journal*, 2014, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2014/365364>
- Calkins, M. (2009). *Materials for sustainable sites: A complete guide to the evaluation, selection, and use of sustainable construction materials*. John Wiley & Sons.
- Cole, R. J. (2012). Regenerative design and development: A framework for evolving sustainability. *Building Research & Information*, 40(1), 1-16. <https://doi.org/10.1080/09613218.2012.617516>
- DeKay, M., & Brown, G. Z. (2013). *Sun, wind, and light: Architectural design strategies*. John Wiley & Sons.
- Edwards, B. (2010). *Rough guide to sustainability: A design primer*. RIBA Publishing.
- El-Diraby, T. E. (2013). A ontology for smart cities. *Journal of Urban Technology*, 20(3), 1-16. <https://doi.org/10.1080/10630732.2013.793392>
- Fisk, W. J. (2000). Health and productivity gains from better indoor environments and their relationship with building energy efficiency. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1), 537-566. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.537>
- GBCA. (2014). *The value of green star: A decade of environmental benefits*. Green Building Council of Australia.
- GhaffarianHoseini, A., Dahlan, N. D., Berardi, U., GhaffarianHoseini, A., & Makaremi, N. (2013). Sustainable energy performances of green buildings: A review of current theories, implementations and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.010>
- Gou, Z., & Xie, X. (2017). Evolving green building: Triple bottom line or regenerative design? *Journal of Cleaner Production*, 153, 600-607. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.077>



- Heerwagen, J. H. (2000). Green buildings, organizational success, and occupant productivity. *Building Research & Information*, 28(5-6), 353-367. <https://doi.org/10.1080/096132100418500>
- Hens, H. (2010). Energy efficient retrofit of an end of the row house: Confronting predictions with long-term measurements. *Energy and Buildings*, 42(10), 1933-1942. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.029>
- Hopkins, R. (2008). *The transition handbook: From oil dependency to local resilience*. Green Books.
- Hwang, B. G., & Tan, J. S. (2012). Green building project management: Obstacles and solutions for sustainable development. *Sustainable Development*, 20(5), 335-349. <https://doi.org/10.1002/sd.492>
- Kibert, C. J. (2016). *Sustainable construction: Green building design and delivery*. John Wiley & Sons.
- Kim, J. J., & Rigdon, B. (1998). *Sustainable architecture module: Introduction to sustainable design*. National Pollution Prevention Center for Higher Education.
- Kolokotsa, D., Rovas, D., Kosmatopoulos, E., & Kalaitzakis, K. (2011). A roadmap towards intelligent net zero- and positive-energy buildings. *Solar Energy*, 85(12), 3067-3084. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.09.001>
- Kwok, A. G., & Grondzik, W. T. (2018). *The green studio handbook: Environmental strategies for schematic design*. Routledge.
- Laustsen, J. (2008). *Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings*. International Energy Agency.
- Levin, H. (1997). Systematic evaluation and assessment of building environmental performance (SEABEP). *Building Research & Information*, 25(6), 326-332. <https://doi.org/10.1080/096132197370144>
- Li, D. H. W., Yang, L., & Lam, J. C. (2013). Zero energy buildings and sustainable development implications – A review. *Energy*, 54, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.01.070>
- Lovins, A. B. (1992). *Energy-efficient buildings: Institutional barriers and opportunities*. E Source.
- MacNaughton, P., Satish, U., Laurent, J. G. C., Flanigan, S., Vallarino, J., Coull, B., ... & Allen, J. G. (2017). The impact of working in a green certified building on cognitive function and health. *Building and Environment*, 114, 178-186. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.041>

- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North Point Press.
- Mlecnik, E. (2013). Innovation development for highly energy-efficient housing: Opportunities and challenges related to the adoption of passive houses. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 26(1-2), 144-168. <https://doi.org/10.1080/13511610.2013.723304>
- Mumovic, D., & Santamouris, M. (2009). *A handbook of sustainable building design and engineering: An integrated approach to energy, health and operational performance*. Earthscan.
- Ochoa, C. E., Aries, M. B. C., & van Loenen, E. J. (2012). Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort. *Applied Energy*, 95, 238-245. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.02.042>
- Omer, A. M. (2008). Energy, environment and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9), 2265-2300. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.05.001>
- Pacheco-Torgal, F., Cabeza, L. F., Labrincha, J., & de Magalhães, A. G. (2014). *Eco-efficient construction and building materials: Life cycle assessment (LCA), eco-labelling and case studies*. Woodhead Publishing.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394-398. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>
- Roaf, S., Fuentes, M., & Thomas, S. (2007). *Ecohouse: A design guide*. Architectural Press.
- Robinson, J. (2004). Squaring the circle? Some thoughts on the idea of sustainable development. *Ecological Economics*, 48(4), 369-384. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2003.10.017>
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682-703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- Sartori, I., & Hestnes, A. G. (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and Buildings*, 39(3), 249-257. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.07.001>
- Sev, A. (2009). How can the construction industry contribute to sustainable development? A conceptual framework. *Sustainable Development*, 17(3), 161-173. <https://doi.org/10.1002/sd.373>

- Singh, A., Syal, M., Grady, S. C., & Korkmaz, S. (2010). Effects of green buildings on employee health and productivity. *American Journal of Public Health*, 100(9), 1665-1668. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2009.180687>
- Stemers, K., & Steane, M. A. (2004). *Environmental diversity in architecture*. Spon Press.
- Szokolay, S. V. (2008). *Introduction to architectural science: The basis of sustainable design*. Architectural Press.
- Thormark, C. (2006). The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. *Building and Environment*, 41(8), 1019-1026. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.026>
- Todd, J. A., Crawley, D., Geissler, S., & Lindsey, G. (2001). Comparative assessment of environmental performance tools and the role of the Green Building Challenge. *Building Research & Information*, 29(5), 324-335. <https://doi.org/10.1080/09613210110064268>
- USGBC. (2019). *LEED v4 for building design and construction*. U.S. Green Building Council.
- Van den Brande, K. (2017). *Smart cities and communities: The European innovation partnership*. European Commission.
- WBDG Sustainable Committee. (2016). *Sustainable. Whole Building Design Guide*. <https://www.wbdg.org/design-objectives/sustainable>
- WCED. (1987). *Our common future*. World Commission on Environment and Development.
- WHO. (2018). *Housing and health guidelines*. World Health Organization.
- Williams, K., & Dair, C. (2007). What is stopping sustainable building in England? Barriers experienced by stakeholders in delivering sustainable developments. *Sustainable Development*, 15(3), 135-147. <https://doi.org/10.1002/sd.308>
- Yeang, K. (1999). *The green skyscraper: The basis for designing sustainable intensive buildings*. Prestel.
- Zuo, J., & Zhao, Z. Y. (2014). Green building research—current status and future agenda: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 271-281. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.021>

# Inovasi Desain Bangunan yang Cerdas, Sehat dan Ramah Lingkungan

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

## BIO DATA PENULIS



Penulis memiliki berbagai disiplin ilmu yang diperoleh dari Universitas Diponegoro (UNDIP) Semarang. dan dari Universitas Kristen Satya Wacana (UKSW) Salatiga. Disiplin ilmu itu antara lain teknik elektro, komputer, manajemen dan ilmu sosiologi. Penulis memiliki pengalaman kerja pada industri elektronik dan sertifikasi keahlian dalam bidang Jaringan Internet, Telekomunikasi, Artificial Intelligence, Internet Of Things (IoT), Augmented Reality (AR), Technopreneurship, Internet Marketing dan bidang pengolahan dan analisa data (komputer statistik).

Penulis adalah pendiri dari Universitas Sains dan Teknologi Komputer (Universitas STEKOM ) dan juga seorang dosen yang memiliki Jabatan Fungsional Akademik Lektor Kepala (Associate Professor) yang telah menghasilkan puluhan Buku Ajar ber ISBN, HAKI dari beberapa karya cipta dan Hak Paten pada produk IPTEK. Sejak tahun 2023 penulis tercatat sebagai Dosen luar biasa di Fakultas Ekonomi & Bisnis (FEB) Universitas Diponegoro Semarang. Penulis juga terlibat dalam berbagai organisasi profesi dan industri yang terkait dengan dunia usaha dan industri, khususnya dalam pengembangan sumber daya manusia yang unggul untuk memenuhi kebutuhan dunia kerja secara nyata.



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

### PENERBIT :

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

ISBN 978-623-8642-83-0 (PDF)



9

786238

642830