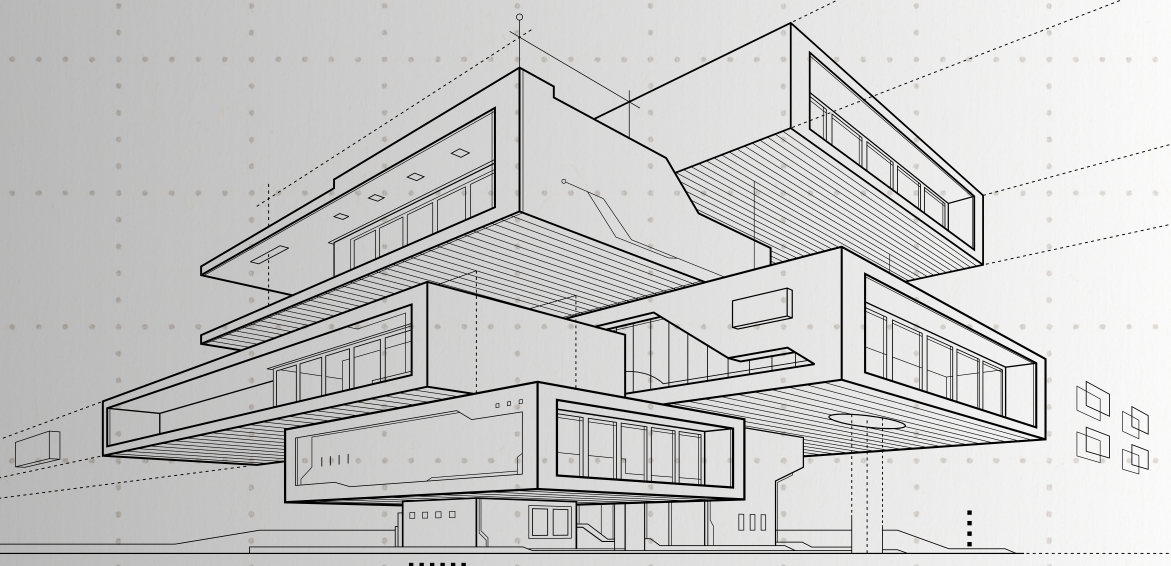
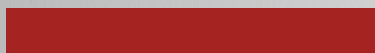


ARSITEKTUR BERKELANJUTAN:

PRINSIP, STRATEGI, DAN IMPLEMENTASI



Penulis:

Muhammad Segi Sufia Purnama | Wahyu Saputra | Asri Afriliany Surbakti |
Abdi Gunawan Djafar | Wakyudi, Rahmayanti | Nova Purnama Lisa |
Mercyana Trianne Zebua | Niniek Pratiwi | Gusniyati Buhari | Anton Kaharu |
Nunik Hasriyanti | Ghina Rizqandi Qurrota Aýun

ARSITEKTUR BERKELANJUTAN: PRINSIP, STRATEGI, DAN IMPLEMENTASI

Muhammad Sega Sufia Purnama

Wahyu Saputra

Asri Afriliany Surbakti

Abdi Gunawan Djafar

Wakyudi

Rahmayanti

Nova Purnama Lisa

Mercyana Trianne Zebua

Niniek Pratiwi

Gusniyati Buhari

Anton Kaharu

Nunik Hasriyanti

Ghina Rizqandi Qurrota Aýun



GET PRESS INDONESIA

ARSITEKTUR BERKELANJUTAN: PRINSIP, STRATEGI, DAN IMPLEMENTASI

Penulis :

Muhammad Segi Sufia Purnama
Wahyu Saputra
Asri Afriliany Surbakti
Abdi Gunawan Djafar
Wakyudi
Rahmayanti
Nova Purnama Lisa
Mercyana Trianne Zebua
Niniek Pratiwi
Gusniyati Buhari
Anton Kaharu
Nunik Hasriyanti
Ghina Rizqandi Qurrota A'yun

ISBN : 978-634-255-104-2

Editor : Dr. Hendra Nusa Putra, S.Kom, M. Kom

Penyunting : Tri Putri Wahyuni., S.Pd

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No/16 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat
Website : www.getpress.co.id
Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Oktober 2025

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku *Arsitektur Berkelanjutan: Prinsip, Strategi, Dan Implementasi* ini.

Buku Ini Membahas : Konsep Dasar Arsitektur Berkelanjutan, Isu Global dan Tantangan Lingkungan, Arsitektur Hijau vs. Arsitektur Berkelanjutan, Net Zero Energy Building (NZEB), Bangunan Hijau dan Konsensus Internasional, Efisiensi dan Konservasi Energi dalam Bangunan, Pengelolaan Sumber Daya dan Lahan Berkelanjutan, Konservasi Air dalam Desain Arsitektur, Material Berkelanjutan dalam Arsitektur, Manajemen Lingkungan dan Kesehatan dalam Bangunan, Transportasi Berkelanjutan dan Mobilitas Urban, Kota Berkelanjutan dan Smart City, Strategi Implementasi Arsitektur Berkelanjutan.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, Agustus/1025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
BAB 1 KONSEP DASAR ARSITEKTUR	
BERKELANJUTAN	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Aspek Ekologi.....	2
1.3 Aspek Sosial	4
1.4 Aspek Ekonomi	5
1.5 Kaitan Aspek-aspek Keberlanjutan	6
DAFTAR PUSTAKA.....	7
BAB 2 ISU GLOBAL DAN TANTANGAN	
LINGKUNGAN	9
2.1 Pendahuluan.....	9
2.2 Isu Global dan Tantangan dalam Arsitektur	12
2.2.1 Pertumbuhan Penduduk dan Urbanisasi	13
2.2.2 Penipisan Sumber Daya (Energi, Air, dan Material).....	15
2.2.3 Ketimpangan Sosial dan Akses Terhadap Perumahan Berkelanjutan	17
DAFTAR PUSTAKA.....	20
BAB 3 ARSITEKTUR HIJAU VS ARSITEKTUR	
BERKELANJUTAN	23
3.1 Pendahuluan.....	23
3.2 Definisi dan Prinsip Arsitektur Hijau	24
3.3 Definisi dan Prinsip Arsitektur Berkelanjutan.....	31
3.4 Perbedaan Arsitektur Hijau dan Arsitektur Berkelanjutan	40
DAFTAR PUSTAKA.....	44
BAB 4 NET ZERO ENERGY BUILDING (NZEB).....	
4.1 Pendahuluan.....	47
4.2 Kriteria NZEB	48
4.2.1 Aspek NZEB.....	48
4.2.2 Kalkulasi NZEB	50

4.3 Optimisasi Desain Bangunan	50
4.3.1 Desain Berdasarkan Iklim dan Sistem Pasif.....	50
4.3.2 Komputasi Digital	51
4.4 Retrofitting Bangunan	52
4.4.1 <i>Retrofitting</i> untuk Penghematan Energi.....	52
4.4.2 Tantangan Retrofitting untuk Mencapai NZEB	53
4.5 Sistem Energi Terbarukan	54
4.6 Contoh Bangunan NZEB	56
4.6.1 The Unisphere.....	56
4.6.2 The Floating Office	57
DAFTAR PUSTAKA	58
BAB 5 BANGUNAN HIJAU DAN KONSENSUS INTERNASIONAL	61
5.1 Pendahuluan.....	61
5.2 Pengertian dan Manfaat Bangunan Hijau.....	62
5.3 Konsensus Internasional dan Tantangan Penerapan Bangunan Hijau.....	64
5.4 Kesimpulan	69
DAFTAR PUSTAKA.....	70
BAB 6 EFISIENSI DAN KONSERVASI ENERGI DALAM BANGUNAN.....	71
6.1 Pendahuluan.....	71
6.2 Konsep Dasar Efisiensi dan Konservasi Energi.....	71
6.2.1 Efisiensi Energi: Optimalisasi Teknologi dan Sistem	71
6.2.2 Konservasi Energi: Manajemen Penggunaan dan Perilaku.....	72
6.2.3 Relevansi dalam Iklim Tropis Lembap	72
6.2.4 Kontribusi terhadap Tujuan Pembangunan Berkelanjutan	73
6.3 Penyebab Pemborosan Energi dalam Bangunan ...	73
6.4 Strategi Desain Hemat Energi.....	75
6.5 Konservasi Energi dalam Operasional Bangunan..	76
6.6 Studi Kasus Bangunan Hemat Energi di Indonesia.	78
6.7 Tantangan dan Peluang.....	79

6.8 Kesimpulan	80
DAFTAR PUSTAKA.....	82
BAB 7 PENGELOLAAN SUMBER DAYA DAN LAHAN BERKELANJUTAN	85
7.1 Pendahuluan.....	85
7.2 Urgensi Pengelolaan Sumber Daya dan Lahan.....	87
7.3 Konsep Dasar Pengelolaan Berkelanjutan.....	89
7.3.1 Definisi dan Prinsip Pengelolaan Berkelanjutan.....	89
7.3.2 Konsep Daur Hidup Bangunan (<i>Life Cycle Thinking</i>)	91
7.3.3 Prinsip Reduce, Reuse, Recycle	96
7.3.4 Pengelolaan Sumber Daya Alam	97
7.4 Pengelolaan dan Perencanaan Lahan	100
7.4.1 Prinsip Perencanaan Lahan Berkelanjutan	100
7.4.2 Greenbelt, Buffer Zone dan Ruang Terbuka Hijau.....	102
7.4.1 Pengendalian Alih Fungsi Lahan.....	103
DAFTAR PUSTAKA.....	105
BAB 8 KONSERVASI AIR	107
8.1 Pendahuluan.....	107
8.2 Konsep Dasar Konservasi Air.....	108
8.3 Strategi Konservasi Air.....	109
8.4 Perencanaan Tapak.....	111
8.4.1 Hakikat Perencanaan Tapak.....	111
8.4.2 Strategi Perencanaan Tapak.....	112
8.5 Desain Bangunan Hemat Air	113
8.5.1 Prinsip Dasar Desain	113
8.5.2 Desain Bangunan Hemat Air	114
DAFTAR PUSTAKA.....	118
BAB 9 MATERIAL BERKELANJUTAN DALAM ARSITEKTUR.....	119
9.1 Pendahuluan.....	119
9.2 Prinsip – Prinsip Penggunaan Material Berkelanjutan	119
9.2.1 Penilaian Siklus Hidup (<i>Life Cycle Assessment/LCA</i>) :	119

9.2.2 Embodied Carbon	121
9.2.3 Sumber Lokal.....	122
9.2.4 Dapat Didaur Ulang dan Sirkularitas	123
9.2.5 Kesehatan dan Kualitas Udara Dalam Ruangan.....	124
9.3 Kategori Material Berkelanjutan	125
9.3.1 Bahan Alami.....	125
9.3.2 Bahan Daur Ulang.....	131
9.3.3 Material Berkelanjutan yang Direkayasa	135
9.4 Kesimpulan	138
DAFTAR PUSTAKA.....	139
BAB 10 MANAJEMEN LINGKUNGAN DAN KESEHATAN DALAM BANGUNAN	141
10.1 Pendahuluan	141
10.1.1 Latar Belakang.....	141
10.1.2 Tujuan.....	142
10.1.3 Ruang Lingkup	142
10.2 Teori Dasar Manajemen Lingkungan	143
10.2.1 Definisi dan Konsep Manajemen Lingkungan.....	143
10.3 Kesehatan dalam Konteks Bangunan.....	149
10.3.1 Konsep Kesehatan dalam Arsitektur	149
10.3.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kesehatan Penghuni	150
10.4 Regulasi dan Standar Kesehatan Bangunan	150
10.4.1 Peraturan Nasional dan Internasional.....	150
10.4.2 Standar Kualitas Udara dan Air	152
10.4.3 Pedoman Desain Sehat.....	154
10.5 Aspek Lingkungan dalam Bangunan	154
10.5.1 Kualitas Udara dalam Ruang.....	154
10.5.3 Kualitas Air dan Sanitasi.....	156
10.5.2 Pencahayaan dan Penghawaan Alami.....	157
10.5.3 Kebisingan dan Akustik Bangunan.....	157
10.5.4 Material Bangunan dan Kesehatan	157
10.6 Manajemen Kesehatan Lingkungan Bangunan	158
10.6.1 Perencanaan dan Desain Bangunan Sehat	158
10.6.2 Implementasi Sistem Manajemen	

Lingkungan.....	159
10.6.3 Pemeliharaan dan Operasional Bangunan Sehat.....	160
10.6.4 Tantangan dan Inovasi dalam Manajemen Kesehatan Bangunan.....	162
10.7 Studi Kasus dan Aplikasi	162
10.7.1 Studi Kasus Bangunan Sehat di Indonesia	162
10.7.2 Aplikasi Praktis dalam Proyek Bangunan	163
DAFTAR PUSTAKA.....	165
BAB 11 TRANSPORTASI BERKELANJUTAN DAN MOBILITAS URBAN	171
11.1 Konsep Dasar Transportasi Berkelanjutan.....	171
11.1.1 Definisi dan Prinsip Transportasi Berkelanjutan	171
11.1.2 Peran Mobilitas Urban dalam Transportasi Berkelanjutan	172
11.1.3 Tantangan dan Hambatan Implementasi Transportasi Berkelanjutan	173
11.2 Model dan Pendekatan dalam Perencanaan Mobilitas Berkelanjutan	174
11.2.1 <i>Transit Oriented Development</i> (TOD) sebagai Pendekatan Integratif.....	174
11.2.2 <i>Sustainable Urban Mobility Plan</i> (SUMP) di Konteks Internasional.....	176
11.2.3 Integrasi Sistem Multimoda Berbasis Teknologi	177
11.3 Infrastruktur dan Moda Transportasi Berkelanjutan	178
11.3.1 Pengembangan Infrastruktur Ramah Lingkungan.....	178
11.3.2 Moda Transportasi Non-Motorized dan Aktif.....	179
11.3.3 Sistem Transportasi Publik Berkelanjutan: BRT dan LRT	180
11.4 Teknologi Cerdas dan Smart Mobility dalam Sistem Urban.....	181

11.4.1 <i>Smart Mobility</i> dan Transportasi Berbasis Teknologi Digital	181
11.4.2 Integrasi Energi Terbarukan dan Penyimpanan Energi dalam Mobilitas	
11.4.3 Inovasi Berbasis Layanan dan Mobilitas Berbagi (<i>Shared Mobility</i>)	182
11.5 Dampak Transportasi Berkelanjutan terhadap Lingkungan dan Kesehatan	183
11.5.1 Polusi Udara dan Emisi Gas Rumah Kaca	183
11.5.2 Kontribusi Mobilitas Berkelanjutan terhadap Mitigasi Perubahan Iklim	184
11.5.3 Dampak Sosial dan Kesejahteraan Masyarakat	185
11.6 Peran Kebijakan dan Regulasi dalam Mendukung Mobilitas Berkelanjutan	186
11.6.1 Kebijakan Nasional dan Regional Transportasi Berkelanjutan.....	186
11.6.2 Regulasi dan Insentif untuk Transisi Energi dan Moda Transportasi	186
11.6.3 Partisipasi Masyarakat dan Stakeholder dalam Perencanaan Transportasi	187
DAFTAR PUSTAKA.....	189
BAB 12 KOTA BERKELANJUTAN DAN SMART CITY ...	195
12.1 Pendahuluan	195
12.2 Kota Berkelanjutan.....	196
12.2.1 Contoh Implementasi	198
12.3 Smart City.....	199
12.3.1 Pencetus Smart City	202
12.3.2 Contoh Smart City	205
DAFTAR PUSTAKA.....	213
BAB 13 STRATEGI IMPLEMENTASI ARSITEKTUR BERKELANJUTAN.....	215
13.1 Sejarah Perkembangan Arsitektur Berkelanjutan	215
13.2 Pengertian Arsitektur Berkelanjutan.....	215
13.3 Strategi Implementasi Arsitektur Berkelanjutan	217

DAFTAR PUSTAKA..... 233

BIODATA PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Perbedaan Arsitektur Hijau dan Arsitektur Keberlanjutan.....	43
Tabel 4.1. Perbedaan <i>Nearly Zero</i> (nZ), Net Zero (NZ), dan <i>Plus Energy Building</i> (PEB).....	48
Tabel 5.1. Aspek penilaian lembaga Internasional	66
Tabel 7.1. Estimasi biaya mengurangi emisi karbon (<i>Decarbonization</i>)	96
Tabel 7.2. Korelasi Konsep 3R dan Konsep <i>Life Cycle</i>	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Emisi CO ₂ Pada Tahun 2023	10
Gambar 2.2. Emisi CO ₂ Pada Tahun 2015-2023 (Kiri) dan Emisi Energi dan Proses Global Tahun 2023 (Kanan)	11
Gambar 3.1. Ilustrasi Orientasi Bangunan Terhadap Matahari.....	25
Gambar 3.2. Orientasi Bangunan ke Arah Utara – Selatan	25
Gambar 3.3. Menghindari Efek Rumah Kaca	25
Gambar 3.4. Dinding Lapis yang Diberi Ventilasi	26
Gambar 3.5 Ventilasi Antara Atap dan Plafon	26
Gambar 3.6. Memanfaatkan Cahaya Langit (Cahaya Matahari Tidak Langsung).....	27
Gambar 3.8. Sumur Resapan	30
Gambar 4.1. Kayu Laminasi Silang, material yang sering digunakan pada bangunan NZEB ...	50
Gambar 4.2. BIM dengan fitur mensimulasikan dan menganalisis energi bangunan	52
Gambar 4.3. Perbandingan villa yang belum dan telah diretrofitting	53
Gambar 4.4. Empat Skema Penyediaan Energi Terbarukan	55
Gambar 4.5. The Unisphere, Amerika.....	56
Gambar 4.6. The Floating Office.....	57
Gambar 7.1. Diagram hipotetis sejalan dengan konsep pulau pemanasan perkotaan.	88
Gambar 7.2. Prinsip Pengelolaan Berkelanjutan.....	90
Gambar 7.3. Tahapan Siklus Hidup Bangunan.....	92
Gambar 7.4. Decarbonization, upaya mengurangi GHG diberbagai sektor	95

Gambar 7.5. Visualisasi Kawasan TOD Terintegrasi Angkutan Umum Massal yang mendorong pergerakan pejalan kaki, pesepeda, penggunaan Angkutan Umum Massal dan pembatasan kendaraan bermotor dalam radius jarak 350 m sampai dengan 700 m 101

Gambar 7.6. Konsep TOD menciptakan fungsi baru dan perbaikan jaringan sistem transit 102

Gambar 7.7. Infrastruktur berkinerja tinggi: Ruang milik jalan (*right-of-way*) dapat dirancang sedemikian rupa untuk mengurangi penggunaan sumber daya dan biaya jangka panjang, misalnya dengan menciptakan lanskap yang memiliki daya serap air tinggi. 103

Gambar 7.7. Compact Desain fokus Pembangunan pada area yang telah terbangun 104

Gambar 8.1. Konservasi Air 111

Gambar 8.2. Perencanaan Tapak..... 113

Gambar 8.3. Prinsip Dasar Desain Dalam Arsitektur 114

Gambar 8.4. Desain Bangunan Hemat Air 117

Gambar 9.1. Pemanfaatan bambu sebagai bahan bangunan..... 125

Gambar 9.2. Bangunan Bullitt Center di Seattle..... 134

Gambar 9.3. Pemanfaatan kayu berlaminasi silang pada konstruksi bangunan 135

BAB 1

KONSEP DASAR ARSITEKTUR BERKELANJUTAN

Oleh Muhammad Segah Sufia Purnama

1.1 Pendahuluan

Arsitektur berkelanjutan merupakan sebuah prinsip dalam perancangan bangunan yang menggunakan sumber daya alam seminimal mungkin agar dapat digunakan di masa depan (Syam, 2023). Diharapkan dengan adanya efisiensi, sumber daya tersebut tidak habis untuk generasi mendatang. Dari sejarahnya, isu efisiensi energi muncul saat ada kejadian tumpahan minyak dari kapal tangki tahun 1977 dan meledaknya reaktor nuklir Chernobyl. Hal ini mengakibatkan timbulnya gerakan yang bertujuan untuk menghemat energi (Farrel, 2013). Adanya pengetahuan tentang terbatasnya sumber daya alam yang ada seperti minyak bumi, batu bara dan gas alam, mengubah cara pandang dalam memanfaatkan. Ada inisiatif untuk menggunakan sumber daya terbarukan sebagai pilihan dalam melakukan sesuatu. Salah satu penggunaan sumber daya atau energi paling besar berasal dari pembangunan sebuah bangunan (Hakim, 2023). Energi tersebut, banyak digunakan saat konstruksi dan pembuatan material. Hal ini tentu membuat para produsen bahan bangunan berlomba menemukan material yang dalam pembuatannya tidak boros energi. Isu tentang konsumsi energi pada bangunan memunculkan persaingan dalam memasarkan produk mereka. Para produsen bahan bangunan saling mengklaim produk buatan mereka lebih *sustainable* dari produk yang lain. Persaingan ini juga terjadi di bidang lain. Adanya kekhawatiran dan kesadaran akan energi dan efisiensi mempengaruhi hampir semua lini kehidupan. *Sustainable* seperti menjadi kata yang harus ada atau label yang harus tertempel dalam hampir semua produk. Produsen berpikir, konsumen akan

lebih percaya bila ada label *Sustainable* dalam produk atau karya mereka.

Penerapan *sustainable* dalam desain oleh para arsitek dimaknai dengan cara yang berbeda-beda. *Sustainable* menurut arsitek Ken Yeang adalah, alam seharusnya menjadi panutan dan bangunan kita seharusnya meniru alam (Yeang, 2006). Menurut Arsitek Kaplicky, makin banyak yang kita pelajari dari alam, maka akan semakin efisien penggunaan material kita (Stedman, 2008). Perbedaan makna yang terjadi membuat bingung dan agak sulit untuk kita untuk menentukan makna yang sebenarnya dari *sustainable* itu sendiri.

Konsep keberlanjutan sendiri awalnya adalah konsep yang umum. *Sustainable Development* atau pembangunan berkelanjutan adalah cikal bakal istilah yang akhirnya diganti kata depannya dengan berbagai kata ganti seperti lingkungan berkelanjutan, arsitektur berkelanjutan, ekonomi berkelanjutan dan lain-lain. Purvis dalam penelitiannya menyebutkan bahwa konsep keberlanjutan tidak berdiri sendiri, melainkan merupakan irisan antara 3 lingkaran aspek, yaitu aspek ekologi, aspek ekonomi dan aspek sosial (Purvis, 2019). Kaitan antara keberlanjutan dengan arsitektur membuat kita harus menerapkan ketiga aspek tadi sehingga label keberlanjutan dapat disematkan di bangunan kita. Hingga saat ini, penilaian yang dapat dilakukan baru sebatas aspek ekologi. Hal ini dibuktikan dengan adanya sertifikasi bangunan hijau yang dilakukan oleh GBCI (*Green Building Council Indonesia*). Mereka menilai aspek energi, air, tata guna lahan dan siklus material. Aspek ekonomi dan aspek sosial belum dilakukan penilaiannya secara mendalam. Dalam bab ini akan coba jelaskan ketiga aspek ini dan kaitan satu sama lain.

1.2 Aspek Ekologi

Dalam praktiknya, penerapan *sustainable* dalam sebuah bangunan akan menghasilkan banyak ide dan konsep baru yang intinya mengoptimalkan efisiensi penggunaan energi. Kebutuhan akan kenyamanan dalam sebuah bangunan akan membuat kita melakukan sesuatu terhadap bangunan kita. Misal, saat kita ingin

menyejukkan ruangan, maka yang ada di pikiran kita adalah kita bisa menempatkan AC dalam ruangan tersebut. Hal ini tentu sah-sah saja tetapi penggunaan AC mengakibatkan penggunaan listrik yang berlebihan dan pemborosan energi. Maka dengan konsep *sustainable*, permasalahan ini bisa diatasi dengan pemberian bukaan yang cukup, atau adanya ventilasi silang dan sebagainya. Hal lain yang dapat diterapkan dan sudah banyak digunakan dalam bangunan adalah pencahayaan.

Masalah pencahayaan dapat diselesaikan dengan pencahayaan buatan seperti lampu. Tetapi saat siang apa perlu kita selalu menyalakan lampu ?. Hal ini lagi-lagi sebuah pemborosan dan kita selalu perlu menggunakan lampu saat siang hari. Adanya *skylight* dan arah bukaan yang tepat dapat mengatasi masalah kebutuhan pencahayaan lebih efektif dan efisien. Contoh yang lain yaitu *green roof* dan *solar cell*. Dua solusi tersebut merupakan penggunaan teknologi untuk menghasilkan efisiensi. Pertanyaannya adalah apa bisa solusi sebuah desain diterapkan di tempat yang berbeda. Ternyata perbedaan tempat akan menghasilkan perbedaan solusi. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan topografi, iklim dan cahaya matahari.

Fenomena *sustainable* dalam arsitektur, pada akhirnya berkembang tidak hanya sebagai kesadaran akan efisiensi energi, tetapi menjadi fashion atau gaya dalam berarsitektur. Penghargaan-penghargaan terhadap desain bangunan yang *sustainable* juga bermunculan untuk mendukung gerakan tersebut. Di Indonesia isu ini berkembang dan menjadi perhatian para arsitek Indonesia. Mereka mencoba membuat desain yang ramah lingkungan dan efisien dalam penggunaan energi. Kenyataannya banyak bangunan di Indonesia yang tidak ramah lingkungan dan boros energi. Gedung pencakar langit yang dibangun di Jakarta contohnya, bangunan tersebut menggunakan fasad kaca sebagai selubung bangunan. Hal ini tentu mengakibatkan penggunaan AC yang berlebihan dan pada akhirnya tidak efisien dalam penggunaan energi. Beberapa istilah mirip dengan keberlanjutan. Bangunan hijau, bangunan hemat energi, *smart building* dan lain-lain. Bila dilihat dari cakupan pembahasan terhadap istilah-istilah ini, bangunan berkelanjutan

mempunyai cakupan terluas sehingga dapat dikatakan keberlanjutan adalah payung yang menaungi istilah-istilah tersebut. Mengapa, karena dimensi keberlanjutan tidak hanya lingkungan saja tetapi juga dimensi sosial dan ekonomi.

Mewujudkan bangunan yang berkelanjutan tidak bisa hanya mengandalkan arsitek saja. Perlu ahli di bidang lain untuk membantu mewujudkannya secara konkrit. Misal, saat ingin mendesain sebuah bangunan, maka arsitek yang ingin memanfaatkan pencahayaan alami akan bekerja sama dengan insinyur pencahayaan. Dari data yang didapatkan oleh insinyur tersebut maka akan dibuat desain yang sesuai. Kemudian, saat mendesain sebuah ruangan auditorium. Arsitek perlu berkolaborasi dengan insinyur akustik. Kenyamanan pengguna dalam mendengar suara sangat penting sehingga data mengenai waktu dengung, pemilihan material akan mempengaruhi desain arsitek. Dalam konteks kelokalan, arsitek perlu memahami vegetasi yang ada di tapak dimana dia akan membangun desainnya. Hal ini tentu memerlukan bantuan seorang ahli botani. Hal-hal di luar aspek perancangan akan selalu memerlukan bantuan ahli, sehingga arsitek perlu berkolaborasi dalam desain yang dilakukan.

Dalam proses perancangan, konsep arsitektur berkelanjutan dilaksanakan di tahap perancangan awal. Desain yang digagas oleh arsitek dibuat dengan data yang didapat dari para ahli yang membantunya. Atau, arsitek membuat terlebih dahulu desainnya kemudian dilakukan penilaian dengan metode simulasi komputer. Beberapa perangkat lunak dapat digunakan sebagai alat untuk melakukan penilaian terhadap performa bangunan. Hal ini merupakan terobosan dalam proses desain, karena menyingkat waktu perancangan dan meminimalkan kesalahan dalam pembangunan.

1.3 Aspek Sosial

Sebuah desain yang baik tidak hanya peduli terhadap bangunannya, tetapi juga penghuninya. Bagaimana penghuni dapat merasakan kenyamanan, keselamatan dan kesehatan dalam bangunan tersebut. Aspek sosial dalam sebuah desain

terkait dengan ruang-ruang yang mendorong terjadinya interaksi. Arsitek dalam perancangan, biasanya akan membuat zonasi ruang. Mulai dari privat hingga publik. Ruang publik yang didesain memungkinkan pengguna untuk berinteraksi satu sama lain. Beberapa cara untuk mendorong adanya interaksi biasanya dengan membuat ruang publik berupa taman atau ruang terbuka. Di dalam bangunan, zona publik ini bisa berupa tempat untuk makan atau tempat untuk pertemuan. Dimensi sosial tidak berhenti pada ruang untuk orang normal. Ruang untuk disabilitas atau akses untuk orang dengan berkebutuhan khusus perlu juga dipikirkan dalam sebuah perancangan.

Proses perancangan yang dilakukan dengan memperhatikan aspek sosial akan melibatkan orang dan pengguna bangunan. Arsitek akan mendengarkan aspirasi mereka dan apa yang mereka inginkan sehingga hasil desain merupakan kesepakatan bersama bukan otorisasi arsitek.

1.4 Aspek Ekonomi

Aspek ekonomi dalam sebuah desain terkait dengan nilai jual sebuah desain. Mahal atau murahnya sebuah nilai bangunan ditentukan oleh faktor seperti material, tenaga kerja, dan biaya operasional. Material yang berkelanjutan biasanya material yang pembuatannya tidak menghabiskan energi banyak, minim pengolahan dan tidak terlalu jauh dari tapak atau lokasi pembangunan. Material yang diinginkan oleh pemilik proyek biasanya jauh di luar kota, atau di luar pulau bahkan harus impor. Biaya angkut dan perlindungan sudah memakan biaya yang tidak sedikit. Ini menjadi hal yang membuat anggaran bangunan menjadi mahal. Adanya detail atau desain khusus membutuhkan tenaga kerja yang terampil. Biaya yang dikeluarkan menjadi lebih mahal dari biasanya. Terakhir adalah biaya operasional. Biaya ini adalah hasil dari pemakaian bangunan saat sudah difungsikan. Biasanya biaya ini adalah biaya listrik, biaya air atau pun biaya pemeliharaan bangunan. Saat mendesain, perancang bangunan perlu memahami bahwa desain yang dibuat akan mempengaruhi biaya yang dikeluarkan. Misal, saat sebuah desain ingin mengusung konsep terbuka, hal ini diwujudkan dengan adanya

banyak fasad kaca tanpa memperhatikan *windows wall ratio* maupun orientasi bangunan. Hal ini akan berdampak pada penggunaan pendingin udara untuk mendinginkan udara dalam ruangan. Panas yang terjebak di dalam ruang akan memaksa kerja pendingin ruangan menjadi lebih keras.

1.5 Kaitan Aspek-aspek Keberlanjutan

Kaitan antara aspek ekonomi dengan aspek ekologi erat dalam hal sebab akibat. Bila aspek ekologi kurang diperhatikan, maka biaya pemeliharaan bangunan akan menjadi mahal. Konteks pernyataan sebab akibat ini terjadi saat sebuah bangunan sudah pasca huni. Perancangan dengan melibatkan banyak aspek ekologi pun kadang dapat menjadi mahal di awal. Teknologi material, solar panel dan sensor menjadi alat yang biasa digunakan bila ingin bangunannya dapat menjadi berkelanjutan. Perencanaan yang matang terhadap penggunaan alat-alat tersebut mungkin mengakibatkan biaya yang lebih besar di awal tapi hal ini menjadi investasi bukan pemborosan.

Kaitan antara aspek sosial dan aspek ekonomi menjadi hal yang tidak boleh dilupakan. Ruang-ruang yang didesain untuk fungsi sosial dapat juga digunakan untuk fungsi ekonomi. Contohnya adalah ruang terbuka hijau atau taman kota. Ruang yang terbentuk akan menciptakan interaksi. Saat banyak orang berkumpul biasanya, para pedagang akan datang menjajakan dagangannya. Hal ini akan berdampak pada ekonomi mikro. Dalam konteks bangunan, perancangan dengan menambahkan ruang sewa di bagian bawah menjadi nilai tambah tersendiri sehingga akan menunjang perekonomian pengguna bangunan. Dalam konteks urban, hal ini terjadi di pemukiman Kali Code yang diprakarsai oleh Y. B. Mangunwijaya. Masalah yang ada di sini sangat kompleks dan tidak bisa kita hanya memikirkan tentang kebersihan kalinya tetapi lebih ke bagaimana mengangkat harkat dan derajat masyarakat pinggir kali Code agar mereka dapat diterima di masyarakat. Y.B Mangunwijaya dan Willi Prasetya menjadi orang yang berperan penting dalam menggagas kegiatan tersebut. Mereka mencoba mengatur dan membuat kegiatan yang bertujuan meningkatkan derajat manusia dan tempat tinggal mereka.

DAFTAR PUSTAKA

- Syam, F. H., Wisdianti, D., Sajar, S., & Bahri, S. (2023). Study of sustainable architecture concepts. *International Journal of Research and Review*, 10(4), 419-430. <https://doi.org/10.52403/ijrr.20230450>
- Farrell, K., Remes, J., & Charles, A. (2013). *Fueling sustainable development: The emerging roles of energy efficiency* [PDF]. Alliance to Save Energy.
- Luqmanul Hakim, Albitya Helmi Arsitama, & Latansa Bima Amanta. (2023). Optimalisasi penggunaan energi bangunan masa kini (Studi kasus: Kampung Naga Tasikmalaya). Seminar Nasional Arsitektur Pertahanan/1023 – UPN “Veteran” Jawa Timur.
- Yeang, K. (2006). *The Green Skyscraper: The Basis for Designing Sustainable Intensive Buildings*. Prestel
- Steadman. (2008). *Arsitektur Organik*. Scribd. Diakses dari <https://id.scribd.com/document/284290520/ARSITEKTUR-ORGANIK>
- Purvis, B., Mao, Y., & Robinson, D. (2019). Three pillars of sustainability: A critical review. *Sustainability Science*, 14, 681–695. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5>

BAB 2

ISU GLOBAL DAN TANTANGAN LINGKUNGAN

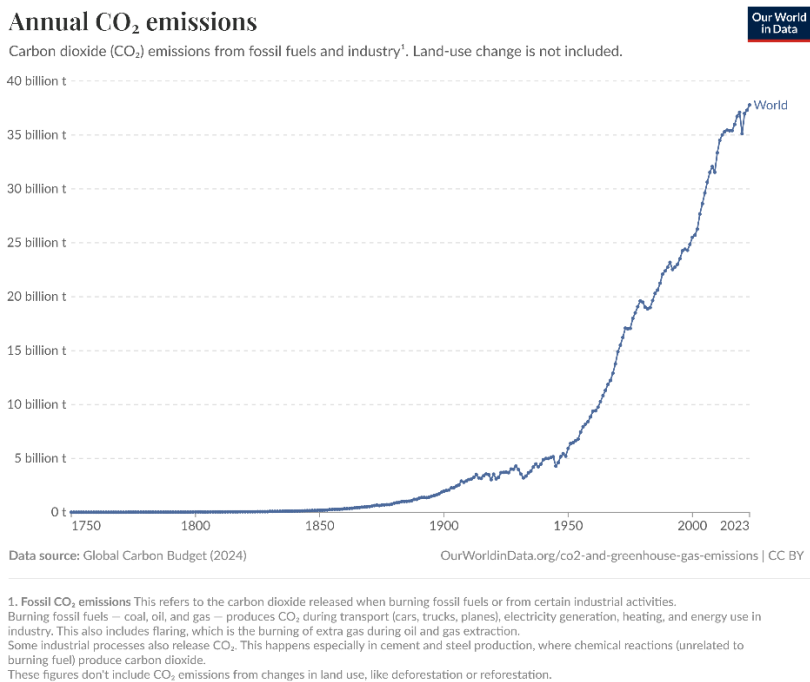
Oleh Wahyu Saputra

2.1 Pendahuluan

Dunia saat ini tengah menghadapi berbagai isu lingkungan berskala global yang semakin kompleks dan mendesak. Perubahan iklim, penurunan kualitas udara dan air, krisis energi, kepunahan keanekaragaman hayati, serta peningkatan volume limbah menjadi tantangan lintas batas yang berdampak langsung pada keberlanjutan kehidupan manusia. Konsekuensi dari kerusakan lingkungan ini tidak hanya memengaruhi ekosistem alami, tetapi juga memengaruhi cara manusia hidup, memproduksi, dan membangun ruang. Dalam konteks tersebut, arsitektur memiliki peran strategis dan tanggung jawab besar sebagai salah satu penggerak utama dalam menciptakan lingkungan binaan yang berkelanjutan (Guy and Farmer, 2001).

Arsitektur bukan hanya tentang bentuk dan fungsi, melainkan juga menyangkut hubungan antara bangunan dan lingkungannya. Secara global, pada tahun 2023 tercatat lebih dari 37 miliar ton emisi CO₂ yang dihasilkan dari hasil pembakaran bahan bakar fosil yang terjadi di seluruh dunia dan di Indonesia menghasilkan lebih dari 733 juta ton emisi CO₂ (Gambar 2.1). Sektor konstruksi bertanggung jawab atas sekitar 40% konsumsi energi global dan sekitar 30% emisi gas rumah kaca dunia. Penggunaan material dengan jejak karbon tinggi, sistem konstruksi yang tidak efisien, serta kurangnya strategi pengendalian energi dalam bangunan menjadi penyumbang signifikan terhadap krisis lingkungan saat ini. Pada 2023, sektor bangunan tetap menjadi penyumbang utama emisi CO₂ global sebesar 34% dimana emisi dari aktivitas terkait energi bangunan terdiri dari sekitar 16 persen dari operasi bangunan, 5 persen

dari (semen, baja, dan aluminium), serta sekitar 3 persen lagi terkait dengan kaca dan batu bata yang digunakan dalam konstruksi (Gambar 1.2).

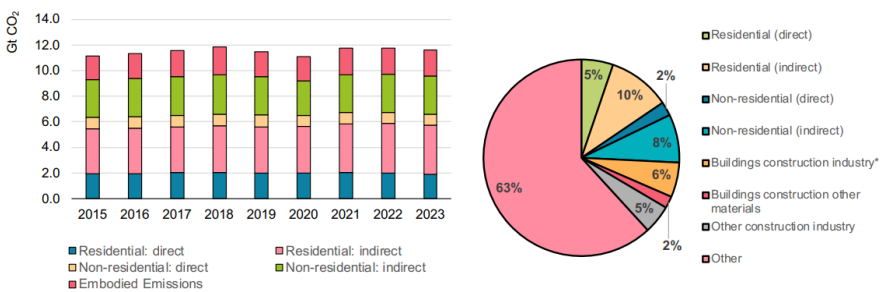


Gambar 2.1. Emisi CO₂ Pada Tahun 2023
(Sumber: Ritchie & Roser, 2025)

Emisi operasional bangunan mencapai rekor 9,8 gigaton CO₂, sementara emisi karbon yang dilepaskan menurun sedikit menjadi 1,9 gigaton. Meski ada peningkatan efisiensi dan energi terbarukan, pengurangan permintaan energi di sektor ini masih menjadi tantangan besar. Sektor bangunan diperkirakan menyumbang 11% dari potensi mitigasi emisi global pada 1035, setara dengan 4,2 GtCO₂e yang bisa dihindari (UNEP, 2024).

Seiring berkembangnya kesadaran akan krisis ekologis global, pendekatan arsitektur mengalami pergeseran paradigma. Kini, arsitektur tidak hanya diukur dari estetika dan fungsi ruang semata, melainkan juga dari seberapa besar kontribusinya

terhadap pelestarian lingkungan. Konsep keberlanjutan (*sustainability*), desain berbasis iklim lokal (*climate-responsive design*), efisiensi energi, serta penggunaan material ramah lingkungan menjadi komponen penting dalam perancangan masa kini (Yeang,2008).



Gambar 2.2. Emisi CO₂ Pada Tahun 2015-2023 (Kiri) dan Emisi Energi dan Proses Global Tahun 2023 (Kanan)
(Sumber: UNEP, 2024)

Isu-isu global menuntut arsitek untuk tidak hanya memahami konteks lokal, tetapi juga memperhatikan kondisi global yang memengaruhi tatanan lingkungan binaan. Lingkungan binaan yang dirancang arsitek merupakan bagian dari sistem ekologis buatan yang mengonsumsi sumber daya (material, air, energi) dan menghasilkan limbah (padat, cair, dan gas). Keputusan terhadap orientasi bangunan, pemilihan material, sistem ventilasi, hingga penanganan limbah domestik semuanya memiliki implikasi terhadap lingkungan alami dan kualitas hidup manusia.

Urbanisasi yang tidak terkendali menjadi tantangan besar lainnya dalam ranah arsitektur. Diperkirakan bahwa pada tahun 2050, lebih dari 68% populasi dunia akan tinggal di kawasan perkotaan (UN DESA, 2018). Hal ini meningkatkan kebutuhan akan hunian yang layak, infrastruktur kota yang efisien, serta ruang terbuka hijau yang mencukupi. Dalam situasi tersebut, arsitek dituntut untuk mengembangkan pendekatan desain yang inovatif, inklusif, dan berkelanjutan—baik dalam konteks perumahan, tata ruang, maupun lanskap kota.

Lebih jauh, arsitektur modern tidak dapat dilepaskan dari tanggung jawabnya dalam mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*), khususnya tujuan ke-11 tentang “Kota dan Komunitas yang Inklusif, Aman, Tangguh, dan Berkelanjutan”. Agenda ini menekankan pentingnya peran arsitektur dalam menciptakan kota yang adaptif terhadap perubahan iklim, hemat energi, serta ramah lingkungan (UN DESA, 2015).

Bab ini akan sedikit membahas berbagai isu lingkungan yang memengaruhi praktik arsitektur serta tantangan yang menyertainya dalam merancang bangunan yang tidak hanya estetis dan fungsional, tetapi juga bertanggung jawab secara ekologis. Dengan memahami isu-isu ini, para peneliti maupun praktisi arsitektur diharapkan mampu mengembangkan pemikiran kritis serta menerapkan prinsip keberlanjutan dalam setiap tahapan desain dan pembangunan lingkungan binaan.

2.2 Isu Global dan Tantangan dalam Arsitektur

Isu-isu global seperti perubahan iklim, krisis energi, degradasi lingkungan, krisis air, dan ketimpangan sosial menuntut respons mendalam dari dunia arsitektur. Dalam menghadapi kompleksitas ini, peran arsitek tidak lagi dapat dibatasi hanya pada aspek estetika dan fungsi ruang. Saat ini, arsitek dituntut untuk mengadopsi pendekatan yang jauh lebih holistik dan berkelanjutan, dengan mempertimbangkan seluruh siklus hidup bangunan, dampak ekologis, serta dimensi sosial-budaya dari lingkungan binaan.

Pendekatan holistik dalam arsitektur berarti bahwa desain tidak boleh dilakukan secara terpisah dari konteks ekologis, sosial, ekonomi, dan teknologi. Bangunan harus diperlakukan sebagai bagian dari sistem yang lebih luas, yaitu sistem perkotaan, sistem sosial, dan ekosistem bumi. Demikian pula, pendekatan keberlanjutan kini menjadi pilar utama dalam praktik arsitektur. Desain bangunan harus mampu meminimalkan konsumsi energi, memanfaatkan sumber daya terbarukan, mendukung konservasi air, serta mengurangi emisi karbon dan limbah konstruksi. Berbagai praktek desain

berkelanjutan saat ini haruslah didasarkan pada berbagai pertimbangan ekologi dan kemampuan untuk mengambil langkah perencanaan berbasis lingkungan yang berkelanjutan/jangka panjang (Kibert, 2016)

Pendekatan berkelanjutan juga menuntut perhatian terhadap keadilan spasial dan inklusi sosial. Hal ini berarti arsitektur perlu mendukung penciptaan ruang yang dapat diakses, dihuni, dan digunakan secara adil oleh seluruh lapisan masyarakat. Oleh sebab itu, desain bangunan di era ini harus menjawab tiga krisis sekaligus: krisis iklim, krisis sosial, dan krisis identitas ruang.

2.2.1 Pertumbuhan Penduduk dan Urbanisasi

Sejak awal abad ke-20, dunia telah mengalami pertumbuhan populasi yang sangat pesat. Pada tahun 1900, jumlah penduduk global diperkirakan hanya sekitar 1,6 miliar jiwa, namun pada tahun 2023 angka tersebut telah melampaui 8 miliar jiwa (UN, 2018). Lonjakan populasi ini sebagian besar dipicu oleh kemajuan dalam bidang kesehatan masyarakat, sanitasi, serta teknologi medis yang secara signifikan menurunkan angka kematian dan meningkatkan angka harapan hidup, terutama di negara-negara berkembang. Kemajuan ini menciptakan “lonjakan demografis” yang dalam beberapa dekade terakhir telah mengubah struktur sosial, ekonomi, dan spasial di seluruh dunia.

Meski laju pertumbuhan populasi mulai melambat di negara-negara maju akibat menurunnya angka kelahiran dan perubahan pola keluarga, tren ini belum terjadi secara merata secara global. Kawasan Asia Selatan, Asia Tenggara, dan terutama Afrika Sub-Sahara diproyeksikan akan mengalami peningkatan populasi yang signifikan hingga pertengahan abad ini. Menurut proyeksi terbaru dari PBB (*United Nation*), pada tahun 2015 populasi dunia diperkirakan akan mencapai hampir 10 miliar jiwa, dengan sekitar 90% dari pertambahan tersebut berasal dari kawasan Asia dan Afrika (UN, 2018; UN DESA, 2022).

Pertumbuhan populasi ini menimbulkan tekanan besar terhadap sumber daya alam, infrastruktur, dan kapasitas

lingkungan binaan, khususnya di kawasan urban yang mengalami pertumbuhan penduduk tercepat. Pertumbuhan populasi secara signifikan memperberat tekanan terhadap lingkungan, sehingga menjadi aspek penting yang harus diperhitungkan dalam perencanaan pembangunan berkelanjutan. Hal ini sangat krusial khususnya di negara-negara di mana laju urbanisasi sering tidak terkendali dan lingkungan rentan mengalami kerusakan ekologis (Jones and O'Neill, 2016). Ini menunjukkan bahwa lonjakan demografis bukan hanya tantangan statistik, tetapi juga persoalan ekologis dan spasial yang langsung berdampak pada praktik arsitektur, perencanaan kota, dan kebijakan pemanfaatan lahan.

Urbanisasi dan pertumbuhan populasi memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap praktik dan pemikiran arsitektur kontemporer. Kedua fenomena ini tidak hanya mengubah lanskap fisik kota, tetapi juga mendorong transformasi mendasar dalam pendekatan perancangan tata ruang, desain bangunan, serta penerapan prinsip keberlanjutan dalam arsitektur. Seiring bertambahnya jumlah penduduk, permintaan terhadap infrastruktur dasar, perumahan, ruang komersial, fasilitas publik, dan ruang terbuka hijau meningkat secara eksponensial. Akibatnya, kota-kota mengalami tekanan luar biasa terhadap ketersediaan lahan, efisiensi energi, dan sistem mobilitas.

Pertumbuhan jumlah penduduk yang cepat di kawasan perkotaan mendorong peningkatan kebutuhan terhadap hunian, jaringan infrastruktur, serta layanan publik. Kondisi ini menyebabkan perluasan wilayah kota baik secara horizontal melalui penyebaran permukiman (*urban sprawl*) maupun secara vertikal melalui pembangunan gedung bertingkat. Di sisi lain, dinamika ini menimbulkan tantangan baru, khususnya dalam menjaga keberadaan ruang terbuka hijau, pengelolaan tata guna lahan yang efektif, serta perlindungan terhadap aset budaya yang ada. Sejumlah studi menekankan bahwa arsitek perlu merancang bangunan dan ruang publik yang tidak hanya adaptif terhadap tingginya kepadatan penduduk, tetapi juga tetap memenuhi aspek kenyamanan, fungsi, aksesibilitas, berkembangnya

konsep *mix-used development*, inklusivitas (tersedia bagi beragam kelompok masyarakat, dan keberlanjutan (Kalli, Sahin and Rahbarianyazd, 2019; Sankovp *et al.*, 2021; Buttazzoni *et al.*, 2025).

Proses urbanisasi yang berlangsung secara cepat juga kerap kali menimbulkan tekanan terhadap eksistensi identitas lokal suatu kota. Percepatan pembangunan yang mengabaikan nilai-nilai historis dan budaya setempat berpotensi menciptakan keseragaman visual pada lingkungan binaan, yang pada akhirnya mengikis kekhasan arsitektur dan karakter kawasan tersebut. Dalam menghadapi tantangan ini, arsitek diharapkan mampu merespons dengan merancang lingkungan yang tidak hanya modern, tetapi juga merefleksikan nilai-nilai kultural lokal. Pendekatan seperti *urban regeneration* dan integrasi elemen arsitektur tradisional secara kontekstual menjadi strategi penting untuk memperkuat kembali makna ruang dan jati diri kota (Al-Ansi *et al.*, 2023).

2.2.2 Penipisan Sumber Daya (Energi, Air, dan Material)

Pertumbuhan kota dan permukiman yang tidak terkendali telah memberi tekanan besar terhadap sumber daya alam, terutama energi, air, dan material bangunan. Urbanisasi dan pembangunan infrastruktur dalam skala besar menyebabkan peningkatan konsumsi energi, produksi limbah konstruksi, dan eksploitasi material dalam jumlah yang masif. Sektor bangunan dan konstruksi memberikan andil besar pada pemakaian energi dari pada sektor lainnya. Sektor bangunan dan konstruksi menyumbang lebih dari 34% konsumsi energi global dan hampir 40% emisi karbon yang berhubungan dengan energi (UNEP, 2024). Dalam konteks ini, arsitektur memegang peranan strategis untuk mengurangi tekanan lingkungan melalui desain berkelanjutan dan pemilihan material yang bijak.

Industri konstruksi juga menyumbang sekitar 30% limbah padat global, yang sebagian besar berasal dari sisa bahan bangunan dan pembongkaran struktur lama (Kibert, 2016). Oleh karena itu, praktik arsitektur harus mendorong pemanfaatan material ramah lingkungan dan teknik konstruksi efisien. Salah

satu pendekatan penting dalam mengevaluasi dampak lingkungan dari material adalah *Life Cycle Assessment* (LCA), yang mempertimbangkan jejak ekologis dari ekstraksi bahan mentah hingga tahap akhir daur hidupnya (Cabeza *et al.*, 2014). Selain itu, keberadaan *Environmental Product Declaration* (EPD) memungkinkan arsitek membuat keputusan berdasarkan data transparan dan terukur (González and García Navarro, 2006).

Krisis air juga menjadi tantangan besar bagi arsitektur. Penggunaan sistem pemanenan air hujan, daur ulang grey water, dan perangkat sanitasi hemat air kini menjadi bagian dari standar desain bangunan hijau (Vieira *et al.*, 2014; Luo *et al.*, 2021). Efisiensi air dalam desain tidak hanya berkontribusi terhadap konservasi lingkungan, tetapi juga memperkuat ketahanan kota terhadap risiko kekeringan dan perubahan iklim.

Pengurangan konsumsi energi dalam bangunan dapat dicapai melalui kombinasi desain pasif dan teknologi aktif. Strategi desain pasif seperti ventilasi silang, pencahayaan alami, *shading*, dan insulasi termal alami mampu menurunkan kebutuhan energi operasional (Sadineni, Madala and Boehm, 2011). Di sisi lain, teknologi aktif seperti panel surya, sistem HVAC efisien, dan kontrol pintar bangunan (*smart building systems*) memberikan kontribusi signifikan dalam menurunkan emisi dan biaya operasional (Attia, 2018).

Dalam konteks arsitektur tropis, pendekatan iklim-responsif menjadi sangat relevan. Penggunaan material lokal dengan daya pantul rendah dan kemampuan menyimpan panas rendah, seperti bata tanah, kayu olahan, dan bambu, terbukti lebih ramah lingkungan dan ekonomis dibanding material industri konvensional (DeKay and Brown, 2014; Nguyen, Reiter and Rigo, 2014). Hal ini tidak hanya mendukung keberlanjutan ekologis, tetapi juga memperkuat identitas arsitektur lokal. Secara keseluruhan, keterbatasan sumber daya alam mengharuskan manusia untuk mengambil peran aktif dalam perancangan bangunan yang efisien, adaptif, dan bertanggung jawab secara lingkungan. Desain yang berorientasi keberlanjutan, efisiensi energi, konservasi air, serta pemilihan

material berbasis LCA dan EPD, menjadi fondasi utama dalam menjawab tantangan ekologis masa kini dan mendatang.

2.2.3 Ketimpangan Sosial dan Akses Terhadap Perumahan Berkelanjutan

Ketimpangan sosial dan keterbatasan akses terhadap perumahan berkelanjutan merupakan tantangan struktural yang semakin menonjol dalam konteks urbanisasi global yang berlangsung pesat namun tidak merata. Laju pertumbuhan penduduk perkotaan sering kali tidak disertai dengan distribusi sumber daya yang proporsional, menciptakan kesenjangan tajam antara kelompok masyarakat dalam hal akses terhadap hunian layak, kualitas lingkungan hidup, dan hak atas ruang binaan yang sehat. Dalam ranah arsitektur dan perencanaan kota, isu ini tidak sekadar berkutat pada kuantitas penyediaan unit hunian, melainkan juga pada kualitas desain, keberlanjutan material, efisiensi energi, serta keterjangkauan biaya secara jangka panjang.

Masalah ini bersifat multidimensi, mencakup aspek ekonomi, sosial, politik, dan lingkungan yang saling berinteraksi. Secara ekonomi, kenaikan harga lahan dan biaya konstruksi di pusat-pusat kota menyebabkan kelompok masyarakat berpenghasilan rendah semakin sulit mengakses perumahan yang layak. Praktik spekulasi lahan dan ketimpangan pendapatan memperparah kondisi ini. Dari sisi sosial-politik, lemahnya tata kelola pemerintahan dan absennya kebijakan perumahan yang inklusif menyebabkan kelompok rentan—seperti buruh migran, penyandang disabilitas, dan perempuan kepala keluarga—kian termarginalisasi dalam hak atas tempat tinggal yang aman. Selain itu, ketidakjelasan status hukum migran serta fragmentasi antar-lembaga pemerintah semakin memperburuk kondisi aksesibilitas perumahan di kota-kota berkembang.

Secara lingkungan, banyak kelompok miskin kota tinggal di kawasan rawan bencana dengan infrastruktur yang tidak memadai, seperti ketiadaan sistem sanitasi, air bersih, dan listrik yang stabil. Hunian informal tersebut umumnya tidak dirancang dengan mempertimbangkan prinsip keberlanjutan, sehingga

berkontribusi pada peningkatan konsumsi energi, degradasi lingkungan, dan rendahnya kualitas hidup. Kombinasi faktor-faktor ini menciptakan lingkaran setan kemiskinan dan eksklusi spasial yang sulit diputus, kecuali melalui pendekatan kebijakan dan desain yang bersifat holistik, inklusif, dan berbasis keadilan sosial.

Lebih jauh, isu ini memiliki keterkaitan langsung dengan pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya Tujuan 11 yang menekankan pentingnya menjadikan kota dan permukiman manusia inklusif, aman, tangguh, dan berkelanjutan. Sayangnya, berbagai studi menegaskan bahwa sistem penyediaan perumahan yang digerakkan oleh pasar cenderung gagal menjawab kebutuhan kelompok miskin, terutama di kota-kota dengan pertumbuhan cepat di negara-negara Selatan Global (Turok and Borel-Saladin, 2016).

Dalam konteks ini, arsitektur berkelanjutan memegang peranan penting sebagai medium untuk menjembatani kesenjangan spasial dan sosial. Pendekatan desain yang inklusif dan partisipatif memungkinkan penyediaan hunian yang tidak hanya layak secara fisik, tetapi juga adil secara sosial dan ekologis. Salah satu pendekatan yang terbukti efektif adalah penggunaan sistem desain modular hemat biaya, yang memungkinkan konstruksi cepat, terukur, dan adaptif terhadap berbagai kebutuhan keluarga perkotaan berpenghasilan rendah. Pemanfaatan material lokal yang berkelanjutan juga penting dalam menekan jejak karbon konstruksi sekaligus mendukung ekonomi lokal. Integrasi sumber energi terbarukan—seperti sistem tenaga surya atau teknik pendinginan pasif—berkontribusi pada pengurangan biaya operasional bagi penghuni. Dalam studi-studi desain berbasis komunitas (*community-based design*), partisipasi masyarakat dalam proses perencanaan terbukti meningkatkan efektivitas, rasa kepemilikan, dan keberlanjutan sosial proyek perumahan (Johnson, Allen and Jabeen, 2009).

Penerapan pendekatan tersebut mencerminkan model arsitektur yang tidak hanya menyelesaikan masalah fisik hunian, tetapi juga berkontribusi pada pembangunan sosial-ekologis

yang adil. Broers et al. menekankan bahwa perumahan seharusnya dilihat sebagai fondasi keadilan sosial, bukan sekadar produk pasar. Desain fleksibel, pemanfaatan teknologi sederhana yang dapat direplikasi, serta integrasi ruang komunal yang mendukung interaksi sosial adalah elemen-elemen penting dalam menciptakan perumahan yang tangguh secara sosial dan ekologis.

Dengan demikian, arsitektur berkelanjutan yang menggabungkan inovasi teknis dengan strategi inklusif berbasis komunitas merupakan kunci untuk mengatasi tantangan ketimpangan akses terhadap perumahan. Pendekatan ini memastikan bahwa perumahan tidak hanya memenuhi standar kelayakan fisik, tetapi juga menjadi wahana untuk memperkuat solidaritas sosial dan keberlanjutan lingkungan dalam jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Ansi, N.A. *et al.* (2023) 'Impacts of Urban Growth Policy on Loss of Identity in Expanding Saudi Cities: A Case Study of Buraydah', *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 18(10), pp./1975–2987. Available at: <https://doi.org/10.18280/ijstdp.181001>.
- Attia, S. (2018) *Net Zero Energy Buildings (NZEB): Concepts, Frameworks and Roadmap for Project Analysis and Implementation*. Butterworth-Heinemann.
- Broers, W. *et al.* (2022) 'Justice in social housing: Towards a people-centred energy renovation process', *Energy Research and Social Science*, 88. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102527>.
- Buttazzoni, A. *et al.* (2025) 'Urbanization, housing, and inclusive design for all? A community-based participatory research investigation of the health implications of high-rise environments for adolescents', *Cities*, 160. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2025.105809>.
- Cabeza, L.F. *et al.* (2014) 'Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, pp. 394–416. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037>.
- DeKay, M. and Brown, D.Z. (2014) *Sun, Wind, and Light: Architectural Design Strategies*. Third. Wiley.
- González, M.J. and García Navarro, J. (2006) 'Assessment of the decrease of CO2 emissions in the construction field through the selection of materials: Practical case study of three houses of low environmental impact', *Building and Environment*, 41(7), pp. 902–909. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.006>.
- Guy, S. and Farmer, G. (2001) 'Reinterpreting Sustainable Architecture: The Place of Technology', *Journal of Architectural Education*, 54(3), pp. 140–148.
- Johnson, C., Allen, A. and Jabeen, H. (2009) 'Built-in resilience: Learning from urban grassroots coping strategies to

- climate variability', in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, p. 332022. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1307/6/3/332022>.
- Jones, B. and O'Neill, B.C. (2016) 'Spatially explicit global population scenarios consistent with the Shared Socioeconomic Pathways', *Environmental Research Letters*, 11(8). Available at: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/8/084003>.
- Kalli, D., Sahin, Ü. and Rahbarianyazd, R. (2019) 'Impact of Rapid Urbanization on Urban Morphology of Coastal Cities-The Case of Alanya City', in *International Conference on Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism (ICCAUA-2019)*. Alanya HEP University.
- Kibert, C.J. (2016) *Sustainable Construction: Green Building Design And Delivery*. Fourth. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Luo, C. *et al.* (2021) 'A novel methodology to select sustainable municipal solid waste management scenarios from three-way decisions perspective', *Journal of Cleaner Production*,/180. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124312>.
- Nguyen, A.T., Reiter, S. and Rigo, P. (2014) 'A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis', *Applied Energy*. Elsevier Ltd, pp. 1043–1058. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.061>.
- Ritchie, H. and Roser, M. (2025) *CO₂ emissions: How much CO₂ does the world emit?, Which countries emit the most?* Available at: <https://ourworldindata.org/co2-emissions> (Accessed:/19 July/1025).
- Sadineni, S.B., Madala, S. and Boehm, R.F. (2011) 'Passive building energy savings: A review of building envelope components', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, pp. 3617–3631. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.014>.

- Sankovp, P. *et al.* (2021) 'Urbanization and New Tasks in Architecture', *IJISET-International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 8(1). Available at: www.ijiset.com.
- Turok, I. and Borel-Saladin, J. (2016) 'Backyard shacks, informality and the urban housing crisis in South Africa: stopgap or prototype solution?', *Housing Studies*, 31(4), pp. 384–409. Available at: <https://doi.org/10.1080/02673037.2015.1091921>.
- UN (2018) *World Urbanization Prospects The/1018 Revision*.
- UN DESA (2015) *Transforming our World: The/1030 Agenda for Sustainable Development*.
- UN DESA (2018) *World Urbanization Prospects: The/1018 Revision*.
- UN DESA (2022) *World Population Prospects/1022 : Summary of Results*.
- UNEP (2024) *Global Status Report for Buildings and Construction/1024/25 Not just another brick in the wall*.
- Vieira, A.S. *et al.* (2014) 'Energy intensity of rainwater harvesting systems: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, pp./125–242. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.012>.
- Yeang, K. (2008) *Eco-Design: A Manual for Ecological Design*. John Wiley & Sons.

BAB 3

ARSITEKTUR HIJAU VS ARSITEKTUR BERKELANJUTAN

Oleh Asri Afriliany Surbakti

3.1 Pendahuluan

Dalam menghadapi tantangan pemanasan global, para pelaku di bidang konstruksi, termasuk arsitek, memiliki peran penting dalam merespons perubahan iklim dengan merancang bangunan yang mampu menciptakan hunian yang nyaman dan layak huni. Industri konstruksi menggunakan energi, air, dan sumber daya alam dalam jumlah besar serta menghasilkan limbah dalam volume yang tinggi (Surbakti. AA, 2021). Oleh karena itu, perancangan bangunan yang tepat dan responsif terhadap lingkungan sangat penting untuk membantu mengendalikan peningkatan suhu sekitar tanpa harus bergantung sepenuhnya pada sumber energi tak terbarukan. Untuk menciptakan suhu yang nyaman pada penghuni bangunan, prinsip arsitektur hijau (*green architecture*) dan arsitektur berkelanjutan (*sustainable architecture*) sering digunakan pada dunia arsitektur. Meskipun keduanya memiliki fokus pada lingkungan, terdapat perbedaan konseptual yang penting dalam pendekatan dan ruang lingkup penerapannya (Kibert, 2016).

Arsitektur hijau merupakan arsitektur yang berwawasan lingkungan, yang artinya selama pembangunan, selama waktu manfaat gedung, bahkan pasca pemanfaatan, gedung direncanakan dan dirancang seminimal mungkin memberikan dampak negatif terhadap lingkungan (Kusumawanto, 2014). Fokus utama pendekatan ini adalah efisiensi energi, konservasi air, pengelolaan limbah, dan penggunaan material ramah lingkungan (Santosa, 2011). Arsitektur hijau merupakan salah satu konsep bangunan keberlanjutan yang erat kaitannya untuk mewujudkan konsep *green building* (Fisikanta Bukit, 2023)

Arsitektur berkelanjutan memiliki pendekatan yang lebih luas, dimana arsitektur berkelanjutan tidak hanya mempertimbangkan faktor lingkungan, tetapi juga dimensi sosial dan ekonomi dalam seluruh siklus hidup bangunan (McLennan, 2004). Oleh karena itu, arsitektur hijau dapat dipandang sebagai bagian dari arsitektur berkelanjutan, namun belum sepenuhnya mencerminkan keberlanjutan jika tidak memperhatikan aspek sosial dan ekonomi. Bab ini bertujuan menguraikan perbedaan dan persamaan antara arsitektur hijau dan arsitektur berkelanjutan, sehingga memiliki pemahaman yang mendalam dalam merancang bangunan dan lingkungan yang lebih bertanggung jawab dan berkelanjutan.

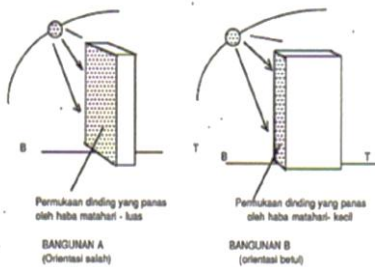
3.2 Definisi dan Prinsip Arsitektur Hijau

Arsitektur hijau adalah pendekatan desain bangunan yang mengutamakan efisiensi sumber daya alam energi, air dan material, dan meminimalkan dampak lingkungan, dengan penggunaan material ramah lingkungan serta sistem pencahayaan dan ventilasi alami guna meningkatkan kenyamanan penghuni. Untuk memenuhi tujuannya dalam mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, berikut adalah prinsip dalam merancang arsitektur hijau:

1. Menghemat energi melalui desain bangunan yang mampu membatasi masuknya radiasi panas matahari secara berlebihan.

Rancangan yang dapat dilakukan dengan menghemat energi melalui desain bangunan adalah:

- a. Orientasi bangunan terhadap matahari dan angin. Desain bangunan perlu mempertimbangkan keseimbangan antara kebutuhan terhadap panas matahari saat cuaca sejuk dan upaya menghindari radiasi berlebih saat cuaca panas. Di wilayah tropis lembap seperti Indonesia, orientasi dan bentuk bangunan sangat memengaruhi kenyamanan termal. Perencanaan dengan mengarahkan bangunan memanjang ke utara-selatan dapat meminimalkan paparan langsung dari sisi timur dan barat (gambar 3.1 dan gambar 3.2).

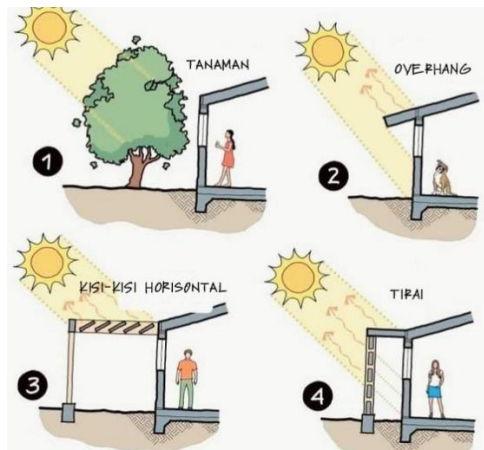


Gambar 3.1. Ilustrasi Orientasi Bangunan Terhadap Matahari(Sumber: Samsuddin, 2017)



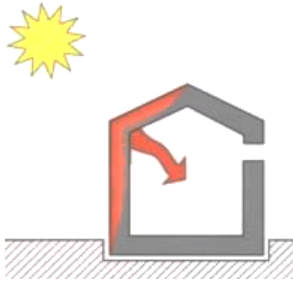
Gambar 3.2. Orientasi Bangunan ke Arah Utara - Selatan (Sumber: Karyono, 2006)

- b. Meminimalkan radiasi panas dari matahari. Beberapa cara yang dapat dilakukan agar meminimalkan radiasi panas matahari masuk ke bangunan, yaitu: membuat dinding lapis yang diberi ventilasi pada rongganya (gambar 3.4), memberi ventilasi antara atap dan plafon (gambar 3.5), menghindari efek rumah kaca dengan meminimalkan cahaya matahari mengenai kaca (gambar 3.3).

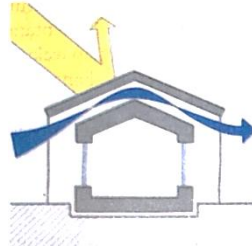


Gambar 3.3. Menghindari Efek Rumah Kaca

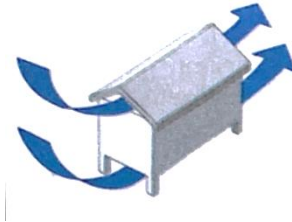
Sumber: <https://www.aveharysakti.com/2024/11/penggunaan-overhang-dan-sunshading-strategi-desain-pasif-iklim-tropis.html>



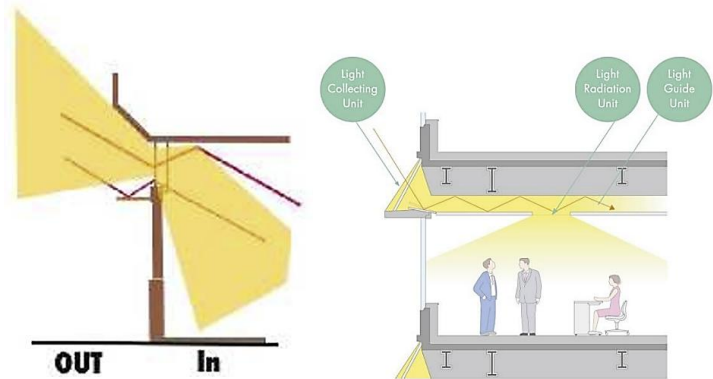
Gambar 3.4. Dinding Lapis yang Diberi Ventilasi
(Sumber: Karyono, 2006)



Gambar 3.5 Ventilasi Antara Atap dan Plafon
(Sumber: Karyono, 2006)



- c. Memanfaatkan cahaya langit untuk menerangi ruang dalam bangunan. Cahaya langit adalah cahaya matahari yang tidak langsung dipancarkan dari sinar matahari, sehingga cahaya langit tidak memberikan panas terhadap ruangan (Gambar 3.6).



Gambar 3.6. Memanfaatkan Cahaya Langit (Cahaya Matahari Tidak Langsung)

(Sumber: Bunawardi, 2021 dan Magdalena, 2016)

- d. Meminimalkan penggunaan material keras pada halaman, karena ketika terkena paparan sinar matahari secara langsung, material tersebut dapat menyerap dan memantulkan panas yang berlebihan, sehingga meningkatkan suhu di sekitar bangunan dan menyebabkan ruangan dalam rumah menjadi lebih panas. (Gambar 3.6).



Gambar 3.7 Meminimalkan Penggunaan Material Keras pada Halaman

Sumber: <https://www.99.co/id/panduan/inspirasi-taman-belakang-rumah/>

2. Memanfaatkan energi terbarukan sebagai sumber energi baru.

Energi terbarukan merupakan energi yang dihasilkan dari sumber yang keberadaannya kontiniu atau dengan cepat dapat diperbaharui. Energi terbarukan cenderung ramah lingkungan, mengemisi CO₂ dan gas rumah kaca lain dalam presentase rendah (Karyono, 2010).

3. Menggunakan material terbarukan dan sehat.

Material yang dapat diperbarui (*renewable*) umumnya berasal dari sumber vegetatif yang dapat dibudidayakan kembali, seperti kayu, bambu, dan daun-daunan. Jika pemanfaatan material ini dilakukan secara berkelanjutan, misalnya dengan menanam kembali sesuai jumlah yang dimanfaatkan, maka keberlanjutannya dapat terjaga, dan material tersebut sangat dianjurkan untuk digunakan dalam konstruksi bangunan.

Selain itu, material vegetatif ini tidak menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂) selama proses pertumbuhannya, bahkan sebaliknya, justru menyerap CO₂ dari atmosfer. Oleh karena itu, penerapan material jenis ini dalam pembangunan dapat berkontribusi dalam mengurangi emisi karbon ke lingkungan.

4. Menggunakan material bekas dan mendaur ulang material bekas.

Material bekas adalah material yang berasal dari pembongkaran bangunan atau struktur yang telah digunakan sebelumnya. Material ini juga dikenal sebagai material sisa konstruksi, yang apabila tidak dikelola dengan baik, berpotensi menjadi sampah dan berakhir sebagai limbah. Untuk meminimalkan limbah, perlu dilakukan pengelolaan sejak tahap awal, mulai dari pemilihan bahan bangunan hingga proses pembangunan secara menyeluruh (Surbakti. AA, 2022). Tidak semua material bekas dapat dimanfaatkan kembali, namun sebagian diantaranya seperti kusen, bata, beton, atau rangka atap umumnya masih layak

untuk digunakan ulang. Pemanfaatan material bekas ini dapat mengurangi kebutuhan energi dalam proses produksi material baru. Artinya, material bekas seolah-olah tidak membutuhkan energi tambahan, karena energi produksinya telah dikonsumsi saat material tersebut pertama kali dibuat dan digunakan. Material beton atau bata tidak dapat digunakan untuk fungsi yang sama, namun dapat digunakan kembali sebagai lapisan pemadatan tanah, baik di area dalam maupun luar bangunan dengan menghancurkan beton dan baja tersebut.

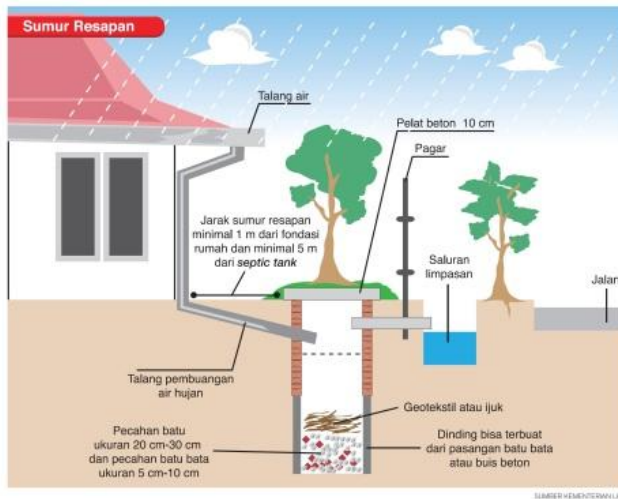
Ada juga jenis material konstruksi yang dapat diproses kembali melalui daur ulang untuk menghasilkan produk yang sama maupun jenis material baru. Material seperti logam, besi, dan plastik, dapat dilebur ulang untuk dijadikan bahan bangunan serupa atau digunakan dalam bentuk lain. Berbeda dengan material bekas yang umumnya tetap digunakan untuk fungsi yang sama dalam bangunan. material hasil daur ulang lebih sering dimanfaatkan untuk tujuan berbeda dari fungsi aslinya.

5. Efisiensi air

Prinsip pengelolaan air dalam arsitektur hijau menekankan pada dua aspek utama, yaitu optimalisasi peresapan air hujan dan efisiensi penggunaan air. Desain sistem peresapan air hujan diarahkan agar air hujan dapat meresap secara maksimal ke dalam tanah, sehingga mampu mengurangi risiko genangan saat curah hujan tinggi. Pendekatan ini dapat dicapai melalui minimalisasi penggunaan permukaan kedap air (*impermeabel*) pada ruang terbuka. Pada area tertentu yang memerlukan perkerasan, seperti lahan parkir, dianjurkan penggunaan *grass block* atau *concrete block* berongga agar air hujan tetap dapat meresap ke dalam tanah.

Strategi efisiensi penggunaan air mencakup pemanfaatan air hujan dan air sisa dari aktivitas fisik bangunan. Air hujan dapat dimanfaatkan langsung dengan menampung air hujan pada tangki atau bak penampungan,

untuk kemudian digunakan pada kebutuhan yang tidak dikonsumsi seperti air untuk menyiram toilet (*toilet flushing*), irigasi tanaman, serta pembersihan area eksterior. Selain itu, pemanfaatan air hujan secara tidak langsung dapat digunakan dengan penerapan sumur resapan memungkinkan air hujan diserap ke dalam tanah dan mengisi kembali cadangan air tanah, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber air bersih untuk kebutuhan domestik seperti air minum, mandi, dan aktivitas lainnya.



Gambar 3.8. Sumur Resapan
(Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup, 2009)

Dalam upaya pemanfaatan kembali air sisa dari bangunan, air sisa bangunan yang dapat dimanfaatkan kembali yaitu air bekas dari wastafel, shower dan mesin cuci. Pada dasarnya, memanfaatkan kembali air sisa dari bangunan sama dengan memanfaatkan air hujan secara langsung, yaitu untuk keperluan tanaman, flushing toilet, pendingin udara dan membersihkan area eksterior bangunan.

3.3 Definisi dan Prinsip Arsitektur Berkelanjutan

Arsitektur berkelanjutan (*sustainable architecture*) adalah pendekatan desain yang tidak hanya mempertimbangkan dampak lingkungan, tetapi juga mencakup dimensi sosial dan ekonomi dari suatu pembangunan. Pendekatan ini mencakup keseluruhan siklus hidup bangunan, mulai dari perencanaan, konstruksi, penggunaan, pemeliharaan, hingga pembongkaran. Tujuannya adalah untuk memenuhi kebutuhan generasi masa kini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang dalam memenuhi kebutuhannya sendiri (Yeang, 2006). Berikut adalah prinsip dalam mewujudkan arsitektur berkelanjutan menurut Ardiani (2015) :

1. Mempertahankan ekologi kota

Berbeda dengan arsitektur hijau yang umumnya berfokus pada efisiensi energi dan penggunaan material ramah lingkungan, arsitektur berkelanjutan memiliki cakupan yang lebih luas dalam memperhatikan dampak ekologis secara menyeluruh. Arsitektur berkelanjutan tidak hanya mempertimbangkan aspek bangunan secara fisik, tetapi juga memperhitungkan konsekuensi jangka panjang terhadap lingkungan dan keberlanjutan ekosistem disekitarnya. Konsep ini mengedepankan prinsip keadilan ekologis, yaitu bahwa seluruh makhluk hidup memiliki hak yang setara untuk hidup dan berkembang, sehingga keseimbangan rantai makanan dan kelangsungan hayati harus dijaga guna mencegah kepunahan spesies.

Beberapa kriteria arsitektur berkelanjutan dalam upaya pelestarian ekologi perkotaan meliputi:

- a. Penanaman vegetasi di lahan terbuka maupun pada struktur bangunan, seperti atap hijau (*green roof*), sebagai sarana resapan air dan pendukung keanekaragaman hayati.
- b. Memaksimalkan ruang terbuka hijau sebagai area tangkapan air hujan dan habitat alami untuk mempertahankan kelangsungan ekosistem lokal.
- c. Pembatasan ekspansi horizontal pembangunan melalui pendirian bangunan vertikal (bangunan tinggi), guna

meminimalkan alih fungsi lahan dan tetap menyediakan ruang hidup bagi makhluk hidup lainnya.

2. Strategi energi

Pengelolaan energi dalam arsitektur berkelanjutan memiliki posisi sentral karena konsumsi energi bangunan merupakan kontributor utama terhadap emisi karbon dan dampak lingkungan jangka panjang. Baik dalam arsitektur hijau maupun arsitektur berkelanjutan, strategi energi umumnya diterapkan melalui dua pendekatan utama, yaitu strategi pasif dan strategi aktif. Strategi aktif dalam arsitektur hijau berfokus pada efisiensi sistem teknis, seperti orientasi bangunan terhadap arah matahari dan aliran angin dominan, pengurangan paparan langsung terhadap radiasi matahari untuk mengurangi beban pendinginan, pemanfaatan pencahayaan alami melalui cahaya langit (*daylighting*), serta pengurangan penggunaan material keras di area lansekap.

Namun, perbedaan arsitektur hijau dan arsitektur berkelanjutan tampak pada strategi pasif, yang tidak hanya terbatas pada efisiensi energi di tingkat bangunan, tetapi juga mempertimbangkan keberlanjutan dalam skala yang lebih luas dan jangka panjang. Arsitektur berkelanjutan mendukung energi terbarukan di tingkat bangunan dan kawasan, dengan teknologi dan kebijakan yang ramah lingkungan dan bermanfaat bagi masyarakat. Dengan demikian, arsitektur berkelanjutan menempatkan energi sebagai bagian dari sistem yang berkesinambungan dan berkeadilan, bukan sekadar aspek teknis yang dioptimalkan secara individual.

Beberapa kriteria strategi energi dalam arsitektur berkelanjutan antara lain:

- a. Perencanaan kawasan agar listrik dan energi bisa digunakan secara hemat dan bersama oleh semua bangunan.
- b. Pemanfaatan panel surya untuk mengubah energi matahari menjadi listrik guna memenuhi kebutuhan energi bangunan.

- c. Penggunaan peralatan elektronik berdaya rendah dan efisiensi tinggi.
- d. Menggunakan elektronik dengan sistem yang bekerja otomatis di dalam bangunan.
- e. Penggunaan energi alternatif dari hasil olahan limbah organik, seperti *biofuel* dan biogas.
- f. Perancangan bangunan dengan sistem penghawaan alami untuk mengurangi ketergantungan terhadap sistem pendingin mekanik.

3. Strategi air

Pengelolaan air merupakan aspek penting dalam arsitektur berkelanjutan karena air merupakan sumber daya terbatas yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan dan kegiatan bangunan. Dalam pendekatan berkelanjutan, air tidak hanya dilihat sebagai kebutuhan harian, tetapi dikelola sebagai bagian dari sistem yang mendukung keseimbangan lingkungan dan ketahanan sumber daya jangka panjang. Pendekatan ini mencakup pemanfaatan air secara efisien, daur ulang air limbah, serta pengendalian aliran air permukaan agar tidak menimbulkan banjir atau kerusakan lingkungan. Dibandingkan dengan arsitektur hijau, yang lebih berfokus pada penghematan air dalam lingkup bangunan melalui perangkat hemat air atau efisiensi pemakaian, arsitektur berkelanjutan memiliki cakupan yang lebih luas karena turut mempertimbangkan aspek sosial, ekologis, dan sistem alam secara keseluruhan dalam pengelolaan air.

Beberapa strategi dan kriteria penerapan pengelolaan air dalam desain arsitektur berkelanjutan antara lain:

- a. Merancang sistem pemanfaatan air yang hemat, misalnya dengan menggunakan kran bertekanan rendah atau toilet dengan dua tombol siram.
- b. Mengumpulkan air hujan melalui sistem talang dan tangki penampung untuk dimanfaatkan kembali.
- c. Menggunakan kembali air dari wastafel atau shower untuk menyiram taman.

- d. Menyediakan area resapan air seperti taman hujan yang mendukung infiltrasi.
- e. Mengurangi ketergantungan terhadap air tanah dengan mencari alternatif sumber air yang lebih berkelanjutan.

4. Strategi Limbah

Berbeda dengan arsitektur hijau yang umumnya hanya menitikberatkan pada pemanfaatan kembali limbah material bangunan selama tahap konstruksi, arsitektur berkelanjutan mengembangkan pendekatan yang lebih komprehensif dalam pengelolaan limbah. Pendekatan ini mencakup perencanaan dan perancangan sistem pengelolaan limbah yang bertanggung jawab terhadap lingkungan, tidak hanya selama proses pembangunan, tetapi juga selama masa operasional dan pemeliharaan bangunan. Arsitektur berkelanjutan berupaya untuk meminimalkan volume limbah yang dihasilkan melalui strategi manajemen limbah yang efisien, baik dalam bentuk limbah padat maupun cair. Hal ini dilakukan dengan merancang sistem pembuangan dan pemrosesan limbah yang memungkinkan limbah tersebut untuk dimanfaatkan kembali, diolah ulang, atau dikonversi menjadi sumber daya alternatif.

Adapun kriteria strategi pengelolaan limbah dalam arsitektur berkelanjutan:

- a. Menggunakan kembali komponen bangunan dari proyek sebelumnya (seperti baja, kayu, bata, atau kaca), serta memanfaatkan material hasil daur ulang dalam konstruksi baru untuk mengurangi kebutuhan material baru dan menekan limbah konstruksi.
- b. Merancang dan memilih material serta metode konstruksi yang menghasilkan limbah seminimal mungkin.
- c. Menerapkan sistem konstruksi yang memungkinkan elemen bangunan dibongkar dan digunakan kembali dimasa mendatang, guna meminimalisasi limbah *pasca* fungsi bangunan.

- d. Mengolah limbah organik padat dan cair dari aktivitas bangunan menjadi energi terbarukan, seperti biomassa dan *biofuel*, yang dapat digunakan untuk mendukung operasional bangunan secara berkelanjutan.

5. Material

Strategi penggunaan material merupakan salah satu pilar penting dalam arsitektur keberlanjutan karena pemilihan, pengolahan, dan siklus hidup material sangat memengaruhi dampak lingkungan suatu bangunan. Dalam arsitektur hijau, strategi material umumnya berfokus pada penggunaan bahan yang ramah lingkungan, tidak beracun, dapat di daur ulang, serta memiliki jejak karbon rendah. Pendekatan ini cenderung menekankan efisiensi energi selama proses produksi dan penggunaannya pada bangunan. Namun, arsitektur berkelanjutan memiliki cakupan yang lebih luas dibandingkan arsitektur hijau. Selain mempertimbangkan faktor lingkungan, arsitektur berkelanjutan juga memperhatikan aspek sosial dan ekonomi dalam penggunaan material, seperti ketersediaan lokal, kemudahan perawatan, nilai budaya, serta dampaknya terhadap kesejahteraan masyarakat sekitar.

Perbedaan utamanya terletak pada pendekatan jangka panjang: arsitektur hijau mungkin memilih material berdasarkan standar ramah lingkungan, sedangkan arsitektur berkelanjutan melihat bagaimana suatu material dapat digunakan secara bertanggung jawab sepanjang siklus hidup bangunan—mulai dari produksi, penggunaan, pemeliharaan, hingga pembongkaran. Strategi material dalam arsitektur berkelanjutan juga mendorong penggunaan material lokal untuk mengurangi emisi dari transportasi, serta memanfaatkan material bekas atau hasil daur ulang guna mengurangi limbah konstruksi.

Beberapa kriteria penerapan strategi material dalam arsitektur berkelanjutan antara lain:

- a. Memilih material yang tahan lama dan mudah diperbaiki, sehingga mengurangi kebutuhan penggantian.

- b. Menggunakan material lokal atau regional untuk menekan emisi pengangkutan dan mendukung ekonomi setempat.
- c. Memanfaatkan bahan bangunan bekas atau daur ulang secara kreatif.
- d. Mempertimbangkan proses produksi material agar tidak menghasilkan polusi atau mengonsumsi energi tinggi.
- e. Memastikan bahwa material yang dipilih tidak membahayakan kesehatan penghuni.

6. Hubungan sosial

Dalam praktik arsitektur berkelanjutan, dimensi sosial memegang peran yang penting karena ruang yang dirancang bukan hanya untuk merespons lingkungan (tujuan arsitektur hijau), tetapi juga untuk memenuhi kebutuhan manusia sebagai pengguna. Tujuan utama dari pendekatan ini adalah menciptakan ruang hidup yang sehat, nyaman, dan sesuai untuk berbagai kelompok masyarakat. Hal ini dicapai melalui desain yang mendukung kualitas udara, pencahayaan alami, serta akses terhadap area terbuka yang menunjang kesehatan dan interaksi sosial. Selain itu, penting bagi rancangan bangunan untuk mengakomodasi prinsip aksesibilitas, agar dapat digunakan oleh semua kalangan, termasuk individu berkebutuhan khusus, lanjut usia, maupun anak-anak. Pendekatan sosial juga tercermin dalam pelibatan masyarakat selama proses perencanaan dan perancangan, guna memastikan bangunan selaras dengan kebutuhan, budaya lokal, dan identitas komunitas. Dengan melibatkan masyarakat, tercipta rasa kepemilikan terhadap ruang yang dibangun. Di sisi lain, keberlanjutan sosial juga mencakup kemampuan bangunan untuk menyesuaikan diri terhadap dinamika sosial dan tantangan masa depan, seperti perubahan fungsi ruang atau kondisi lingkungan. Oleh karena itu, aspek sosial dalam arsitektur berkelanjutan berkontribusi pada terciptanya lingkungan binaan yang tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga adaptif dan berkeadilan secara sosial.

Penerapan hubungan sosial dalam perancangan arsitektur berkelanjutan adalah:

- a. Memastikan bahwa bangunan dan ruang publik dapat diakses oleh semua kalangan, termasuk penyandang disabilitas, lansia, dan anak-anak
- b. Pengendalian pencahayaan alami, ventilasi silang, tingkat kebisingan, dan temperatur ruang yang mendukung kenyamanan termal dan psikologis.
- c. Memungkinkan adaptasi terhadap perubahan fungsi, struktur keluarga, atau kebutuhan sosial di masa depan.
- d. Melibatkan pengguna atau warga sekitar dalam tahap perencanaan agar desain yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan nyata dan nilai-nilai local.

7. Strategi ekonomi

Dalam arsitektur berkelanjutan, dimensi ekonomi tidak hanya diartikan sebagai efisiensi biaya konstruksi dan operasional, tetapi juga mencakup pemberdayaan ekonomi masyarakat. Arsitektur berkelanjutan mendorong terciptanya lingkungan binaan yang mampu mendukung aktivitas ekonomi produktif, sekaligus meminimalkan dampak lingkungan. Dengan cara ini, bangunan tidak sekadar menjadi wadah aktivitas, melainkan juga dapat berfungsi sebagai sarana untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan memperkuat struktur ekonomi lokal. Salah satu bentuk penerapannya adalah melalui perancangan ruang multifungsi seperti kawasan *mixed-use*, di mana fungsi hunian, komersial, dan publik dipadukan dalam satu tapak untuk mengurangi kebutuhan perjalanan, menghemat energi, serta mendorong tumbuhnya ekonomi lokal. Selain itu, penyediaan ruang komunitas seperti pasar rakyat, pusat pelatihan kerja, dan area usaha mikro juga menjadi bagian penting dari strategi ini, karena mampu meningkatkan partisipasi dan kemandirian ekonomi masyarakat secara langsung.

Beberapa kriteria yang mencerminkan penerapan strategi ekonomi dalam desain arsitektur berkelanjutan antara lain:

- a. Menciptakan peluang ekonomi yang dapat mengurangi angka kemiskinan.
- b. Menyediakan lapangan pekerjaan baru melalui integrasi ruang usaha seperti bengkel kerja atau fasilitas produksi berbasis komunitas.
- c. Mengurangi ketimpangan sosial, dengan menyediakan ruang ekonomi yang bisa diakses oleh semua kalangan.

Strategi ini dapat diwujudkan, misalnya, melalui desain bangunan yang mengakomodasi kegiatan pertanian perkotaan (*urban farming*) di area atap, sehingga hasilnya dapat digunakan untuk kebutuhan internal atau dijual sebagai tambahan ekonomi, sekaligus mengurangi ketergantungan pada transportasi berbasis bahan bakar fosil.

8. Pelestarian budaya

Pelestarian budaya merupakan bagian penting dalam arsitektur berkelanjutan karena keberlanjutan tidak hanya berbicara soal kelestarian lingkungan dan efisiensi ekonomi, tetapi juga mencakup kesinambungan nilai-nilai sosial dan budaya. Desain arsitektur diharapkan juga mampu menjaga identitas lokal serta menghargai tradisi dan kearifan arsitektur yang telah diwariskan oleh generasi sebelumnya. Prinsip keberlanjutan menuntut agar bangunan yang dirancang tidak terlepas dari latar belakang budaya masyarakat setempat, sehingga tercipta ruang yang relevan, berakar, dan mencerminkan karakter lokal. Pelestarian budaya dalam desain juga menjadi jembatan penting antara sejarah dan inovasi, menjadikan arsitektur tidak hanya modern, tetapi tetap berpijak pada nilai-nilai tradisi.

Kriteria dalam menerapkan perancangan arsitektur berkelanjutan berbasis pelestarian budaya meliputi:

- a. Mengadaptasi unsur-unsur arsitektur tradisional yang sesuai dengan iklim, seperti bentuk atap, orientasi bangunan, dan sistem ventilasi alami.
- b. Memanfaatkan bahan bangunan lokal yang telah terbukti ramah lingkungan dan bernilai budaya tinggi, seperti batu alam, kayu, bambu, atau tanah liat.
- c. Merancang ruang yang selaras dengan aktivitas sosial dan adat istiadat masyarakat setempat agar tetap fungsional dan kontekstual.
- d. Melibatkan masyarakat lokal dalam proses perencanaan dan pembangunan sebagai bagian dari upaya pelestarian pengetahuan arsitektur tradisional secara bersama-sama.

9. Manajemen Operasional

Manajemen operasional memiliki peranan strategis dalam mendukung prinsip arsitektur berkelanjutan karena keberlanjutan tidak hanya diukur dari tahap perancangan dan pembangunan, tetapi juga dari bagaimana bangunan digunakan dan dikelola selama masa operasionalnya. Efektivitas pengelolaan setelah konstruksi sangat menentukan efisiensi energi, penghematan air, pengurangan limbah, dan kenyamanan pengguna dalam jangka Panjang, serta memperpanjang usia pakai bangunan. Jika aspek operasional diabaikan sejak awal, bangunan berisiko mengalami peningkatan konsumsi sumber daya serta biaya perawatan yang tinggi. Oleh karena itu, integrasi strategi operasional yang cermat sejak tahap desain awal menjadi kunci untuk mempertahankan kinerja bangunan secara berkelanjutan.

Kriteria dalam penerapan manajemen operasional untuk arsitektur berkelanjutan adalah:

- a. Perencanaan sistem utilitas yang efisien dan hemat energi, misalnya melalui penggunaan pencahayaan otomatis, ventilasi alami, atau sistem pendingin rendah konsumsi.

- b. Penyediaan perangkat pemantauan konsumsi energi dan air yang memungkinkan evaluasi dan pengendalian secara berkala.
- c. Pemilihan bahan bangunan yang kuat, mudah dibersihkan, dan minim perawatan untuk mengurangi beban biaya operasional di masa depan.
- d. Penerapan desain ruang yang fleksibel agar dapat disesuaikan dengan perubahan kebutuhan pengguna tanpa harus melakukan modifikasi besar-besaran.

3.4 Perbedaan Arsitektur Hijau dan Arsitektur Berkelanjutan

Walaupun arsitektur hijau dan arsitektur berkelanjutan memiliki tujuan yang serupa, yaitu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, keduanya memiliki pendekatan, cakupan, dan prinsip kerja yang berbeda secara mendasar. Berikut adalah perbedaan mendasar antara arsitektur hijau dan arsitektur berkelanjutan:

1. Cakupan Fokus

Arsitektur hijau memiliki fokus utama pada pengurangan dampak negatif bangunan terhadap lingkungan. Hal ini dilakukan melalui penerapan teknologi ramah lingkungan, pemilihan material alami atau daur ulang, serta peningkatan efisiensi dalam penggunaan air dan energi. Pendekatan ini berorientasi pada bagaimana bangunan dapat berinteraksi secara lebih baik dengan lingkungan sekitarnya tanpa merusak keseimbangan ekologis. Sementara itu, arsitektur berkelanjutan mengusung pendekatan yang lebih luas. Tidak hanya aspek lingkungan, arsitektur berkelanjutan juga mempertimbangkan aspek sosial dan ekonomi secara seimbang agar menciptakan bangunan yang tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga mendukung kesejahteraan sosial dan efisien dari segi ekonomi dalam jangka panjang. Dengan kata lain, fokus dari arsitektur hijau adalah bagian dari fokus arsitektur berkelanjutan.

2. Pendekatan Desain

Cakupan arsitektur hijau lebih bersifat teknis dan fisik, seperti efisiensi energi dan air, penggunaan material ramah lingkungan, pemanfaatan ventilasi dan pencahayaan alami, serta pelestarian vegetasi dan ruang terbuka hijau. Pendekatan ini menitikberatkan pada elemen-elemen desain yang secara langsung memengaruhi kinerja bangunan terhadap lingkungan. Sebaliknya, cakupan arsitektur berkelanjutan lebih komprehensif. Selain mencakup seluruh prinsip arsitektur hijau, pendekatan berkelanjutan juga mempertimbangkan kelayakan ekonomi proyek dalam jangka panjang, seperti biaya siklus hidup bangunan (*life cycle cost*). Aspek sosial dan budaya juga diperhitungkan, misalnya kenyamanan dan kesehatan penghuni, partisipasi masyarakat, serta pelestarian nilai lokal. Bangunan berkelanjutan juga dirancang agar dapat dipelihara dengan mudah dan tetap adaptif terhadap perubahan kebutuhan dan kondisi lingkungan.

3. Skala

Arsitektur hijau umumnya berfokus pada bangunan sebagai objek tunggal, sedangkan arsitektur berkelanjutan melihat bangunan sebagai bagian dari sistem yang lebih besar, yakni lingkungan sosial, budaya, dan ekologi yang saling berkaitan. Oleh karena itu, arsitektur berkelanjutan sering dikaitkan dengan perencanaan kawasan, tata kota, dan kebijakan publik.

4. Orientasi Waktu

Dari segi waktu, arsitektur hijau cenderung fokus pada tahap desain dan konstruksi bangunan. Upaya efisiensi dan pemilihan material lebih ditekankan pada fase perencanaan awal, dengan tujuan mengurangi dampak negatif pada lingkungan sejak awal pembangunan. Sebaliknya, arsitektur berkelanjutan memandang bangunan sebagai suatu entitas yang memiliki siklus hidup lengkap. Pendekatannya mencakup seluruh tahapan, mulai dari perencanaan, konstruksi, penggunaan, perawatan, hingga tahap akhir berupa pembongkaran dan daur ulang. Dengan kata lain,

arsitektur berkelanjutan memperhatikan performa bangunan tidak hanya saat dibangun, tetapi juga selama masa pakai dan pasca masa pakai.

5. Tujuan

Tujuan utama dari arsitektur hijau adalah menciptakan bangunan yang ramah lingkungan. Ini diwujudkan melalui pengurangan emisi karbon, konservasi energi, dan pengelolaan limbah yang efisien. Namun, arsitektur berkelanjutan memiliki tujuan yang lebih luas. Selain ingin menciptakan bangunan yang ramah terhadap lingkungan, pendekatan ini juga berupaya menciptakan lingkungan yang layak secara sosial, misalnya dengan menyediakan ruang yang sehat, aman, dan inklusif, serta efisien secara ekonomi sehingga operasional bangunan tetap terjangkau dan bernilai investasi jangka panjang.

6. Aspek Sosial

Aspek sosial sering kali diabaikan dalam arsitektur hijau. Dalam arsitektur berkelanjutan, keterlibatan masyarakat, aksesibilitas, serta dampak sosial dari pembangunan menjadi bagian tak terpisahkan dari proses desain. Desain tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga harus ramah manusia.

Berikut tabel perbedaan arsitektur hijau dan arsitektur keberlanjutan:

Tabel 3.1. Perbedaan Arsitektur Hijau dan Arsitektur Keberlanjutan

Aspek	Arsitektur Hijau	Arsitektur Keberlanjutan
Fokus	Lingkungan	Lingkungan, sosial, dan ekonomi
Pendekatan desain	Penerapan teknologi dan efisiensi	Mencakup semua elemen dan terstruktur
Skala	Bangunan	Bangunan dan kawasan
Waktu penerapan	Jangka pendek (desain sampai konstruksi)	Jangka Panjang (perencanaan, konstruksi, pemeliharaan, hingga pembongkaran)
Tujuan	Bangunan ramah lingkungan	Bangunan seimbang dan berkelanjutan dalam jangka panjang
Aspek Sosial	Kurang diperhatikan	Sangat diperhatikan

Sumber : Data pribadi

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiani, Y Mila. 2015. *Sustainable Arsitektur/Arsitektur Berkelanjutan*. Jakarta: Erlangga.
- Bunawardi, R.S., Aisyah, C. and Burhanuddin, B., 2021. Optimalisasi Pencahayaan Alami Pasar Modern Bintaro Di Kota Tangerang Selatan. *Teknosains: Media Informasi Sains dan Teknologi*, 15(3), pp.322-328.
- Fisikanta Bukit, B., Surbakti, A.A. and Tarigan, H., 2023. Kajian Arsitektur Hijau Pada Bangunan Perumahan di Kota Medan. *JUITECH: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Quality*, 7(2), pp.26-31.
- Karyono, T.H. 2000., Report on thermal comfort and building energy studies in Jakarta—Indonesia. *Building and environment*, 35(1), pp.77-90.
- Kibert, C. J. 2016. *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery* (4th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Kusumawanto, A. and Astuti, Z.B. 2018. *Arsitektur hijau dalam inovasi kota*. Ugm Press.
- Magdalena, E.D. and Tondobala, L., 2016. Implementasi Konsep Zero Energy Building (Zeb) Dari Pendekatan Eco-Friendly Pada Rancangan Arsitektur. *Media Matrasain*, 13(1), pp.1-15.
- McLennan, J. F. 2004. *The Philosophy of Sustainable Design: The Future of Architecture*. Ecotone Publishing.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2009: Tentang Pemanfaatan Air Hujan.
- Samsuddin, A.E., Daming, T. and Syarif, E., 2017. Konsep Arsitektur Tropis pada Green Building sebagai Solusi Hemat Biaya (Low Cost). *Temu Ilmiah Ikatan Peneliti Lingkungan Binaan Indonesia (IPLBI)*, 6.
- Santosa, H. 2011. *Arsitektur Hijau: Sebuah Pengantar*. Jakarta: Erlangga.
- Surbakti, A.A. and Harefa, M.B., 2021. Analisis Hambatan Green Road Construction Studi Kasus: Proyek Pembangunan Kantilever Jalan Nasional Parapat-Ajibata. *JUITECH: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Quality*, 5(2), pp.23-33.

- Surbakti, A.A., Harefa, M.B. and Giawa, N., 2022. Pengendalian Material Sisa Pada Pembangunan Gereja GBKP Desa Bukit. *JUITECH: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Quality*, 6(2), pp.102-110.
- Yeang, K. 2006. *Ecodesign: A Manual for Ecological Design*. London: Wiley-Academy.
- <https://www.aveharysakti.com/2024/11/penggunaan-overhang-dan-sunshading-strategi-desain-pasif-iklim-tropis.html>
- <https://www.99.co/id/panduan/inspirasi-taman-belakang-rumah/>

BAB 4

NET ZERO ENERGY BUILDING (NZEB)

Oleh Abdi Gunawan Djafar

4.1 Pendahuluan

Net Zero Energy Building (NZEB) atau dalam bahasa Indonesia yang berarti bangunan dengan energi nol bersih adalah sebuah konsep bangunan berkelanjutan. Nol energi yang dimaksudkan adalah selisih antara energi yang digunakan oleh bangunan dan energi yang diproduksi oleh bangunan dalam satu tahun. NZEB dapat tercapai melalui usaha-usaha peningkatan efisiensi energi dan penerapan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi bangunan (Li, Yang and Lam2013).

Langkah utama pencapaian NZEB adalah melalui pengoptimalan desain bangunan sehingga menghasilkan efisiensi energi yang tinggi, kemudian dilanjutkan dengan pengoptimalan penggunaan energi terbarukan. Tujuan dari NZEB adalah meminimalisir penggunaan energi fosil dan emisi gas rumah kaca dari sektor bangunan sehingga lebih ramah lingkungan (Wei and Skye, 2021). NZEB tercapai dengan menyeimbangkan antara kebutuhan energi bangunan dan energi yang dapat diproduksi bangunan.

Terdapat 3 kemungkinan sebagai hasil selisih antara besar energi yang digunakan dan energi yang diproduksi sebagai berikut:

1. Jika besar konsumsi energi sedikit lebih besar dari produksi energi terbarukannya, maka disebut *nearly zero energy building* (nZEB).
2. Jika besar konsumsi energi sama besar dengan produksi energi terbarukannya, maka disebut net zero energy building (NZEB).

3. Jika besar konsumsi energi lebih rendah dari produksi energi terbarukannya, maka disebut plus energy building (PEB).

Perbedaan antara ketiganya dapat dirangkum pada table 4.1 berikut:

Tabel 4.1. Perbedaan *Nearly Zero (nZ)*, *Net Zero (NZ)*, dan *Plus Energy Building (PEB)*

Aspek	nZEB	NZEB	PEB
Capaian Energi	Penggunaan energi bangunan lebih besar dari produksi energi terbarukan	Penggunaan energi bangunan sama besar dengan produksi energi terbarukan	Penggunaan energi bangunan lebih kecil dari produksi energi terbarukan
Sumber Energi	Energi non terbarukan dan energi terbarukan	Hanya energi terbarukan	Hanya energi terbarukan
Dampak Emisi	Sangat rendah	Nol emisi	Emisi negatif (berdampak positif bagi lingkungan)

Sumber: (Directorate-General for Energy,2025) dan (Belleri,2023)

4.2 Kriteria NZEB

4.2.1 Aspek NZEB

Untuk mencapai NZEB, bangunan perlu menerapkan sistem desain pasif, desain selubung yang mempertimbangkan kondisi iklim dan lingkungan, penggunaan energi terbarukan, dikonstruksi dengan embodied energy yang rendah, serta sistem struktur yang inovatif (Rafiei and Adeli, 2016). Aspek-aspek ini dijelaskan oleh Khashehchi (Khashehchi *et al.*, 2024) sebagai berikut:

1. Efisiensi Energi dan Desain Pasif
Optimalisasi desain pasif seperti pengolahan bentuk bangunan, orientasi terhadap matahari, bukaan ventilasi, peneduh matahari, dan lainnya. Tujuannya untuk mengurangi kebutuhan energi untuk penghawaan dan pencahayaan buatan.
2. Teknologi Aktif dan Hemat Energi
Menggunakan teknologi AC, lampu, dan perangkat elektronik lainnya yang hemat energi. Serta sensor yang aktif mendeteksi dan mengendalikan penggunaan energi pada perangkat tersebut.
3. Energi Terbarukan On-Site
Menggunakan energi terbarukan pada bangunan dan tapak seperti panel surya fotovoltaik, turbin angin, kolektor panas surya, atau sumber energi terbarukan lainnya yang dapat mencukupi kebutuhan energi bangunan dalam satu tahun.
4. Inovasi Teknologi dan Material
Penggunaan smart grid, penyimpanan energi (baterai), serta penggunaan *internet of things* (IoT) untuk sistem energi sehingga penggunaan dan produksi energi dapat terpantau dan terevaluasi dengan baik. Penggunaan material insulasi tinggi, kaca low-E, sistem atap hijau, Phase Change Material, hingga material reflektif yang dapat membantu mengurangi perolehan panas, dan beban energi.
5. Ketentuan Regulasi dan Kebijakan Pemerintah
Pemerintah membuat peraturan sebagai payung dari pelaksanaan bangunan hijau. Dukungan dari pemerintah dapat berupa pengurangan pajak atas kontribusi bangunan dalam mengurangi dampak lingkungan.



Gambar 4.1. Kayu Laminasi Silang, material yang sering digunakan pada bangunan NZEB
(Sumber: (Wikipedia contributors, 2025))

4.2.2 Kalkulasi NZEB

NZEB dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut (U.S. Department of Energy and the National Institute of Building Sciences, 2015):

$$E_{\text{source}} = \sum_i (E_{\text{del},i} \times r_{\text{del},i}) - \sum_i (E_{\text{exp},i} \times r_{\text{exp},i}), \text{ dimana}$$

- $E_{\text{del},i}$: Energi yang dikonsumsi untuk jenis energi ke- i (misal, bangunan menggunakan sumber energi seperti listrik, gas, dan lain-lain).
- $r_{\text{del},i}$: Faktor konversi energi primer untuk energi masuk.
- $E_{\text{exp},i}$: Energi terbarukan yang diekspor ke jaringan untuk jenis energi ke- i .
- $r_{\text{exp},i}$: Faktor konversi energi primer untuk ekspor energi ke jaringan.

Bila nilai $E_{\text{source}} \leq 0$, maka bangunan dikategorikan zero energy

4.3 Optimisasi Desain Bangunan

4.3.1 Desain Berdasarkan Iklim dan Sistem Pasif

Arsitektur vernakular telah diketahui merupakan contoh yang baik dalam memberikan kenyamanan bagi pengguna bangunan. Prinsip-prinsip arsitektur vernakular dengan sistem pasifnya digunakan untuk merancang bangunan yang hemat

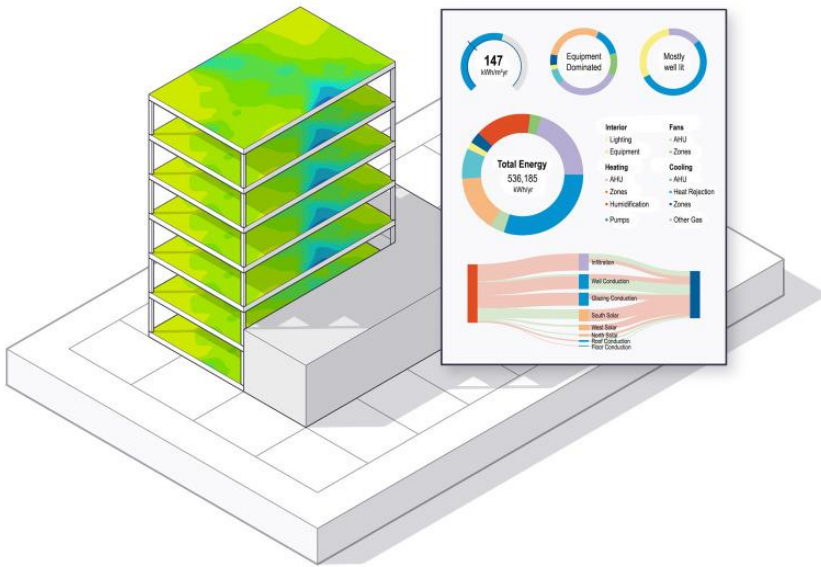
energi hingga dapat menghasilkan bangunan dengan kategori *nearly zero energy building* (nZEB) (Dabaieh, Makhoul and Hosny, 2016). Sistem pasif menjadi dasar utama dalam mengoptimalkan desain bangunan NZEB.

Bangunan pada iklim yang berbeda akan memiliki kebutuhan energi yang berbeda pula. Daerah beriklim dingin menggunakan energi yang besar untuk pemanasan bangunan khususnya pada musim dingin. Jumlah energi yang didapatkan dari Matahari yang didapatkan pun sangat kecil. Akibatnya konsep NZEB sulit diaplikasikan pada bangunan yang berlokasi di iklim dingin (Wang *et al.*, 2021).

4.3.2 Komputasi Digital

Perancangan bangunan NZEB memerlukan pendekatan khusus yang terukur. Simulasi kinerja bangunan dan *Building Information Modelling* (BIM) perlu digunakan dalam proses perancangan. Program simulasi dan BIM memungkinkan arsitek, insinyur, dan stakeholder dalam memastikan NZEB terwujud mulai dari tahap awal yaitu pengkonsepan, hingga tahap akhir yaitu penggunaannya.

Simulasi kinerja bangunan dapat memperkirakan besar konsumsi energi bangunan dan produksi energi terbarukannya. Penggunaan BIM untuk menghitung biaya pembangunan berdasarkan output dari simulasi kinerja bangunan. Kelebihan BIM adalah dapat membuat alternatif-alternatif konstruksi dan material bangunan namun memastikan agar hasilnya sesuai dengan target yang ditentukan simulasi kinerja bangunan. Misalnya jika simulasi kinerja bangunan merekomendasikan untuk menggunakan material dinding dengan U value $30 \text{ W/m}^2\text{K}$, maka BIM dapat memberikan berbagai pilihan konstruksi dinding yang memenuhi kriteria tersebut.



Gambar 4.2. BIM dengan fitur mensimulasikan dan menganalisis energi bangunan
(Sumber: (Thaarrini, 2024))

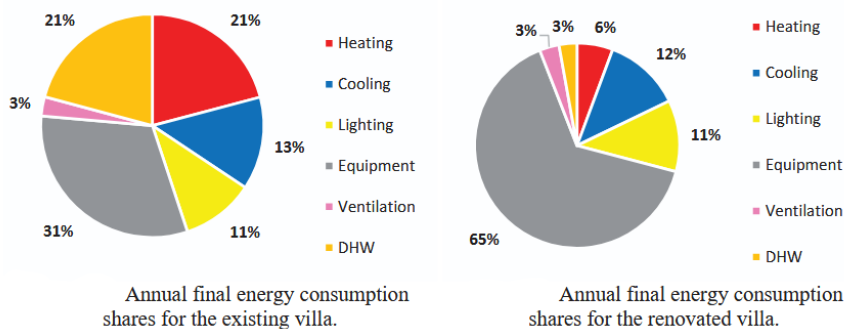
4.4 Retrofitting Bangunan

Bangunan NZEB dapat berupa bangunan baru yang dirancang dengan mengaplikasikan prinsip NZEB, dan dapat berupa bangunan yang telah terbangun kemudian diretrofit hingga menjadi bangunan NZEB. Retrofitting adalah proses penambahan, perbaikan, atau peningkatan teknologi, fitur, atau elemen pada sistem, bangunan, atau struktur yang sudah ada sebelumnya agar menjadi lebih baik, efisien, kuat, atau memenuhi standar baru. Proses retrofitting bangunan lama untuk mencapai NZEB akan lebih sulit dari membangun bangunan baru yang sudah dirancang untuk mencapai NZEB.

4.4.1 Retrofitting untuk Penghematan Energi

Retrofitting untuk tujuan penghematan energi adalah retrofitting yang dilakukan agar bangunan eksisting menjadi lebih efisien dan hemat energi. Retrofit merupakan cara alternatif agar bangunan yang telah terbangun dapat memberikan kontribusi yang lebih baik terhadap lingkungan.

Gambar di bawah menunjukkan hasil simulasi energi bangunan, dimana sebuah villa diretrofitting untuk mencapai NZEB. Pada grafik kiri terlihat penggunaan energi terbesar berasal dari equipment (peralatan rumah tangga seperti kulkas, dan lainnya) sebesar 31%, diikuti oleh DHW (pemanas air), system pemanas bangunan (dibutuhkan di musim dingin). Sedangkan kebutuhan untuk system pendinginan (di musim panas), pencahayaan dan penghawaan lebih rendah. Setelah diretrofitting, hasil di grafik kanan menunjukkan bahwa persentase besar energi yang dibutuhkan untuk DHW, dan system pemanas, jauh menurun. Besar penggunaan energi untuk equipment tidak berubah banyak karena sesuai dengan kebutuhan harian pengguna bangunan.



Gambar 4.3. Perbandingan villa yang belum dan telah diretrofitting (Sumber: (Martins *et al.*, 2024))

4.4.2 Tantangan Retrofitting untuk Mencapai NZEB

Masalah yang dihadapi dalam retrofitting bangunan hingga dapat mencapai NZEB adalah sebagai berikut:

1. Kompleksitas Teknik
Retrofitting akan menambahkan teknologi dan sistem baru pada struktur yang lama. Kompatibilitas atau kecocokan antara teknologi baru dengan konstruksi bangunan yang lama akan menjadi masalah yang perlu diselesaikan.
2. Keterbatasan Desain Awal
Bangunan yang diretrofit awalnya tidak dirancang atau dipersiapkan untuk teknologi baru. Misalnya penambahan

insulasi dinding untuk meningkatkan kinerja termal dinding, teknologi ini akan mengurangi luas ruang efektif yang dapat digunakan dalam bangunan karena dinding luar menjadi lebih tebal.

3. Integrasi Energi Terbarukan.

Sistem energi terbarukan seperti panel photovoltaic yang dipasang pada atap akan menambah beban struktural bangunan. Posisi panel yang dipasang belum tentu akan menghadap pada arah orientasi terbaik karena menyesuaikan dengan kondisi bangunan eksisting.

4. Mengganggu Operasional Bangunan

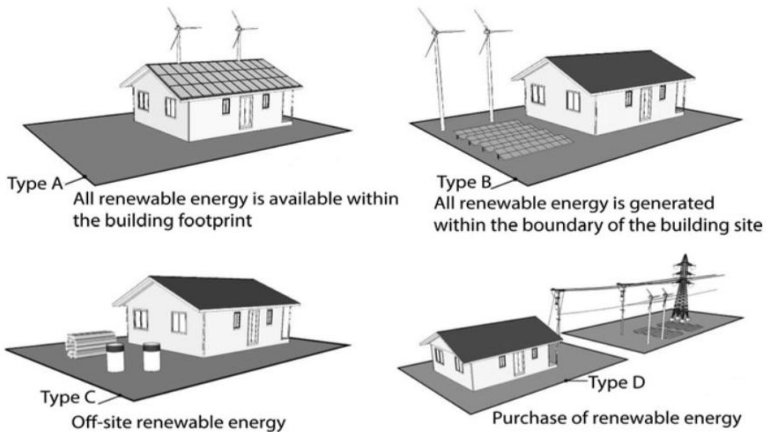
Proses pengerjaan retrofitting merupakan sebuah tahapan yang panjang dan menyita waktu. Akan sulit untuk mengubah jam operasional bangunan yang sudah beroperasi sesuai rutinitas hariannya.

5. Regulasi dan Izin

Proses memperbarui izin, peraturan zona, dan standarisasi pada retrofit lebih menantang karena melibatkan banyak penyesuaian terhadap standar baru pada bangunan lama. Terlebih jika yang diretrofit berkategori bangunan bersejarah, cagar budaya, atau yang dilindungi.

4.5 Sistem Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah system yang wajib dimiliki oleh bangunan NZEB. Di antara berbagai teknologi energi terbarukan, panel surya atau photovoltaic panel adalah yang paling banyak digunakan. Kombinasi dari beberapa sumber energi terbarukan seperti angin, dan tenaga panas bumi dapat digunakan bersama untuk mencapai NZEB. Sistem penyimpanan energi seperti baterai akan menjaga kestabilan pasokan energi untuk bangunan.



Gambar 4.4. Empat Skema Penyediaan Energi Terbarukan
(Sumber : (Feng *et al.*, 2019))

Dalam penyediaan energi terbarukan untuk bangunan, terdapat 4 skema seperti yang terlihat pada gambar 4.4 di atas.

1. Tipe A, dimana sistem energi terbarukan terpasang pada bangunan atau di atas jejak bangunan (*footprint*)
2. Tipe B, dimana sistem energi terbarukan terpasang pada tapak/site yang merupakan bagian dari wilayah bangunan
3. Tipe C, dimana bangunan mendapatkan energi terbarukan yang sumbernya berasal dari luar wilayah bangunan. Misalnya biomasa, material organik diambil dari luar site dan diolah menjadi energi pada site.
4. Tipe D, dimana bangunan tidak memproduksi energi terbarukan tapi membeli energi terbarukan dari jaringan listrik yang terhubung ke sumber energi terbarukan.

Di antara ketiga tipe, pemenuhan energi dengan hanya memanfaatkan sumber energi dari luar seperti tipe D tidak dapat disebut sebagai NZEB karena bangunan tidak memproduksi energi terbarukan sama sekali. Meskipun skema sistem energi terbarukan dijelaskan secara terpisah, namun pada prakteknya beberapa skema sekaligus dapat diterapkan bersama untuk mencapai NZEB. Tujuannya agar pasokan energi terbarukan pada bangunan tetap terjaga.

4.6 Contoh Bangunan NZEB

4.6.1 The Unisphere

Bangunan dengan fungsi kantor ini terletak di Maryland, Amerika. Teknologi NZEB yang digunakan memanfaatkan penggabungan dari teknologi sistem panel photovoltaic, dan sumur geothermal sebagai sumber energi terbarukan. Sebanyak 1976 panel photovoltaic mampu memproduksi energi 1175 MW dalam setahun. Geothermal dimanfaatkan untuk memanaskan dan mendinginkan bangunan.

Untuk menambah efisiensi energi, bangunan ini menggunakan teknologi selubung fasad elektromagnetik yang bisa menyesuaikan transparansinya untuk mengoptimalkan pencahayaan alami dan perolehan panas bangunan. Sistem otomasi bangunan yang tersentralisasi mengendalikan 11000 perangkat monitor dan evaluasi sehingga dapat mengelola penggunaan energi dan penghawaan alami bangunan pada cuaca yang panas.

Atap hijau dan teras pada atap mengurangi limpasan air hujan dan menjadi bagian yang menginsulasi atap dari panas.



Gambar 4.5. The Unisphere, Amerika
(Sumber: utunishere.com)

4.6.2 The Floating Office

Bangunan kantor yang mengapung di atas air dan menyesuaikan dengan tinggi permukaan air. Bangunan ini didesain untuk mengantisipasi dampak perubahan iklim yang mengakibatkan kenaikan tinggi air laut di seluruh dunia.

The Floating Office dibangun dengan material kayu laminasi silang yang dapat digunakan kembali atau didaur ulang. Ponton atau struktur apung yang digunakan memiliki sistem yang dapat menukar panas sehingga dapat memanaskan ruangan pada musim dingin, dan mendinginkan ruangan pada musim panas. Untuk dapat mengalirkan udara penghawaan, digunakanlah pompa panas yang menggunakan energi dari panel photovoltaic. Atap seluas 870 m² pada bangunan ini dipasang panel photovoltaic yang dapat memenuhi seluruh kebutuhan energi pada bangunan. Jika energi listrik yang dihasilkan melebihi kebutuhan bangunan, maka energinya disalurkan ke jaringan kota.



Gambar 4.6. The Floating Office

(Sumber: <https://archello.com/project/floating-office-rotterdam>)

DAFTAR PUSTAKA

- Belleri, A. (2023) *Overview Article - Buildings as energy generators: EU initiatives and perspectives on Plus Energy Buildings, European Commission*. Available at: <https://build-up.ec.europa.eu/en/resources-and-tools/articles/overview-article-buildings-energy-generators-eu-initiatives-and> (Accessed:/12 July 2025).
- Dabaieh, M., Makhoulouf, N.N. and Hosny, O.M. (2016) 'Roof top PV retrofitting: A rehabilitation assessment towards nearly zero energy buildings in remote off-grid vernacular settlements in Egypt', *Solar Energy*, 123, pp. 160–173. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2015.11.005>.
- Directorate-General for Energy (2025) *Nearly-zero energy and zero-emission buildings, European Commission*. Available at: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/nearly-zero-energy-and-zero-emission-buildings_en (Accessed:/12 July 2025).
- Feng, W. *et al.* (2019) 'A review of net zero energy buildings in hot and humid climates: Experience learned from 34 case study buildings', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, p. 109303. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2019.109303>.
- Khashehchi, M. *et al.* (2024) 'Net zero energy buildings Design considerations, challenges, and applications', in *Sustainable Technologies for Energy Efficient Buildings*. 1st edn. Boca Raton: CRC Press.
- Li, D.H.W., Yang, L. and Lam, J.C. (2013) 'Zero energy buildings and sustainable development implications – A review', *Energy*, 54, pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2013.01.070>.
- Martins, L. *et al.* (2024) 'Energy Simulations of An Existing Villa Converted Into An NZEB Building: A Case Study', in *ECOS 2024*. Rhodes, pp. 1529–1540.

- Rafiei, M.H. and Adeli, H. (2016) 'Sustainability in highrise building design and construction', *Structural Design of Tall and Special Buildings*,/15(13). Available at: <https://doi.org/10.1002/tal.1276>.
- Thaarrini, J. (2024) *How BIM Supports Achieving Net Zero Targets in Construction*, Desapex.
- U.S. Department of Energy and the National Institute of Building Sciences (2015) *A Common Definition for Zero Energy Buildings*. Available at: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/A%20Common%20Definition%20for%20Zero%20Energy%20Buildings_0.pdf (Accessed: /13 July 2025).
- Wang, R. *et al.* (2021) 'A comprehensive evaluation of zero energy buildings in cold regions: Actual performance and key technologies of cases from China, the US, and the European Union', *Energy*,/115. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118992>.
- Wei, W. and Skye, H.M. (2021) 'Residential net-zero energy buildings: Review and perspective', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142, p. 110859. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.RSER.2021.110859>.
- Wikipedia contributors (2025) *Cross-laminated timber*, *Wikipedia*. Available at: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Cross-laminated_timber&oldid=1303670621 (Accessed: 1 August 2025).

BAB 5

BANGUNAN HIJAU DAN KONSENSUS INTERNASIONAL

Oleh Wakyudi

5.1 Pendahuluan

Konsep keberlanjutan dalam pembangunan menjadi salah satu topik yang kerap dibahas di dunia internasional. Konsep ini pertama kali diketahui pada tahun 1972 di konferensi PBB yang berlangsung di Stockholm. Pada tahun 1987 istilah pembangunan berkelanjutan dijelaskan dengan lebih rinci. Pembangunan berkelanjutan dapat dipahami sebagai suatu proses yang memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang dalam memenuhi kebutuhan mereka. Tiga faktor utama harus dipertimbangkan untuk mencapai pembangunan berkelanjutan: pertumbuhan ekonomi, partisipasi masyarakat dan perlindungan lingkungan. Untuk menerapkan tiga faktor, membangun bangunan ramah lingkungan atau bangunan berkelanjutan adalah salah satu solusi untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan. Pertumbuhan ekonomi dan ekonomi, industri dan inovatif, komunitas dan kota yang berkelanjutan, program produksi dan konsumsi yang bertanggung jawab, aksi perubahan iklim, keberadaan yang aman di negara ini dan kerja sama untuk mencapai tujuan ini (World Green Construction Council, 2022).

Implementasi konsep pembangunan yang ramah lingkungan mempengaruhi rencana pembangunan yang melibatkan cara operasional yang efisien, terutama dalam hal penggunaan energi dan sumber daya lainnya. Proses ini dimulai dengan pemilihan lokasi dan rancangan, kemudian dilanjutkan ke fase konstruksi, pengoperasian bangunan, pemeliharaan, renovasi, hingga akhirnya tahap pembongkaran setelah umur bangunan mencapai batas yang disarankan.

Pelaksanaan bangunan yang berkelanjutan ini merupakan bagian dari tahapan pembangunan konvensional yang biasanya lebih fokus pada aspek biaya konstruksi, fungsi bangunan, kekuatan dan ketahanan, serta kenyamanan dalam penggunaannya.

Bangunan ramah lingkungan atau *green building* merupakan gedung yang, melalui proses konstruksinya dan kemampuannya, mampu mempertahankan atau bahkan meningkatkan kualitas lingkungan di sekitar gedung. Bangunan ini harus mencapai tingkat efisiensi terbaik, mengurangi penggunaan energi, air, dan sumber daya lainnya dan menghilangkan tingkat polusi. Ketentuan Menteri Pekerjaan Umum dan Pekerjaan Umum (PUPR) Republik Indonesia Indonesia No. 21 pada tahun 2021 mengenai evaluasi kinerja *Green Building*, Pasal 1 paragraf (2) menjelaskan bahwa *Green Building* (BGH) adalah bangunan yang memenuhi standar teknis untuk bangunan dan membuktikan bahwa kinerja dapat diukur. Kita dapat menyimpulkan bahwa banyak kondisi harus dipenuhi sehingga bangunan dapat diklasifikasikan sebagai bangunan hijau, dan tentu saja, satu standar diperlukan untuk mengevaluasi apakah bangunan tersebut memenuhi persyaratan.

5.2 Pengertian dan Manfaat Bangunan Hijau

Bangunan hijau atau *green building* merupakan suatu pendekatan arsitektur yang diciptakan untuk meningkatkan efisiensi dan mendukung keberlanjutan alam. Jenis bangunan ini harus menilai dampak yang dapat terjadi pada lingkungan secara maksimal, dari tahap perencanaan untuk operasi dan pemeliharaan. Bangunan hijau juga diperlukan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam dan menghindari pemborosan bahan konstruksi. Membangun kesehatan dan lingkungan manusia. Konsep konstruksi hijau bukanlah ide baru, karena telah diterapkan di banyak negara untuk waktu yang lama untuk mengurangi risiko pemanasan global.

Penerapan konsep bangunan hijau yang ramah lingkungan mulai mendapatkan perhatian dari pihak pemerintah dan sektor swasta. Hal ini disebabkan oleh kenyataan

bahwa Indonesia adalah negara yang sangat vulnerabel terhadap kondisi iklim yang terus berubah yang menimbulkan dampak banjir, kekeringan, tanah longsor, dan permasalahan lainnya. Untuk mencapai ide ini, sangat penting untuk memiliki konsultasi real estat yang dapat memberikan saran dan solusi terbaik bagi pemilik, pengembang, dan bangunan bangunan. Konsultasi di bidang real estat dapat berperan dalam meningkatkan efisiensi konstruksi sumber daya, baik dalam hal energi, air dan bahan dan untuk mengurangi dampaknya terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan. Mulai dari bidang bangunan, menurut lingkungan dan hutan, mencapai 28% dari total emisi nasional. Saran real estat dalam menerapkan konsep bangunan hijau dapat menjadi langkah penting untuk mencapai lingkungan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan di Indonesia.

Berikut ini adalah beberapa manfaat dari green building di antaranya:

1. Meningkatkan taraf hidup. Bangunan ramah lingkungan dapat menawarkan Kenyamanan dan kesehatan penghuni karena desainnya memperhatikan ventilasi, cahaya, suhu, kebisingan dan kualitas udara di ruang angkasa. Selain itu, bangunan ramah lingkungan juga mampu meningkatkan produktivitas dan kreativitas penghuni melalui suasana yang menyenangkan dan nyaman.
2. Kurangi penggunaan sumber daya air. Bangunan lingkungan mengoptimalkan penggunaan air dengan air hujan, air daur ulang atau air dari sumur. Sumber air dapat digunakan untuk kebersihan, penyiraman atau pendinginan.
3. Biaya operasi dan pemeliharaan bangunan. Bangunan lingkungan dapat mengurangi biaya operasi dan pemeliharaan dengan mengurangi konsumsi listrik. Ini dapat dilakukan dengan menggunakan energi terbarukan, seperti panel surya atau jumbai olster dan menggunakan peralatan listrik secara efektif, seperti lampu LED atau inverter AC.
4. Kurangi emisi karbon sebagai upaya untuk mempertahankan lingkungan. Bangunan ramah lingkungan dapat

mengurangi jejak karbon atau rumah kaca dari lapangan bangunan dengan mengurangi penggunaan energi fosil, seperti batubara dan minyak.

5. Bangunan ini bisa bertahan lama. Bangunan lingkungan dirancang untuk penggunaan jangka panjang fleksibilitas dan kemampuan beradaptasi terhadap perubahan lingkungan. Ini dapat dilakukan dengan menggunakan bahan konstruksi yang mudah dimodifikasi atau diubah atau dengan sistem –mosaic yang dapat disesuaikan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Selain itu, *green building* memiliki fungsi diantaranya:

- a. Bangunan hijau berperan dalam menghemat sumber daya alam yang semakin langka dan mahal, seperti air, energi dan bahan konstruksi. Dengan cara ini, bangunan hijau dapat membantu memastikan sumber daya alam yang tersedia dan menyeimbangkan untuk generasi mendatang.
- b. Bangunan hijau dapat berkontribusi pada kesehatan dan keselamatan lingkungan untuk semua organisme di sana.
- c. Bangunan hijau juga bekerja untuk meningkatkan nilai estetika dan ekonomi bangunan, karena memiliki desain yang unik, kreatif, dan menarik. Oleh karena itu, bangunan hijau dapat berperan dalam meningkatkan citra dan reputasi pemilik bangunan atau manajer publik.

5.3 Konsensus Internasional dan Tantangan Penerapan Bangunan Hijau

Bangunan ramah lingkungan dan kesepakatan global adalah dua elemen yang saling berhubungan dalam usaha internasional untuk mencapai kemajuan yang berkelanjutan penanggulangan perubahan iklim dan penerapan hemat energy Kesepakatan global mengenai bangunan ramah lingkungan merupakan kolaborasi kolektif untuk mengurangi dampak buruk dari kegiatan konstruksi terhadap lingkungan. Beberapa

tantangan yang dihadapi dalam penerapannya meliputi biaya awal yang tinggi, rendahnya tingkat kesadaran masyarakat, keterbatasan dalam teknologi dan bahan, serta kurangnya dorongan dan peraturan yang mendukung.

Beberapa konsensus dan inisiatif internasional mendorong penerapan bangunan hijau, antara lain:

1. **Perjanjian Paris (2015):** Menekankan pengurangan emisi karbon di berbagai sektor, termasuk konstruksi dan bangunan
2. ***Sustainable Development Goals (SDGs)*:** terutama SDG 11 (Kota dan Pemukiman yang inklusif) dan SDG 13 (Aksi Penanganan Perubahan Iklim)
3. ***World Green Building Council (WorldGBC)*:** Organisasi global yang mendorong bangunan netral karbon hingga/1050.
4. **LEED, BREEAM, EDGE:** Standar sertifikasi internasional untuk bangunan ramah lingkungan.

Konsensus Internasional mengenai bangunan berkelanjutan menciptakan beragam sistem untuk mengevaluasi apakah suatu bangunan dapat dianggap memenuhi kaidah bangunan berkelanjutan yang telah disusun oleh berbagai lembaga dan organisasi di dunia. Sistem-sistem ini bahkan dirancang untuk digunakan pada tahap perencanaan pelaksanaan pembangunan. Jika struktur tersebut berhasil memenuhi berbagai syarat yang telah ditetapkan, maka struktur itu akan mendapatkan akreditasi sebagai bangunan berkelanjutan. Beberapa sistem penilaian yang dirancang untuk memperoleh sertifikat bangunan ramah lingkungan mencakup metode evaluasi lingkungan dari *The Building Research Establishment (BREEAM)*, *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)*, *Green Star*, dan *Haute Qualité Environnementale (HQE)*. Indonesia telah mengeluarkan sertifikat yang diterbitkan oleh *Greenship*, dan Kementerian PUPR terhadap penilaian kinerja untuk bangunan ramah lingkungan.

Tabel 5.1. Aspek penilaian lembaga Internasional

Lembaga Sertifikasi	BREEAM	Leed	Green Star	HQE
Negara	Inggris	Amerika Serikat	Australia	Perancis
Aspek yang dinilai	1. Energi 2. Penggunaan lahan dan ekologi 3. Air 4. Kesehatan dan kesejahteraan 5. Pencemaran 6. Transportasi 7. Bahan 8. Sampah 9. manajemen	1. Lokasi Berkelanjutan 2. Efisiensi Air 3. Energi dan Suasana 4. Bahan dan Sumber Day 5. Kualitas Lingkungan Dalam Ruang 6. Inovasi	1. Kualitas Lingkungan Dalam Ruang 2. Daya 3. Pengangkutan 4. Air 5. Bahan 6. Penggunaan Tanah dan Ekologi 7. Pelepasan 8. Inovasi 9. Pengelolaan	1. Kesejahteraan 2. Lingkungan 3. Ekonomi 4. Manajemen proyek
Penerapan	Penerapan untuk bangunan komersil	Penerapan untuk bangunan komersil	Penerapan untuk bangunan komersil dan bangunan residensial	Penerapan untuk bangunan komersil dan bangunan residensial

Kriteria penilaian kinerja yang disebutkan tersebut melakukan penilaian terhadap berbagai aspek yang berlainan, tetapi dalam beberapa hal, ada kesamaan perhatian terhadap kriteria tertentu, yaitu:

1. Kesehatan dan kesejahteraan – fokus pada lingkungan kerja, kualitas udara di dalam ruangan, suhu, tingkat kebisingan, dan kenyamanan visual.
2. Manajemen dan pemeliharaan – perhatian terhadap pengendalian kualitas oleh tim proyek serta pelatihan untuk penghuni bangunan.
3. Penggunaan energi dan efisiensi – perhatian terhadap pemakaian energi dan pemanfaatan sumber daya dari energi terbarukan.

4. Transportasi dan aksesibilitas.
5. Fokus pada akses menuju gedung dan ketersediaan pilihan transportasi yang ramah lingkungan.
6. Penggunaan dan pengelolaan air – perhatian terhadap penggunaan air di bangunan serta teknologi penyimpanan air.
7. Bahan yang digunakan dan pengelolaan sampah – perhatian terhadap penggunaan bahan daur ulang dan pengolahan limbah proyek konstruksi.
8. Pengelolaan lahan dan lingkungan – fokus pada efek yang ditimbulkan oleh keberadaan konstruksi terhadap ekosistem yang ada dan area terbuka hijau yang disediakan oleh pembangunan.

Di Indonesia, terdapat sebuah sistem sertifikasi untuk bangunan yang ramah lingkungan yang dinamakan Greenship. Sertifikasi ini dibuat oleh *Green Building Council Indonesia* (GBCI). Seperti sertifikasi lainnya, Greenship fokus pada efisiensi penggunaan energi, pengelolaan air, pemanfaatan material yang berkelanjutan, kualitas udara di dalam ruangan, serta aspek sosial yang terkait dengan bangunan. Kategori dan kriteria yang dievaluasi dalam sistem penilaian Greenship terdiri dari:

1. Pengembangan Lokasi yang Tepat (*Appropriate Site Development-ASD*)
2. Efisiensi dan Penghematan Energi (*Energy Efficiency and Conservation-EEC*)
3. Pelestarian Sumber Daya Air (*Water Conservation-WAC*)
4. Sumber Daya dan Sirkulasi Material (*Material Resources and Cycle-MRC*)
5. Kesehatan serta Kenyamanan dalam Ruangan (*Indoor Health and Comfort-IHC*)
6. Manajemen Lingkungan Bangunan (*Building Environment Management-BEM*)

Bangunan ramah lingkungan merupakan jenis konstruksi yang memperhatikan perlindungan, efisiensi, serta pengurangan dalam pemakaian sumber daya alam sejak tahap perencanaan,

pembangunan, hingga pemeliharaan operasionalnya. Selain itu, hal ini juga mencakup upaya menjaga kualitas udara di dalam ruangan dan kesehatan penghuninya, dengan semua tindakan tersebut berlandaskan pada prinsip keberlanjutan. Pertumbuhan bangunan berkelanjutan ini berasal dari penelitian yang menunjukkan bahwa sektor konstruksi menyerap 40% dari keseluruhan bahan bangunan di dunia, menggunakan 55% kayu untuk tujuan non-bahan bakar, 12,2% dari total penggunaan air, 40% dari total konsumsi listrik, dan menghasilkan 36% dari emisi karbon dioksida (Hoffman dan Henn, 2008). Mengingat dampak besar yang ditimbulkan terhadap lingkungan, muncul inisiatif untuk mengembangkan bangunan ramah lingkungan yang bertujuan meningkatkan efisiensi dalam proyek konstruksi serta mengurangi efek negatif yang mungkin ditimbulkan terhadap alam (Retzlaff, 2008). Berdasarkan informasi dari *Green Building Council Indonesia* (GBCI), terdapat enam kriteria yang dievaluasi dalam bangunan ramah lingkungan yang masing-masing memiliki tantangan tersendiri. Menurut penelitian oleh Chau dan rekan-rekan (2013), tantangan dalam penerapan bangunan hijau dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu:

1. Tantangan Terkait Komoditas

- a. Minimnya perhatian masyarakat terhadap bangunan ramah lingkungan
- b. Keterbatasan pengetahuan mengenai perhitungan dalam pengembangan bangunan ramah lingkungan
- c. Risiko dan ketidakpastian dalam proses pembangunan bangunan ramah lingkungan
- d. Kekurangan dana untuk membangun bangunan ramah lingkungan
- e. Ketidakpastian mengenai manfaat yang dapat diukur dalam penciptaan bangunan ramah lingkungan

2. Tantangan Perilaku Organisasi dan Pribadi

- a. Tidak adanya dorongan bagi investor untuk berinvestasi dalam bangunan ramah lingkungan
- b. Kurangnya pemahaman teknis dari anggota tim proyek tentang bangunan ramah lingkungan

- c. Rendahnya komitmen dari pemimpin organisasi untuk menjaga lingkungan
 - d. Tidak cukupnya komunikasi antara pihak-pihak terkait dan pengelola
 - e. Penolakan terhadap perubahan dalam pembangunan bangunan ramah lingkungan
3. Tantangan Terkait Proses
- a. Minimnya pengaturan kriteria yang dapat diukur untuk bangunan ramah lingkungan
 - b. Kurangnya komunikasi di antara anggota tim proyek saat membangun bangunan ramah lingkungan
 - c. Ketidakpastian mengenai informasi tentang teknik pembangunan berkelanjutan
 - d. Keterbatasan produk yang berkonsep hijau di wilayah sekitarnya

5.4 Kesimpulan

Bangunan hijau atau Green Building adalah elemen penting dalam mencapai target iklim global untuk dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan. Konsensus internasional seperti Paris Agreement dan SDGs memberikan arah dan dorongan bagi negara-negara untuk menerapkan prinsip bangunan hijau dalam kebijakan dan pembangunan di masing - masing negaranya. Penerapan bangunan hijau memiliki tantangan tersendiri baik di Indonesia maupun dinegara luar.

DAFTAR PUSTAKA

- World Green Building Council. (2022). *Green building: Improving the lives of billions by helping to achieve the UN Sustainable Development Goals*. Diakses pada 06 Agustus /1025 dari <https://worldgbc.org/article/green-building-improving-the-lives-of-billions-by-helping-to-achieve-the-un-sustainable-development-goals/>
- Green Building Council Indonesia. (2013). *Perangkat Penilaian Greenship: Greenship untuk Bangunan Baru versi 1.2*. Diakses pada 06 Agustus/1025, dari [https://www.gbcindonesia.org/files/resource/9b552832-b500-4b73-8c0e-acfaa1434731/Summary GREENSHIP New Building V1.2.pdf](https://www.gbcindonesia.org/files/resource/9b552832-b500-4b73-8c0e-acfaa1434731/Summary%20GREENSHIP%20New%20Building%20V1.2.pdf)
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia./1021. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor/11 Tahun/1021 Tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau*. Jakarta.
- Chau, C. K., Leung, T. M., Lutzkendorf, T. P., Balouktsi, M. (2013). "A Review on Barriers, Policies, and Governance for Green Buildings and Sustainable Properties." Sustainable Building/1013 Hong Kong Regional Conference, Hongkong, 12-13 September.
- Hoffman, A., Henn, R. (2008). "Overcoming the Social and Psychological Barriers to Green Building." Organization & Environment. Vol./11, No.4, 390-419.

BAB 6

EFISIENSI DAN KONSERVASI ENERGI DALAM BANGUNAN

Oleh Rahmayanti

6.1 Pendahuluan

Sektor bangunan merupakan salah satu kontributor terbesar dalam konsumsi energi global dan emisi gas rumah kaca. Menurut *International Energy Agency* (IEA, 2021), sektor bangunan menyumbang sekitar 36% konsumsi energi akhir global dan hampir 40% emisi karbon dioksida. Di Indonesia, kondisi iklim tropis lembap menuntut penggunaan energi dalam jumlah besar, terutama untuk kebutuhan pendinginan ruang, pencahayaan, dan ventilasi.

Bab ini bertujuan untuk memberikan pemahaman komprehensif tentang strategi efisiensi dan konservasi energi dalam bangunan, khususnya di daerah beriklim tropis lembap seperti Indonesia. Pembahasan meliputi prinsip dasar efisiensi energi, pendekatan desain pasif dan aktif, studi kasus bangunan hemat energi, serta tantangan dan peluang dalam penerapan strategi konservasi energi.

6.2 Konsep Dasar Efisiensi dan Konservasi Energi

Efisiensi dan konservasi energi adalah dua pendekatan integral dalam pengelolaan konsumsi energi di bangunan, terutama di wilayah tropis lembap seperti Indonesia. Efisiensi energi mengutamakan optimalisasi teknis sistem bangunan, sementara konservasi energi lebih fokus pada perilaku penghuni dan pengelolaan operasional.

6.2.1 Efisiensi Energi: Optimalisasi Teknologi dan Sistem

Efisiensi energi ditujukan untuk menghasilkan kenyamanan ruang dengan penggunaan energi seminimal

mungkin. Misalnya, penggunaan lampu LED, AC inverter, dan ventilasi pintar yang memungkinkan konsumsi lebih rendah dibanding teknologi konvensional. (Riantini *et al.*, 2024)

Desain bangunan yang tepat—seperti orientasi optimal terhadap sinar matahari dan penggunaan insulasi termal—juga meningkatkan efisiensi dengan menurunkan beban pendinginan. Riantini *et al.* menyoroti bahwa renovasi membran bangunan dan insulasi dapat mengurangi konsumsi tahunan hingga sekitar 15,8–27,7 %, dan potensi kombinasi sistem BIPV dan insulasi mencapai pengurangan hingga 32,2 %. (Riantini *et al.*, 2024)

6.2.2 Konservasi Energi: Manajemen Penggunaan dan Perilaku

Berbeda dengan efisiensi, konservasi energi menekankan pada perubahan kebiasaan penghuni untuk mengurangi konsumsi secara keseluruhan. Misalnya, mematikan peralatan saat tidak digunakan, membatasi penggunaan AC hanya saat dibutuhkan, dan memaksimalkan pemanfaatan cahaya alami.

Menurut (Kajjoba *et al.*, 2025) penerapan strategi konservasi dalam perumahan tropis berpenghasilan rendah dapat mengurangi konsumsi energi secara signifikan, terutama jika dipadukan dengan edukasi penghuni dan kebijakan yang mendorong penghematan energy. Meskipun memiliki fokus yang berbeda, efisiensi dan konservasi energi saling melengkapi. Efisiensi berorientasi pada “*melakukan lebih banyak dengan lebih sedikit energi*”, sedangkan konservasi berorientasi pada “*mengurangi konsumsi secara keseluruhan*”. Kajjoba *et al.* menyoroti bahwa keduanya perlu diintegrasikan untuk mencapai pengurangan energi yang efektif di lingkungan tropis.

6.2.3 Relevansi dalam Iklim Tropis Lembap

Di iklim tropis lembap, paparan radiasi matahari yang tinggi menyebabkan beban pendinginan meningkat. Studi oleh (Mohsenzadeh *et al.*, 2021) menunjukkan bahwa bentuk bangunan dan strategi shading sangat memengaruhi konsumsi energi bangunan di iklim tropis seperti Malaysia. Misalnya,

bentuk bangunan berbasis geometris tertentu (lingkaran) dengan self-shading mampu menurunkan kebutuhan pendinginan secara signifikan.

Lebih lanjut, prinsip desain pasif tropis—seperti ventilasi silang, shading eksternal, orientasi bangunan, dan pemilihan material reflektif serta isolatif—disebut sebagai strategi utama dalam mencapai efisiensi energi di kawasan tropis (Bulbaai dan Halman, 2021).

6.2.4 Kontribusi terhadap Tujuan Pembangunan Berkelanjutan

Efisiensi dan konservasi energi juga mendukung agenda global pembangunan berkelanjutan. International *Energy Agency* (2022) menegaskan bahwa efisiensi energi adalah “bahan bakar pertama” dalam strategi mitigasi iklim. Di Indonesia, roadmap sektor bangunan low-carbon menyoroti pentingnya efisiensi energi untuk mencapai target net zero emissions. (Danish Energy Agency, EBTKE Direktorat Energi Baru dan Global Alliance for Buildings and Construction, 2022).

Secara sosial dan lingkungan, penerapan kedua pendekatan ini membantu menekan emisi karbon, menurunkan biaya operasional, serta meningkatkan keadilan energi melalui bangunan yang nyaman dan hemat energi.

6.3 Penyebab Pemborosan Energi dalam Bangunan

Pemborosan energi dalam bangunan merupakan persoalan kompleks yang disebabkan oleh kombinasi antara desain yang tidak adaptif terhadap iklim, penggunaan teknologi yang tidak efisien, perilaku penghuni yang kurang sadar energi, serta lemahnya sistem pengelolaan energi bangunan. Di wilayah beriklim tropis lembap seperti Indonesia, desain bangunan seringkali tidak mempertimbangkan kondisi iklim lokal secara optimal. Orientasi bangunan yang salah, minimnya bukaan ventilasi, serta pemilihan material dengan konduktivitas termal tinggi menyebabkan tingginya kebutuhan pendinginan buatan, seperti penggunaan pendingin udara (AC) sepanjang hari (Langit, 2019). Kurangnya penerapan prinsip desain pasif seperti

shading, ventilasi silang, dan pemanfaatan pencahayaan alami juga memperburuk performa termal bangunan, yang berujung pada konsumsi energi yang tinggi.

Selain itu, ketergantungan pada sistem mekanik seperti pendingin udara dan pencahayaan buatan tanpa dukungan teknologi envelope yang efisien menyebabkan energi terbuang secara sia-sia. Bangunan dengan lapisan selubung (*building envelope*) yang buruk akan mudah menyerap panas, memaksa sistem pendingin bekerja lebih keras untuk menjaga kenyamanan termal di dalam ruang (Ardyananda, 2025). Tidak sedikit bangunan yang mengabaikan pentingnya material insulasi termal atau desain atap tropis yang mampu meminimalkan perpindahan panas.

Faktor perilaku penghuni juga menjadi penyebab signifikan pemborosan energi. Rendahnya kesadaran akan praktik hemat energi, seperti mematikan peralatan listrik saat tidak digunakan atau memanfaatkan ventilasi alami di waktu tertentu, turut menyumbang tingginya konsumsi energi bangunan (Effendy, 2021). Penggunaan AC secara terus-menerus bahkan pada saat ventilasi alami dapat dimanfaatkan menandakan belum tertanamnya budaya konservasi energi dalam aktivitas sehari-hari. Hal ini juga diperparah dengan minimnya edukasi atau pelatihan yang mendorong perilaku hemat energi, baik di lingkungan rumah tinggal maupun bangunan publik.

Lebih lanjut, ketiadaan sistem monitoring energi yang terintegrasi seperti *Building Energy Management System* (BEMS) menjadikan pengelola bangunan tidak memiliki informasi yang cukup untuk mengidentifikasi pola konsumsi energi secara real-time. Tanpa data konsumsi yang akurat, sulit untuk melakukan intervensi efisiensi yang tepat sasaran. Wu et al. (2021) menunjukkan bahwa penerapan BEMS dapat mengurangi konsumsi energi hingga 20% melalui pemantauan penggunaan energi dan otomatisasi sistem pengendalian.

Dengan demikian, untuk mengatasi pemborosan energi dalam bangunan, diperlukan pendekatan terpadu yang mencakup desain arsitektural adaptif iklim, penggunaan teknologi hemat energi, edukasi pengguna, serta penerapan

sistem pengelolaan energi yang modern. Tanpa kesadaran dan strategi yang tepat, bangunan akan terus menjadi salah satu penyumbang utama konsumsi energi dan emisi karbon di sektor permukiman dan perkotaan tropis.

6.4 Strategi Desain Hemat Energi

Strategi desain hemat energi untuk bangunan di iklim tropis lembap menitikberatkan pada pendekatan **pasif** dan **aktif** yang terpadu. Tujuannya adalah untuk menekan konsumsi energi pendinginan dan penerangan tanpa mengorbankan kenyamanan termal penghuni.

Pendekatan **desain pasif** meliputi orientasi bangunan yang meminimalkan paparan sinar matahari langsung dan memaksimalkan ventilasi silang, serta penggunaan shading eksternal seperti kanopi atau sirip untuk mengurangi beban panas pada atap dan dinding. Analisis di Curaçao oleh Bulbaai dan rekannya menunjukkan bahwa kombinasi orientasi optimal, ventilasi alami, dan shading dapat menurunkan suhu dalam bangunan secara signifikan, sehingga mengurangi ketergantungan pada AC (Bulbaai et al., 2021). Selain itu, studi pada kampung vernacular Samin di Jawa Tengah membuktikan bahwa orientasi memanjang ke selatan-utara, atap miring, dinding tipis, dan ventilasi alami mampu menurunkan temperatur dalam ruang hingga 5 °C (Nugroho, 2024).

Pendekatan **desain aktif** mencakup pemanfaatan teknologi tinggi seperti lampu LED, AC inverter, sensor cahaya otomatis, dan ventilasi hybrid. Sistem ventilasi hybrid memadukan ventilasi alami dengan kipas atau AC berdasarkan kondisi suhu dan kelembapan *real-time* sehingga efisiensi energi optimal (Shukla et al., 2023). *Retrofitting envelope* bangunan dengan material seperti *low-emissivity glazing* atau *ventilated façade* juga terbukti signifikan meminimalkan beban pendinginan (Chung-Camargo et al., 2025).

Tingkat penghematan dari strategi pasif dan hybrid secara kolektif cukup besar. Sebuah laporan oleh ASEAN Center for Energy melaporkan bahwa penerapan strategi pasif dapat mereduksi beban pendinginan hingga 20–40%, dan saat

digabung dengan sistem aktif, penghematan lebih signifikan (ASEAN Energy, 2024).

Secara keseluruhan, strategi desain hemat energi harus memasukkan aspek arsitektural adaptif iklim, sistem teknis efisien, dan kesadaran pengguna. Penerapan terpadu dari pendekatan pasif dan aktif sejak tahap awal perencanaan adalah langkah utama menuju bangunan tropis yang nyaman dan rendah energi.

Penerapan *building envelope* yang efisien juga merupakan bagian penting dari strategi desain hemat energi. Selubung bangunan yang dirancang untuk meminimalkan perpindahan panas melalui insulasi termal, jendela low-E, atau lapisan reflektif telah terbukti mengurangi beban energi untuk pendinginan dan pemanasan. Di daerah tropis lembap, penggunaan *ventilated façade* atau atap berongga dengan sirkulasi udara juga berkontribusi pada efisiensi energi secara signifikan (Karyono et al., 2020).

Di sisi lain, pemanfaatan sumber energi terbarukan seperti panel surya mulai diintegrasikan dalam desain bangunan hemat energi, khususnya pada bangunan komersial dan institusional. Meskipun investasi awal relatif tinggi, penghematan energi jangka panjang dan kontribusi terhadap target net-zero emission menjadikan strategi ini semakin relevan.

Secara keseluruhan, strategi desain hemat energi dalam bangunan tidak hanya memerlukan pendekatan teknis, tetapi juga keterpaduan antara perencanaan arsitektural, teknologi, dan kesadaran pengguna. Hanya dengan integrasi menyeluruh dari tahap desain hingga operasional, efisiensi energi dalam bangunan dapat dicapai secara optimal dan berkelanjutan di lingkungan tropis lembap.

6.5 Konservasi Energi dalam Operasional Bangunan

Konservasi energi dalam operasional bangunan berfokus pada pengurangan konsumsi melalui tindakan penghuni serta pengelolaan sistem yang cermat, tanpa bergantung pada perubahan struktur atau teknologi baru. Pendekatan ini bisa

diterapkan dengan cepat serta memerlukan biaya rendah, tetapi dampaknya dapat signifikan bila sistem dan perilaku pengguna mendukungnya.

Peran perilaku penghuni sangat vital dalam menekan konsumsi energi. Studi oleh Asensio & Delmas (2015) menunjukkan bahwa pemberian umpan balik *real-time* kepada penghuni pada bangunan asrama menyebabkan penurunan konsumsi listrik hingga 10–15 %, terutama saat diterapkan sistem gamifikasi dan tantangan antar penghuni. Intervensi perilaku seperti ini efektif baik di kampus, kantor, maupun rumah tinggal.

Selain itu, pengaturan thermostat AC juga menyimpan potensi penghematan besar. Kwong et al. (2014) melaporkan bahwa menaikkan setpoint suhu AC sebesar 2 °C di gedung kantor di iklim tropis dapat mengurangi penggunaan energi pendinginan sebanyak 20–30 %, sambil tetap menjaga kenyamanan termal penghuni

Sistem kontrol berpemaksa penghuni (*occupant-centric controls/OCC*) atau BEMS adaptif memungkinkan sistem HVAC merespons kehadiran dan preferensi penghuni secara *real-time*. Hal ini mengurangi pemborosan energi dengan menyalakan sistem hanya saat dibutuhkan. Teknologi ini terbukti dapat mengoptimalkan distribusi energi antar zona serta meningkatkan kenyamanan penghuni.

Lebih lanjut, perilaku adaptif penghuni seperti membuka atau menutup jendela ventilasi alami secara tepat juga berpengaruh besar terhadap efisiensi energi bangunan. Penelitian dalam konteks perubahan iklim tropis seperti yang dilakukan Putra et al. (2023) menunjukkan bahwa penghuni yang memahami pola ventilasi alami dapat mengurangi kebutuhan pendinginan mekanik tanpa mengurangi kenyamanan termal.

Secara keseluruhan, konservasi energi dalam operasional bangunan menekankan tiga aspek: (1) pendidikan dan pemberdayaan penghuni dengan umpan balik dan pelatihan, (2) manajemen setpoint dan penggunaan AC yang bijak, (3) penggunaan sistem kontrol cerdas yang adaptif terhadap kondisi nyata. Jika ketiga aspek ini dijalankan bersamaan, penghematan

energi bisa mencapai 20–30 %, tanpa memerlukan modifikasi desain structural.

6.6 Studi Kasus Bangunan Hemat Energi di Indonesia.

Beberapa studi kasus di Indonesia menunjukkan penerapan strategi efisiensi dan konservasi energi yang berhasil menurunkan konsumsi dan biaya operasional bangunan:

Salah satu studi kasus meliputi optimalisasi efisiensi energi Apartemen Mahata Serpong, di mana aplikasi EDGE digunakan untuk mengevaluasi potensi penghematan energi. Setelah pemasangan smart meter dan sistem energi terbarukan berbasis fotovoltaik, efisiensi meningkat dari 5,88 % menjadi 8,44 % dan biaya utilitas menurun dari Rp 190,4 juta menjadi Rp 186,5 juta per tahun (Fajar & Nurwidyaningrum, 2024).

Retrofitting gedung pemerintah daerah Jakarta melalui energy audit menemukan intensitas konsumsi energi (ENPI) mencapai 184 kWh/m²/tahun, menunjukkan kondisi tidak efisien. Implementasi audit merekomendasikan pemasangan PV rooftop yang mampu menghemat hingga 144.169 kWh/tahun (~53 % penghematan kos energi) (Fahlevi et al., 2024)

Selain itu, desain *near-zero energy house* (nZEH) tropis hasil simulasi di Indonesia menunjukkan pengurangan energi hingga 72 % dari konsumsi awal, dengan biaya siklus hidup meningkat minimal menggunakan kombinasi orientasi optimal, insulasi, dan teknologi PV (Latief et al., 2019).

Studi numerik mengenai penataan layout rumah menggunakan EnergyPlus mengungkapkan bahwa pengaturan tata letak ruang dapat mengurangi beban pendinginan hingga 24 % melalui desain fasad dan orientasi optimal (Zakiah, 2020).

Secara keseluruhan, studi-studi tersebut menegaskan bahwa efisiensi energi di Indonesia dapat dicapai melalui kombinasi desain pasif, retrofit sistem, integrasi energi terbarukan, serta manajemen operasional yang efektif. Melalui pendekatan holistik ini, potensi penghematan energi bangunan Indonesia terbukti sangat signifikan dan realistis diterapkan.

6.7 Tantangan dan Peluang

Penerapan efisiensi dan konservasi energi dalam bangunan di Indonesia menghadapi berbagai tantangan, namun juga membuka peluang strategis yang signifikan dalam mendukung pembangunan berkelanjutan.

Tantangan utama mencakup:

1. Kurangnya Kesadaran dan Edukasi

Banyak pemilik bangunan, pengembang, dan bahkan profesional teknis belum memiliki pemahaman memadai tentang potensi penghematan energi melalui strategi desain maupun operasional. Kurangnya pelatihan teknis tentang efisiensi energi menjadi hambatan awal dalam implementasi di lapangan (Utama & Hagishima, 2020).

2. Keterbatasan Regulasi dan Penegakan

Meskipun pemerintah telah menerbitkan Peraturan Menteri ESDM No. 13/2012 tentang Penghematan Energi dan Peraturan Gubernur DKI Jakarta No. 38/2012 tentang Bangunan Gedung Hijau, implementasinya masih lemah. Banyak bangunan belum terintegrasi dengan sistem sertifikasi energi atau audit yang efektif.

3. Biaya Awal Implementasi Teknologi

Penggunaan teknologi efisiensi seperti sistem kontrol otomatis, panel surya, atau material insulasi cenderung memiliki biaya awal tinggi, yang menjadi penghambat bagi pelaku industri kecil-menengah maupun perumahan sederhana. Studi menunjukkan bahwa pengembang lebih memilih efisiensi yang bersifat ekonomis jangka pendek dibandingkan investasi jangka panjang (Purnomo & Juwana, 2021).

4. Keterbatasan Data Iklim Mikro dan Analisis

Desain berbasis iklim lokal membutuhkan data iklim mikro yang akurat dan perangkat simulasi yang dapat diakses. Di banyak wilayah Indonesia, data ini masih belum tersedia secara luas atau belum digunakan secara optimal dalam proses desain bangunan.

Namun demikian, terdapat pula sejumlah peluang besar, antara lain:

1. Kemajuan Teknologi dan Simulasi Energi

Perkembangan perangkat lunak simulasi seperti EnergyPlus, DesignBuilder, dan IES-VE memungkinkan prediksi performa energi bangunan sejak tahap awal desain. Hal ini membuka peluang integrasi strategi hemat energi berbasis data iklim lokal dan perhitungan beban termal yang akurat.

2. Dukungan Kebijakan dan Pasar Green Building

Adanya insentif pajak, kemudahan perizinan, dan dorongan dari program seperti Bangunan Gedung Hijau (BGH) atau EDGE (*Excellence in Design for Greater Efficiencies*) mendorong tumbuhnya pasar bangunan hemat energi, terutama di kawasan urban.

3. Potensi Besar Energi Terbarukan

Iklim tropis lembap memberikan potensi tinggi terhadap energi surya, ditambah dengan penurunan harga teknologi fotovoltaik. Ini menjadikan integrasi sistem PV rooftop sebagai solusi energi bersih yang terjangkau untuk bangunan tropis.

4. Kesadaran Lingkungan Masyarakat Urban

Perkembangan tren gaya hidup berkelanjutan di kalangan masyarakat perkotaan, terutama generasi muda, menjadi pendorong meningkatnya permintaan terhadap bangunan yang lebih efisien secara energi dan ramah lingkungan.

Menghadapi tantangan dan memanfaatkan peluang tersebut memerlukan sinergi antara peran pemerintah, akademisi, industri, dan masyarakat dalam mendorong inovasi desain dan kebijakan berbasis bukti. Pendekatan yang inklusif dan kolaboratif menjadi kunci keberhasilan dalam mewujudkan sistem bangunan yang hemat energi dan berkelanjutan di Indonesia.

6.8 Kesimpulan

Bangunan memiliki kontribusi signifikan terhadap konsumsi energi global dan emisi karbon, terutama di wilayah

beriklim tropis lembap seperti Indonesia. Kondisi iklim yang panas dan lembap mendorong tingginya penggunaan sistem pendingin udara, pencahayaan buatan, dan peralatan listrik lainnya, yang berdampak pada meningkatnya kebutuhan energi dalam sektor ini.

Efisiensi dan konservasi energi merupakan pendekatan strategis untuk mengurangi konsumsi energi tanpa mengorbankan kenyamanan penghuni. Konsep ini mencakup berbagai strategi, mulai dari desain arsitektur pasif seperti orientasi bangunan, ventilasi alami, dan penggunaan pencahayaan alami, hingga integrasi sistem aktif yang hemat energi serta penerapan teknologi terbarukan.

Penerapan strategi ini sangat dipengaruhi oleh pemahaman terhadap penyebab pemborosan energi di bangunan, seperti desain yang tidak sesuai iklim, spesifikasi material dan peralatan yang tidak efisien, serta pola penggunaan energi yang tidak terkontrol. Oleh karena itu, strategi efisiensi energi tidak hanya perlu diterapkan pada tahap desain dan konstruksi, tetapi juga dalam operasional bangunan sehari-hari melalui manajemen energi yang cermat.

Studi kasus bangunan hemat energi di Indonesia menunjukkan bahwa pendekatan yang tepat mampu menghasilkan penghematan energi yang signifikan sekaligus meningkatkan kenyamanan termal. Meskipun terdapat tantangan seperti kurangnya regulasi yang kuat, keterbatasan data iklim lokal, dan biaya awal implementasi teknologi, terdapat pula peluang besar melalui perkembangan teknologi, dukungan kebijakan, serta meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap isu lingkungan.

Dengan kolaborasi antara pemerintah, akademisi, profesional desain, dan masyarakat, transformasi menuju bangunan hemat energi bukan hanya memungkinkan, tetapi juga penting dalam mendukung target pembangunan rendah karbon dan berkelanjutan di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Attia, S., Bilir, S., Safy, T. & Struck, C.,2020. Development of a set of performance indicators to evaluate the effectiveness of passive design strategies in reducing cooling energy demand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 121, p.109696. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109696>
- Azhar, S., Carlton, W.A., Olsen, D. & Ahmad, I.,2011. Building Environmentally Sustainable Construction Projects. *Journal of Cleaner Production*, 19(6-7), pp. 564-571. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.09.006>
- Darmawan, A. & Rahmawati, Y.,2023. Studi Desain Bangunan Hemat Energi Berbasis Iklim Tropis Lembap. *Jurnal Arsitektur Tropis*, 11(2), pp. 101-112. <https://doi.org/10.21776/ub.jat.2023.011.02.6>
- Gou, Z., Lau, S.S.Y. & Zhang, Y.,2012. Designing green buildings: Developments in tropical climate. *Building and Environment*, 61, pp.31-38. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.12.007>
- Hermawan, B. & Pratiwi, N.,2022. Evaluasi Pemborosan Energi pada Bangunan Gedung Perkantoran. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur (JTSA)*,/11(1), pp. 45-55. [Online] Tersedia di: <https://jurnal.uns.ac.id/jtsa/article/view/52637>
- IEA,2021. *Tracking Buildings/1021*. International Energy Agency. [Online] Tersedia di: <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings-2021>
- Kementerian PUPR,2015. *Peraturan Menteri PUPR No. 02/PRT/M/2015 tentang Bangunan Gedung Hijau*. Jakarta: Direktorat Jenderal Cipta Karya.
- Nasir, R. & Abdullah, H.,2017. Potential energy saving in tropical building through passive design strategies. *Journal of Building Performance*, 8(1), pp.1-10. <https://doi.org/10.11113/jbp.v8n1.280>
- Sartika, L. & Yuliastuti, N.,2020. Konservasi Energi pada Gedung Pemerintahan Berbasis Manajemen Energi. *Jurnal Arsitektur dan Lingkungan Binaan*, 7(1), pp. 13-22. <https://doi.org/10.22146/jalb.2020.7.1.13-22>

- UNEP,2022./1022 *Global Status Report for Buildings and Construction*. United Nations Environment Programme. [Online] Tersedia di:
<https://globalabc.org/resources/publications/2022-global-status-report-buildings-and-construction>
- Yulastuti, N. & Wicaksono, A.,2021. Tantangan Implementasi Desain Hemat Energi di Indonesia. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 32(2), pp. 139-150.
<https://doi.org/10.14710/pwk.v32i2.139-150>

BAB 7

PENGELOLAAN SUMBER DAYA DAN LAHAN BERKELANJUTAN

Oleh Nova Purnama Lisa

7.1 Pendahuluan

Pembangunan fisik yang pesat di berbagai kawasan, terutama di wilayah perkotaan, telah berdampak signifikan pada lingkungan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Salah satu konsekuensi paling nyata adalah meningkatnya tekanan pada sumber daya alam dan berkurangnya ketersediaan lahan produktif. Arsitektur, sebagai komponen utama dalam proses pembangunan, memiliki peran strategis dalam menentukan pola pemanfaatan ruang serta intensitas penggunaan sumber daya seperti air, energi, dan material (Farahdina *et al.*,2025). Oleh karena itu, pengelolaan sumber daya dan lahan secara berkelanjutan menjadi suatu keharusan dalam praktik arsitektur modern.

Secara global, berbagai inisiatif dan perjanjian internasional seperti Paris Agreement, Agenda/1030 for Sustainable Development, dan New Urban Agenda telah menekankan pentingnya transisi menuju sistem pembangunan rendah karbon dan ramah lingkungan. Salah satu pilar dari Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), khususnya Tujuan ke-11 (Kota dan Permukiman Berkelanjutan) dan Tujuan ke-12 (Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab), menuntut integrasi prinsip efisiensi sumber daya dan tata kelola lahan yang berkeadilan. Dalam konteks ini, arsitektur tidak lagi dipandang sekadar sebagai produk fisik, melainkan sebagai bagian dari solusi multidimensi atas krisis lingkungan dan iklim global (UN-Habitat,2020).

Pengelolaan sumber daya dan lahan berkelanjutan tidak semata bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan,

melainkan juga untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dan memperpanjang umur guna /pakai bangunan. Prinsip ini menitik beratkan pada pemahaman bahwa semua proses Pembangunan harus mempertimbangkan kapasitas regeneratif alam (Herbert,2008). Dalam konteks arsitektur pendekatan ini diwujudkan melalui desain yang mengoptimalkan fungsi tapak, pemilihan material rmaah lingkungan, penerapan system energi terbarukan, serta konservasi air dan keanekaragaman hayati. Pembangunan yang tidak memperhatikan daya dukung lingkungan kerap menyebabkan kerentanan terhadap bencana ekologis seperti banjir, tanah longsor, serta penurunan kualitas air dan udara. Disisi lain, pendekatan yang partisipatif dan berbasis konteks lokal dapat menghasilkan intervensi desain yang lebih adaptif dan inklusif (Farr, 2008), sehingga ini menjadikan *role model* praktik arsitektur berkelanjutan sebagai bagian dari stratgeis mitigasi perubahan iklim dan perwujudan keadilan ekologis.

Lebih jauh, (Kustiwan,2022) menyebutkan keberlanjutan dalam pengelolaan sumber daya dan lahan bukan hanya persoalan teknis, tetapi juga menyentuh aspek sosial, ekonomi, dan budaya. Di banyak wilayah di Indonesia, seperti daerah adat di Kalimantan dan Nusa Tenggara, telah lama dikenal praktik-praktik lokal dalam mengelola lahan secara bijak. Contohnya adalah sistem ladang berpindah yang berbasis rotasi alami atau pemanfaatan material bangunan dari sumber lokal yang dapat terbarukan. Pendekatan semacam ini mencerminkan pentingnya rekognisi terhadap kearifan lokal sebagai bagian dari strategi adaptasi terhadap perubahan iklim dan degradasi lingkungan.

Di Indonesia, tantangan dalam pengelolaan sumber daya dan lahan juga sangat kompleks. Alih fungsi lahan yang masif, degradasi lingkungan, serta ketimpangan akses terhadap sumber daya menjadi persoalan yang memengaruhi keberlanjutan pembangunan secara keseluruhan. Fenomena *urban sprawl* di kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya, dan Medan telah menyebabkan terfragmentasinya ruang terbuka hijau dan meningkatnya ketergantungan pada energi fosil. Di sisi lain, kawasan perdesaan dan pesisir menghadapi tekanan akibat

eksploitasi sumber daya dan kurangnya tata kelola lingkungan berbasis komunitas. Hal ini diperparah oleh lemahnya integrasi antara perencanaan tata ruang, kebijakan lingkungan, dan desain arsitektur (Ismail,2019).

Mempertimbangkan segala dinamika global dan lokal tersebut, penting bagi para arsitek dan perencana untuk memahami bahwa keberlanjutan bukanlah sebuah pilihan, melainkan sebuah komitmen jangka panjang terhadap keseimbangan antara kebutuhan manusia dan kelestarian ekosistem. Bab ini disusun untuk memberikan landasan konseptual dan strategis dalam memahami pengelolaan sumber daya dan lahan berkelanjutan, khususnya dalam konteks arsitektur dan lingkungan binaan di Indonesia, serta menyoroti praktik terbaik dan inovasi yang dapat diterapkan dalam berbagai skala proyek.

7.2 Urgensi Pengelolaan Sumber Daya dan Lahan

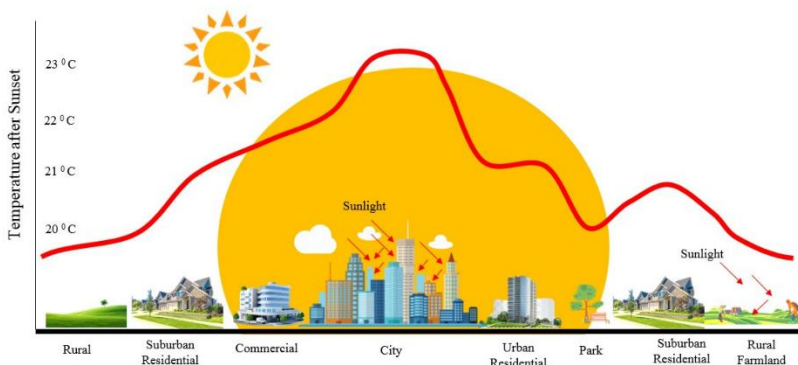
Dalam konteks arsitektur berkelanjutan, pengelolaan sumber daya seperti air, energi, dan material bangunan, serta lahan, menjadi fondasi penting untuk menciptakan bangunan dan lingkungan binaan yang ramah lingkungan. Pendekatan ini tidak hanya mempertimbangkan efisiensi dan konservasi, tetapi juga menjaga keseimbangan ekologi dan memperhatikan keberlanjutan sosial serta ekonomi masyarakat sekitar.

Pembangunan arsitektur modern menghadapi tantangan besar dalam mengatasi krisis lingkungan global, seperti perubahan iklim, penurunan kualitas tanah, kelangkaan air, dan eksploitasi sumber daya alam. Oleh karena itu, pengelolaan sumber daya dan lahan yang bijaksana menjadi aspek krusial untuk mendorong praktik arsitektur berkelanjutan. Arsitektur tidak hanya dituntut untuk merancang ruang yang estetik dan fungsional, tetapi juga harus memperhatikan dampak ekologis dari pemanfaatan lahan serta sumber daya yang digunakan, mulai dari proses perancangan hingga operasional bangunan.

Pengelolaan sumber daya yang tepat mampu menurunkan jejak karbon, mengurangi konsumsi energi dan air, serta mendukung prinsip sirkularitas dalam pemanfaatan material

bangunan (Zuo and Zhao,2014). Di sisi lain, pengelolaan lahan yang berkelanjutan mempertimbangkan aspek konservasi, kemampuan lahan, serta keberlanjutan ekologis dan sosial kawasan yang dikembangkan (Turner, Lambin, & Reenberg,2007). Ini mencakup strategi seperti meminimalkan alih fungsi lahan produktif, penerapan prinsip tata ruang berbasis ekosistem, serta integrasi elemen alami dalam desain arsitektur.

Dalam studi yang dilakukan oleh (LAWRENCE, 1997) disebutkan bahwa salah satu pilar utama dalam *green building* adalah efisiensi dalam penggunaan sumber daya, termasuk air, energi, dan material. Hal ini menegaskan bahwa perencanaan arsitektur yang tidak memperhitungkan aspek keberlanjutan sumber daya akan memperbesar risiko degradasi lingkungan secara sistematis. Terlebih lagi, kawasan urban yang berkembang pesat seringkali mengabaikan nilai ekologis dari lahan. Akibatnya, terjadi peningkatan suhu permukaan (*urban heat island*), hilangnya habitat alami, dan penurunan kualitas lingkungan hidup (Amani *et al.*,/1025)



Gambar 7.1. Diagram hipotetis sejalan dengan konsep pulau pemanasan perkotaan.
(Sumber :Amani et al.,2025)

Di Indonesia, pengelolaan sumber daya dan lahan menghadapi kompleksitas tersendiri, terutama disebabkan oleh lemahnya implementasi kebijakan tata ruang, konflik agraria,

serta rendahnya kesadaran lingkungan dalam praktik desain dan konstruksi. Oleh karena itu, arsitek perlu mengadopsi pendekatan ekologi lanskap dan prinsip arsitektur bioklimatik. Langkah ini penting agar bangunan dan kawasan yang dirancang mampu beradaptasi dengan kondisi lokal serta memperkuat kapasitas lingkungan dalam mempertahankan keberlanjutan (Wicaksono & Prasetyo, 2020).

Lebih jauh, pendekatan arsitektur berkelanjutan tidak dapat dipisahkan dari konsep integratif antara desain, pemanfaatan teknologi ramah lingkungan, dan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sumber daya secara kolektif. Upaya seperti penggunaan material lokal, penerapan sistem drainase berkelanjutan (*Sustainable Urban Drainage Systems/SUDS*), *urban farming*, serta pelestarian lahan hijau di kawasan perkotaan dapat menjadi langkah strategis dalam menghadapi tantangan keberlanjutan (Hanna and Comín, 2021).

Seberapa besar urgensi pengelolaan sumber daya dan lahan dalam arsitektur tidak hanya menyangkut aspek teknis, tetapi juga mencakup dimensi etis dan tanggung jawab profesional arsitek terhadap lingkungan dan generasi mendatang. Penguatan perspektif ini dalam pendidikan dan praktik arsitektur sangat diperlukan untuk menghasilkan solusi desain yang tidak hanya estetis secara visual, tetapi juga selaras dengan prinsip keberlanjutan ekologis.

7.3 Konsep Dasar Pengelolaan Berkelanjutan

7.3.1 Definisi dan Prinsip Pengelolaan Berkelanjutan

Pengelolaan berkelanjutan mengacu pada pendekatan penggunaan sumber daya secara efisien dan bertanggung jawab untuk memenuhi kebutuhan saat ini. Dalam praktik arsitektur, hal ini bertujuan meminimalkan jejak ekologis dari setiap tahapan siklus hidup bangunan, mulai dari desain, konstruksi, operasi hingga pembongkaran. Sehingga Prinsip pengelolaan berkelanjutan menjadi dasar konsentrasi dalam implementasi strategis berkelanjutan lihat **Gambar 7.2**.

Disisi lain pola konsentrasi pembangunan perkotaan di Indonesia telah menyebabkan tingginya laju urbanisasi dan

perkembangan wilayah kota secara tidak berkelanjutan (*Unsustainable Urban Development*), hal ini menyebabkan semakin besarnya tingkat pembangunan dan pertumbuhan kota yang berdampak pada praktik spekulasi lahan meningkat, contohnya dalam pemenuhan kebutuhan akan rumah, praktik spekulasi lahan dan keterbatasan subsidi pemerintah atas peruntukan rumah-rumah sederhana bagi masyarakat berpenghasilan rendah telah banyak membuat kesulitan yang seakan tak pernah terselesaikan. Seiring permintaan yang semakin meningkat, sektor desain bangunan rumah menjadi salah satu sektor riil yang dapat bertahan dalam masa krisis seperti sekarang.

Prinsip Pengelolaan Berkelanjutan



Gambar 7.2. Prinsip Pengelolaan Berkelanjutan

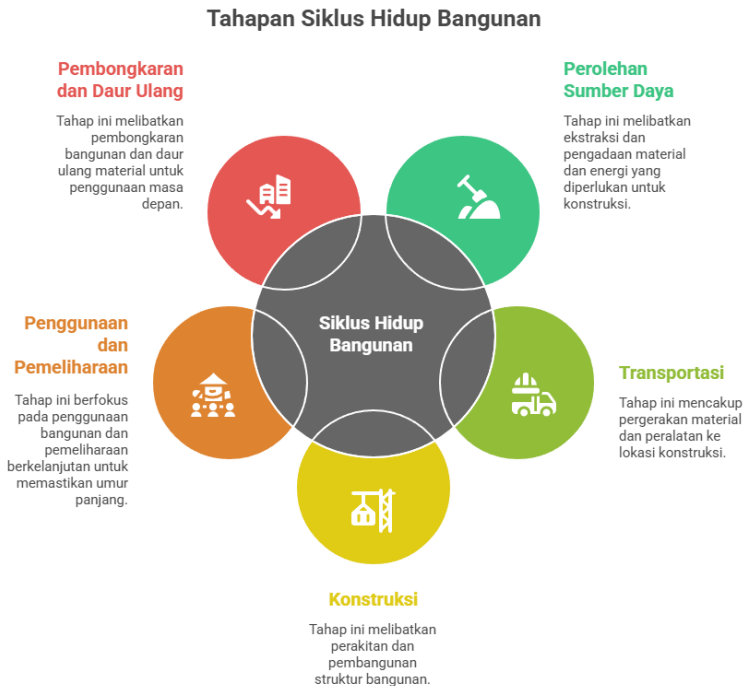
Tantangan terbesar yang dihadapi manusia saat ini yaitu fenomena degradasi lingkungan (Farahdina *et al.*,2025). Meningkatnya kerusakan alam diperburuk dengan dampak pemanasan global, menyebabkan dampak perubahan iklim yang semakin sering terjadi. Meningkatnya kebutuhan pembangunan desain bangunan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan diyakinin menjadi solusi yang tepat. Namun faktanya masih banyak yang mengabaikan keselarasan dengan alam, baik dari

segi konsumsi pengelolaan sumber daya maupun implementasi teknologi yang digunakan.

7.3.2 Konsep Daur Hidup Bangunan (*Life Cycle Thinking*)

Pendekatan *life cycle thinking* mendorong arsitek untuk mempertimbangkan dampak lingkungan dari awal hingga akhir siklus bangunan, Strategi perancangan yang mendukung keberlanjutan harus memperhitungkan efisiensi energi, pemilihan material yang memiliki umur panjang dan dapat didapat didaur ulang, serta sistem bangunan yang adaptif terhadap perubahan kebutuhan.

Dalam arsitektur berkelanjutan pendekatan *life cycle thinking* merupakan paradigma yang menempatkan keberlanjutan sebagai pertimbangan utama di setiap fase siklus hidup bangunan, mulai dari tahap perolehan sumber daya hingga pembongkaran dan daur ulang. Konsep ini berangkat dari kesadaran bahwa dampak lingkungan tidak hanya terjadi pada saat bangunan digunakan saja, tetapi sejak awal bangunan direncanakan dan berlanjut hingga akhir pakainya (Cabeza *et al.*,2014).



Gambar 7.3. Tahapan Siklus Hidup Bangunan
(Sumber : (Cabeza *et al.*,2014))

1. Perolehan Sumber Daya (Material dan Energi)

Tahapan ini mencakup proses ekstraksi bahan baku dan penyediaan energi yang akan digunakan dalam pembangunan. Pemilihan material yang bersumber dari sumber daya terbarukan, memiliki kandungan daur ulang, atau diproduksi secara lokal dapat mengurangi emisi dari proses penambangan dan transportasi. Dalam konteks berkelanjutan, prinsip yang digunakan meliputi diantaranya;

- a. Material ramah lingkungan seperti; bambu, kayu bersertifikat FSC (*Forest Stewardship Council*), atau bata ramah energi.
- b. Energi rendah emisi dalam proses produksi material seperti; semen rendah klinker atau baja daur ulang.

- c. Pengurangan penggunaan material yang berdampak tinggi terhadap lingkungan seperti; aluminium primer atau plastik berbasis fosil
2. Transportasi
- Transportasi material dan peralatan menuju lokasi konstruksi juga berkontribusi terhadap jejak karbon total bangunan. Dalam prinsip *life cycle thinking*, jarak dan moda transportasi menjadi faktor penting. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip low carbon supply chain yang mengurangi emisi pada tahap pra konstruksi. Strategi berkelanjutan yang dapat diterapkan diantaranya;
- a. Memprioritaskan pemasok lokal untuk mengurangi jejak distribusi
 - b. Menggunakan moda transportasi massal atau efisien energi untuk pengangkutan
 - c. Meminimalkan pengiriman parsial melalui perencanaan logistik yang tepat.
3. Konstruksi
- Fase konstruksi sering kali menghasilkan limbah padat, polusi udara dan kebisingan. Pendekatan konstruksi yang hemat sumber daya ini mendukung prinsip resource efficiency dalam aritektur berkelanjutan. Pengelolaan pada tahap ini berfokus pada efisiensi proses dan pengurangan dampak lingkungan melalui;
- a. Teknik Konstruksi Presisi seperti; *prefabrication* dan *modular construction* yang mengurangi sisa material.
 - b. Pengelolaan limbah konstruksi melalui segregasi dan daur ulang di lokasi proyek
 - c. Optimalisasi penggunaan energi di lapangan; misalnya dengan peralatan hemat energi atau pemanfaatan listrik dari sumber terbarukan.
4. Penggunaan dan Pemeliharaan
- Tahap penggunaan merupakan fase terpanjang dalam siklus hidup bangunan dan menyumbang porsi terbesar dari

konsumsi energi total bangunan yang berkorelasi dengan performa kinerja bangunan. Penerapan desain pasif seperti; ventilasi alami; pencahayaan alami; dan penerapan desain teknologi hemat energi seperti; lampu LED, HVAC efisien dapat mengurangi konsumsi energi operasional. Pendekatan ini berkontribusi pada pengurangan operational carbon dan biaya siklus hidup bangunan. Pemeliharaan mencakup diantaranya;

- a. Penggunaan bahan pelapis dan cat rendah VOC untuk menjaga kualitas udara dalam ruang
- b. Perawatan berkala untuk memperpanjang umur komponen bangunan
- c. Integrasi sistem monitoring energi dan air untuk memastikan efisiensi berkelanjutan

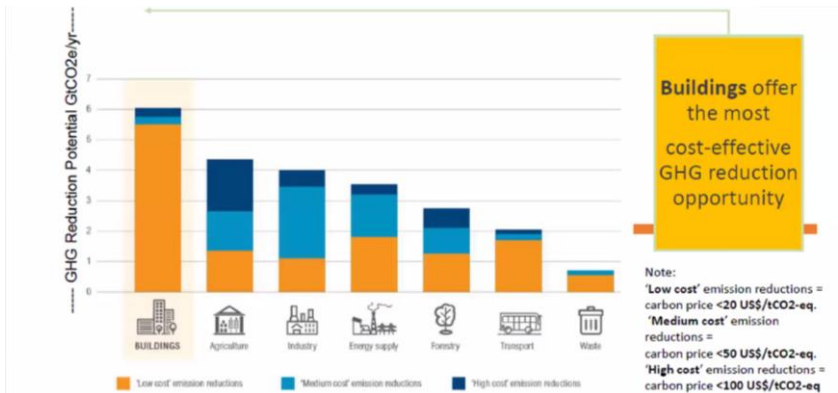
5. Pembongkaran dan Daur Ulang

Tahap akhir dari siklus yang sering diabaikan dalam perencanaan bangunan yaitu pembongkaran dan daur ulang, padahal di fase ini dapat menghasilkan limbah konstruksi yang signifikan. Dalam kerangka keberlanjutan, strategi *design for disassembly* menjadi krusial, yaitu merancang bangunan dengan sistem sambungan dan modul yang memudahkan pembongkaran tanpa merusak material sehingga dapat digunakan kembali. Upaya strategis yang dapat dilakukan memastikan bahwa nilai material tetap berada dalam siklus ekonomi (*circular economy*) dan tidak menjadi limbah, mencakup;

- a. Pemisahan material berdasarkan jenis untuk memudahkan proses daur ulang.
- b. Pemanfaatan kembali komponen struktural atau elemen interior
- c. Mengubah bangunan lama menjadi fungsi baru (*adaptive reuse*) sebelum opsi pembongkaran dilakukan.

Pendekatan *life cycle thinking* bukan hanya menggeser fokus dari sekedar "bangunan efisien" menjadi bangunan berkelanjutan dari hulu ke hilir, tetapi juga memperkuat prinsip

circular economy, efisiensi sumber daya dan pengurangan jejak karbon. Dalam konteks lokal konsep ini mampu mengintegrasikan kearifan lokal, teknologi ramah lingkungan dan kebijakan tata kelola bangunan yang mendorong keberlanjutan jangka panjang.



Gambar 7.4. Decarbonization, upaya mengurangi GHG diberbagai sektor
(Sumber : IPCC.2007)

Berdasarkan **Gambar 7.4** berbagai sektor penyumbang emisi, sektor bangunan memiliki potensi pengurangan emisi terbesar, dibandingkan sektor lainnya, yaitu sekitar 6,5 – 7 Gt Coe/Tahun dan secara signifikan menunjukkan, sebagian besar potensi pengurangan emisi di sektor bangunan berada pada kategori biaya rendah (warna oranye), artinya relatif murah untuk dilakukan.

Ini dapat difahami secara global, bahwa intervensi di sektor bangunan, mislanya; efisiensi energi, desain pasif, retrofit gedung bangunan lama, dapat memberikan dampak besar terhadap pengurangan emisi dengan biaya per ton CO yang relatif rendah. Korelasi terhadap konsep *lifa cyle thinking* bahwa potensi pengurnagan emisi terbesar di sektor bangunan ini bisa diperoleh jika mengoptimalkan seluruh tahap siklus hidupnya, mulai dari material, konstruksi, hingga pemakaian dan daur ulang.

Tabel 7.1. Estimasi biaya mengurangi emisi karbon
(*Decarbonization*)

Colour	Low cost	Medium cost	High cost
LC	</10 US \$/tCO ₂ -eq		
MC		< 50 US \$/tCO ₂ -eq	
HC			< 100 US \$/tCO ₂ -eq

Sumber: IPCC,2007

7.3.3 Prinsip Reduce, Reuse, Recycle

Penerapan **3R** dalam *Life Cycle Thinking* bukan hanya strategi teknis, tetapi juga pendekatan strategis untuk mengurangi dampak lingkungan secara menyeluruh.

1. Reduce

Pada skala global, **Reduce** terbukti memberikan kontribusi paling signifikan dalam penurunan emisi karbon. Hal ini selaras dengan studi *World Green Building Council* (2020) yang menegaskan bahwa efisiensi material dan desain hemat energi pada tahap awal perencanaan dapat menurunkan *embodied carbon* hingga 50%. Prinsip ini penting mengingat bahwa sekitar 39% emisi gas rumah kaca global berasal dari sektor konstruksi dan bangunan.

2. Reuse

Reuse memiliki peran strategis pada tahap pertengahan hingga akhir siklus hidup bangunan. Praktik *adaptive reuse* atau pemanfaatan kembali bangunan lama tidak hanya menghemat sumber daya, tetapi juga berkontribusi pada pelestarian identitas kota dan warisan budaya. Dalam konteks Indonesia, peluang ini sangat relevan di kota-kota dengan stok bangunan lama seperti Jakarta, Surabaya, dan Semarang, di mana regenerasi kawasan dapat meminimalkan kebutuhan pembangunan baru dan mengurangi limbah konstruksi yang sering kali tidak terkelola.

3. Recycle

Sementara itu, **Recycle** menjadi kunci pada fase akhir siklus hidup bangunan. Negara-negara maju telah menerapkan sistem *material recovery* yang memungkinkan daur ulang material konstruksi secara masif. Namun, di Indonesia, tantangan masih terletak pada infrastruktur pengolahan limbah konstruksi yang terbatas dan rendahnya tingkat pemilahan material di lapangan. Penerapan *design for disassembly* (DfD) konsep yang memudahkan pembongkaran dan pemisahan material; dapat menjadi solusi agar proses daur ulang lebih efektif di masa depan.

Jika diintegrasikan dengan benar, ketiga prinsip ini membentuk siklus tertutup (*closed-loop system*) yang mendukung **ekonomi sirkular** di sektor konstruksi. Penerapan 3R dalam *Life Cycle Thinking* tidak hanya menekan penggunaan sumber daya alam, tetapi juga menciptakan nilai ekonomi baru dari material yang sebelumnya dianggap limbah. Oleh karena itu, dalam arsitektur berkelanjutan, keberhasilan pengelolaan sumber daya dan lahan tidak dapat dilepaskan dari kemampuan mengintegrasikan *Reduce*, *Reuse*, dan *Recycle* secara konsisten di setiap tahap siklus hidup bangunan lihat **Tabel 7.2**.

Selanjutnya, konsep tersebut dapat diterjemahkan bahwa pendekatan “Sustainable” dalam konteks “Architecture” perlu diterapkan secara menyeluruh dengan melihat seluruh daur hidup dari bangunan tersebut. Konsep ini tidak cukup hanya semata-mata diterapkan pada elemen-elemen bangunan secara terpisah.

7.3.4 Pengelolaan Sumber Daya Alam

Sumber daya alam merupakan komponen utama yang menopang keberlangsungan hidup manusia dan system Pembangunan. Dalam arsitektur berkelanjutan, pengelolaan air, energi dan material bangunan secara bijak menjadi fondasi penting untuk mengurangi tekanan terhadap lingkungan dan menciptakan bangunan yang efisien dan Tangguh.

1. Pengelolaan air

Air merupakan sumber daya vital yang harus dikelola secara efisien dalam desain dan operasional bangunan.

a. Konservasi Air

- 1) Menggunakan perlengkapan sanitasi hemat air (*low-flow fixtures*)
- 2) Penerapan sistem dual flush toilet dan sensor otomatis
- 3) Edukasi pengguna tentang perilaku hemat air

b. Sistem Pemanfaatan Air Hujan (*Rainwater Harvesting*)

- 1) Menampung dan menyimpan air hujan dari atap untuk keperluan non-potable (irigasi, toilet)
- 2) Mengurangi limpasan permukaan dan potensi banjir lokal

c. Daur Ulang Air (*Greywater Recycling*)

- 1) Mengolah air bekas dari wastafel, shower dan mesin cuci untuk digunakan Kembali
- 2) Mengurangi konsumsi air bersih hingga 50%

d. Lansekap Hemat Air (*Xeriscaping*)

- 1) Memilih vegetasi lokal yang tahan kekeringan
- 2) Menggunakan sistem irigasi tetes untuk menjaga kelembaban tanah

2. Pengelolaan Energi

Penggunaan energi dalam bangunan menyumbang emisi karbon yang signifikan, oleh karena itu, efisiensi dan transisi ke energi terbarukan menjadi strategi prioritas

a. Efisiensi Energi Bangunan

- 1) Desain pasif untuk ventilasi alami dan pencahayaan siang hari
- 2) Insulasi termal dan orientasi bangunan yang tepat
- 3) Penggunaan sistem pencahayaan LED dan peralatan hemat energi

b. Energi Terbarukan

- 1) Solar Photovoltaic; sistem panel surya untuk suplai Listrik mandiri

- 2) Solar Thermal; pemanas air tenaga surya
- 3) Angin dan biomassa; sebagai alternatif tergantung Lokasi
- 4) Bangunan net-zero energy sebagai arah ideal

Tabel 7.2. Korelasi Konsep 3R dan Konsep Life Cycle

Konsep 3R	Definisi	Prinsip Dasar Pengelolaan Berkelanjutan	Tahap Life Cycle Building yang Relevan	Contoh Penerapan di Arsitektur Berkelanjutan	Dampak Positif
Reduce (Mengurangi)	Mengurangi konsumsi sumber daya dan energi sejak tahap perencanaan hingga operasional	Efisiensi sumber daya, pencegahan polusi, penurunan emisi karbon	Perolehan Sumber Daya, Desain, Konstruksi, Operasional	- Desain hemat energi, - penggunaan material berdurabilitas tinggi, - optimalisasi pencahayaan & ventilasi alami	- Menekan eksploitasi SDA, - mengurangi emisi GHG, - menurunkan biaya operasional
Reuse (Menggunakan Kembali)	Memanfaatkan kembali material/komponen tanpa proses pengolahan besar	Perpanjangan umur material, minimisasi limbah	Renovasi, Rekonstruksi, Demolisi	- Adaptif reuse bangunan lama, - pemanfaatan kembali pintu, jendela, rangka baja	- Mengurangi volume limbah konstruksi, - menghemat biaya material baru, - mempertahankan nilai sejarah
Recycle (Mendaur Ulang)	Mengolah material bekas	Pemulihan sumber daya,	Pembongkaran, Pengolahan	Daur ulang beton menjadi	Mengurangi penumpukan limbah,

Konsep 3R	Definisi	Prinsip Dasar Pengelolaan Berkelanjutan	Tahap Life Cycle Building yang Relevan	Contoh Penerapan di Arsitektur Berkelanjutan	Dampak Positif
	menjadi bahan baku baru yang dapat digunakan kembali	mendorong ekonomi sirkular	an Limbah	agregat, pelelehan ulang baja untuk konstruksi baru, pengolahan limbah kayu menjadi panel	mengurangi ketergantungan pada bahan baku mentah, mengurangi dampak penambangan

7.4 Pengelolaan dan Perencanaan Lahan

Pengelolaan dan perencanaan lahan secara berkelanjutan merupakan aspek kunci dalam menciptakan lingkungan binaan yang adaptif, resilien, dan rendah dampak lingkungan. Dalam implementasi konsep arsitektur berkelanjutan harus dipahami bahwa lahan bukan hanya ruang kosong yang dapat dibangun, melainkan ekosistem hidup yang memiliki nilai ekologis, sosial dan kultural. Oleh karena itu pendekatan terhadap pengelolaan lahan tidak dapat dilepaskan dari konteks ekologis dan sosiogeografis suatu wilayah.

7.4.1 Prinsip Perencanaan Lahan Berkelanjutan

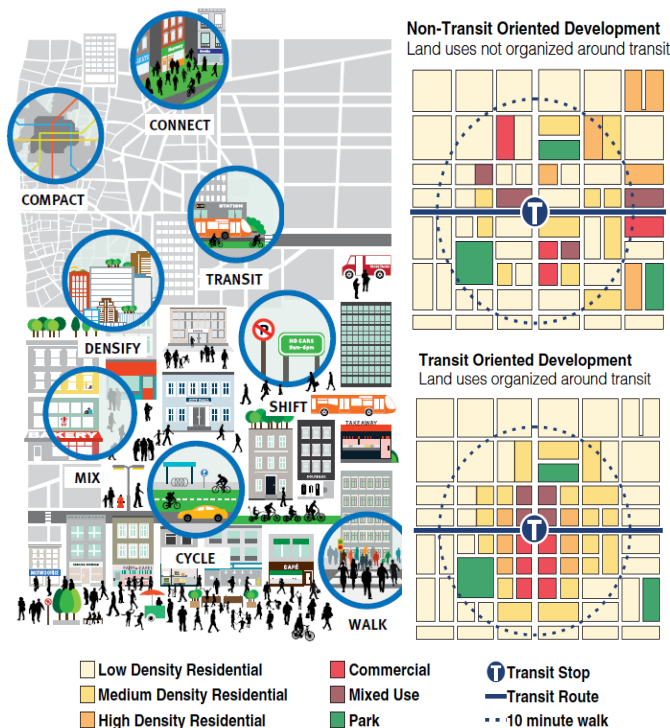
Prinsip perencanaan lahan berkelanjutan sejalan dengan pendekatan *smart growth*, *transit oriented development* (TOD), dan *compact city*, yang mendorong efisiensi ruang, pengurangan ketergantungan kendaraan pribadi, dan terciptaan lingkungan urban yang sehat. TOD dikenalkan oleh Peter Calthorpe tahun 1993 dengan menawarkan konsep yang menggabungkan mixuse kawasan yang memiliki komunitas campuran di Lokasi area transit, seperti terminal dan stasiun, yang merupakan kawasan berorientasi sebagai kawasan terpadu dari berbagai kegiatan fungsional kota dengan fungsi penghubung lokal dan antar lokal, antar moda dan antar kegiatan (Farr,2008).

Perencanaan lahan berkelanjutan mencakup upaya untuk;

1. Menghindari Pembangunan di lahan rawan bencana dan kawasan lindung
2. Memanfaatkan kembali lahan terbangun (*infill development, brownfield regeneration*)
3. Menjaga tutupan vegetasi dan koridor ekologis
4. Meningkatkan intensitas pemanfaatan lahan melalui Pembangunan vertical dan zona campuran (*mixed-use-zoning*)
5. Menyeimbangkan fungsi ekologis dan fungsi sosial-ekonomi dalam satu kawasan



Gambar 7.5. Visualisasi Kawasan TOD Terintegrasi Angkutan Umum Massal yang mendorong pergerakan pejalan kaki, pesepeda, penggunaan Angkutan Umum Massal dan pembatasan kendaraan bermotor dalam radius jarak 350 m sampai dengan 700 m(Putra,2020)



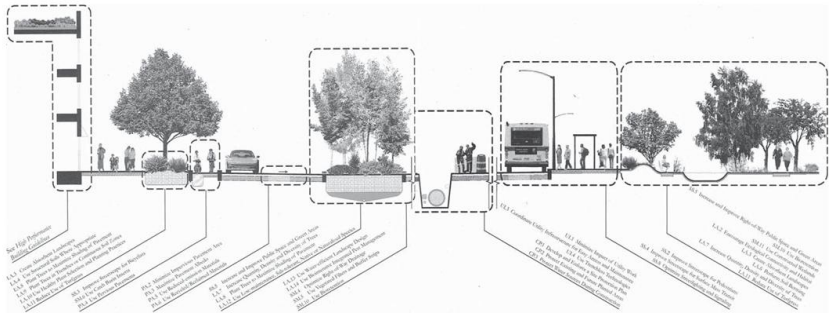
Gambar 7.6. Konsep TOD menciptakan fungsi baru dan perbaikan jaringan sistem transit
Sumber : (Putra,2020)

7.4.2 Greenbelt, Buffer Zone dan Ruang Terbuka Hijau

Di Indonesia penguatan ruang terbuka hijau (RTH) secara legal diatur dalam UU No./16 Tahun/1007 tentang Penataan Ruang yang menyebutkan bahwa minimal 30% wilayah kota harus berupa RTH (20% public dan 10% privat). Namun, dalam praktiknya, banyak kota gagal memenuhi target ini karena tekanan lahan dan lemahnya pengawasan tata ruang. Kehadiran zona penyangga (*buffer zone*) dan sabuk hijau (*greenbelt*) sangat penting untuk melindungi ekosistem sekitar dari ekspansi Pembangunan yang tidak terkendali. Di banyak kota di dunia, *Greenbelt* dijadikan instrument untuk;

1. Menahan perluasan kota
2. Menyediakan habitat alami

3. Menyaring polusi dan menyerap karbon
4. Menjaga fungsi hidrologi kawasan



Gambar 7.7. Infrastruktur berkinerja tinggi: Ruang milik jalan (*right-of-way*) dapat dirancang sedemikian rupa untuk mengurangi penggunaan sumber daya dan biaya jangka panjang, misalnya dengan menciptakan lanskap yang memiliki daya serap air tinggi.
Sumber : (Farr,2008)

Integrasi ruang terbuka hijau menjadi strategi utama dalam desain arsitektural untuk kawasan peri-urban. Ruang terbuka hijau membantu mengurangi efek urban heat island, meningkatkan kualitas udara. Ruang terbuka hijau berfungsi sebagai area rekreasi dan mendukung Kesehatan mental serta fisik masyarakat, yang berkontribusi pada kualitas hidup yang lebih baik (Rosalia,2024). Perencanaan tata kota yang berkelanjutan memerlukan kolaborasi antara arsitek, perencana kota, Teknik lingkungan.

7.4.1 Pengendalian Alih Fungsi Lahan

Alih fungsi lahan pertanian, hutan dan daerah resapan menjadi kawasan terbangun merupakan ancaman utama keberlanjutan lingkungan di Indonesia. Konversi ini seringkali dilakukan tanpa mempertimbangkan nilai ekologis dan kapasitas dukung kawasan. Akibatnya, resiko banjir, kekeringan, dan degradasi tanah semakin meningkat, terutama di kawasan dataran rendah dan pesisir. Sehingga diperlukan sistem zonasi berbasis daya dukung lahan dan fungsi ekosistem, penerapan

environmental zoning dan *ecoregion-based planning* dapat membantu mengarahkan jenis Pembangunan yang sesuai dengan karakteristik alami wilayah.



Gambar 7.7. Compact Desain fokus Pembangunan pada area yang telah terbangun
Sumber : (Putra,2020)

DAFTAR PUSTAKA

- Amani, M.J. *et al.* (2025) 'Urban Sustainability Through Pavement Technologies: Reducing Urban Heat Islands with Cool Pavements', *Buildings*, 15(3), p. 504. Available at: <https://doi.org/10.3390/buildings15030504>.
- Cabeza, L.F. *et al.* (2014) 'Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, pp. 394–416. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037>.
- Farahdina, D. *et al.* (2025) 'Eksplorasi Penerapan Arsitektur Ramah Lingkungan yang Berkelanjutan', in *Seminar Nasional Fakultas Sains dan Teknologi*. UNPRI PRESS 2024, pp. 1–10.
- Farr, D. (2008) *Sustainable Urbanism: Urban Design With Nature*. Edited by J. Milosovicova. Berlin: TU Berlin.
- Hanna, E. and Comín, F.A. (2021) 'Urban Green Infrastructure and Sustainable Development: A Review', *Sustainability*, 13(20), p. 11498. Available at: <https://doi.org/10.3390/su132011498>.
- Herbert, G. (2008) *Cities people planet: urban development and climate change*. 1st edn. Edited by J. Wiley and S. Ltd. Chichester ; New York : John Wiley & Sons. Available at: https://archive.org/details/citiespeopleplan0000gira_t3i6/page/n4/mode/1up (Accessed: 10 August 2025).
- Ismail, D.E. (2019) *Hukum Tata Ruang "Rekonstruksi Menuju Pemukiman Indonesia Bebas Kumuh*. 1st edn. Bandung: Sofyan, H. (2021). *Tata Ruang dan Permasalahan Lingkungan di Perkotaan Indonesia*. LP3ES.
- Kustiwan, I. (2022) 'Tantangan Kota Sehat : Integritas Aspek Kesehatan ke Dalam Perencanaan Tatat Ruang Kota'. Indonesia: SAPPK ITB.
- LAWRENCE, D.P. (1997) 'PROFILE: Integrating Sustainability and Environmental Impact Assessment', *Environmental Management*, 11(1), pp. 13–42. Available at: <https://doi.org/10.1007/s002679900003>.

- Putra, R.P. (2020) *Pengembangan Wilayah dan Kota: Pembangunan Berorientasi Transit*. Semarang.
- Rosalia, A. (2024) 'Peran Arsitektur dalam Mengembangkan Kawasan Peri-Urban yang Berkelanjutan', *Jurnal Arsitektur dan Lingkungan Binaan*, 1(1).
- UN-Habitat (2020) *World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization*.
- Zuo, J. and Zhao, Z.-Y. (2014) 'Green building research-current status and future agenda: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, pp./171–281. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.021>.

BAB 8

KONSERVASI AIR

Oleh Mercyana Trianne Zebua

8.1 Pendahuluan

Masalah lingkungan dan energi adalah masalah dunia yang terjadi saat ini dan memerlukan penyelesaian yang dihadapi umat manusia. Keterkaitan masalah lingkungan dan energi mempengaruhi berbagai aspek kehidupan masyarakat. Meningkatnya pertumbuhan jumlah penduduk, meningkatkan pula akan kebutuhan sumber daya alam, termasuk energi. Optimalisasi penggunaan energi adalah langkah penting untuk menghadapi tantangan permasalahan energi dan lingkungan, serta untuk meningkatkan efektifitas dan keberlanjutan pemanfaatan sumber daya energi (Maranatha, dkk.2025). Permasalahan lingkungan dan energi berkaitan dengan konsep pembangunan berkelanjutan. Pembangunan berkelanjutan menjadi pokok bahasan ramai dibahas di dunia (Davydova, 2022). Pembangunan berkelanjutan didefinisikan sebagai pembangunan yang mencukupi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendir (Maranata, dkk, 2025). Persoalan kesediaan air bersih menjadi masalah dunia seiring pertambahan penduduk dan urbanisasi. Kesediaan dan pengelolaan air menjadi isu utama yang disebabkan beberapa faktor seperti perubahan iklim, menipisnya sumber daya alam, dan pesatnya urbanisasi. Situasi ini mendatangkan masalah serius di banyak negara, termasuk Indonesia. Diperlukan kebijakan untuk permasalahan air guna memastikan ketersediaan dan kualitas air yang cukup untuk mensuplai kebutuhan di masa depan. Ketersediaan air bersih sangat penting untuk aktivitas manusia sehingga beberapa negara sudah membuat konsep green building untuk memelihara kebutuhan air yang akan datang tanpa mempengaruhi kualitas air. Efektifitas dalam

penyediaan dan penggunaan air adalah tindakan penting untuk menjamin keberlanjutan sumber daya air. Bidang konstruksi merupakan pengguna konsumsi air yang cukup besar, baik dalam proses pembangunan maupun operasional bangunan. Oleh karena itu, konservasi air dalam arsitektur menjadi pilihan, dan sangat dibutuhkan dalam perancangan bangunan masa depan.

8.2 Konsep Dasar Konsevasi Air

Realisasi pemenuhan suplai dasar air dan energi adalah prinsip dari permukiman berkelanjutan. Menurut Kirmanto (2002), Pembangunan permukiman berkelanjutan adalah salah satu usaha dalam meningkatkan kualitas hidup manusia secara berkelanjutan. Konsep permukiman berkelanjutan memiliki 3 asas dasar yang saling terintegrasi, yakni sosial, ekonomi, dan lingkungan (Munasinghe, 2007). Cakupan ketiga asas keberlanjutan, terdapat pedoman yang diimplementasikan pada objek perancangan. Dalam buku 'Arsitektur Berkelanjutan', menurut Ardiani (2015), konsep keberlanjutan dalam arsitektur terdapat 9 hal pokok, yaitu ekologi perkotaan, strategi energi, air, limbah, material, komunitas lingkungan, strategi ekonomi, pelestarian budaya, dan manajemen operasional. Berdasarkan buku *Strategies for Sustainable Architecture*, terdapat 6 prinsip keberlanjutan, yaitu penggunaan air, penggunaan material, kesehatan dan kesejahteraan. Konservasi air merupakan suatu pendekatan strategis dalam pengelolaan sumber daya air yang bertujuan untuk menggunakan air secara efisien, melindungi kualitas air, serta menjaga keberlanjutan ketersediaan air bagi kehidupan manusia, hewan, tumbuhan, dan lingkungan secara keseluruhan. Konservasi air adalah upaya terpadu untuk menjaga, melindungi, dan menggunakan sumber daya air secara bijaksana agar tetap tersedia dan berkelanjutan. Konservasi ini meliputi beberapa hal, antara lain penghematan penggunaan air maupun perlindungan terhadap siklus hidrolog. Tujuan Konservasi Air:

1. Memelihara kecukupan air untuk angkatan sekarang dan masa depan.

2. Memangkas penghamburan akan penggunaan air yang tidak efisien.
3. Menjaga mutu air dari kontaminasi.
4. Mengembangkan daya tahan pada saat kekeringan dan perubahan iklim.
5. Menghindari kerusakan ekosistem yang disebabkan oleh air.

Prinsip-Prinsip Dasar Konservasi Air

1. Efisiensi Penggunaan Air: Penggunaan air sesuai kebutuhan tanpa pemborosan.
2. Perlindungan Sumber Daya Air: Memelihara mutu air tanah dan permukaan dari polusi oleh limbah rumah tangga, pertanian, maupun industri.
3. Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS): Memelihara vegetasi di daerah tangkapan air agar serapan air optimal dan menghindari erosi.
4. Pemanfaatan Teknologi Ramah Lingkungan: Antara lain sistem irigasi tetes, toilet hemat air, dan perangkat rumah tangga efisien air.
5. Penggunaan kembali dan Daur Ulang Air: Daur ulang air bekas pakai (*grey water*) dan digunakan kembali untuk keperluan seperti menyiram tanaman atau membersihkan halaman.
6. Pendidikan dan Kesadaran Masyarakat: Menyampaikan edukasi kepada masyarakat akan pentingnya menjaga air agar adanya perubahan perilaku.

8.3 Strategi Konservasi Air

Strategi konservasi air adalah tindakan direncanakan baik dan tersusun untuk mengelola, melindungi, dan mempertahankan sumber daya air agar ketersediaannya tetap baik secara kualitas dan kuantitas yang memenuhi, baik untuk keperluan saat ini maupun masa mendatang. Hal ini dilakukan dengan cara dan perilaku untuk mengurangi pemborosan, mengurangi konsumsi yang tidak perlu, dan memelihara ketersediaan air yang berkelanjutan. Hal-hal yang diperlukan dalam konservasi air meliputi:

1. Pemanfaatan bijak konsumsi air: antara lain, memanfaatkan alat-alat rumah tangga yang hemat air (misalnya, toilet, shower, keran);membetulkan pipa yang bocor dan instalasi air; meminimalisir penggunaan air untuk siram tanaman dan mencuci kendaraan; menggunakan sistem irigasi yang efektif untuk pertanian.
2. Penampungan dan pemanfaatan air hujan: antara lain; membuat penampungan air hujan untuk kebutuhan seperti menyiram tanaman atau mencuci; menggunakan air hujan untuk air tanah.
3. Perlindungan daerah resapan air: Perlindungan dan pemulihan daerah resapan air seperti hutan, lahan basah, dan vegetasi alami; menghindari alih fungsi lahan menjadi daerah non-resapan air.
4. Pengendalian kualitas air: mengurangi polusi air dari berbagai sumber (industri, pertanian, domestik); memanfaatkan teknologi pengolahan air limbah yang efektif.
5. Edukasi dan kesadaran masyarakat: memberikan edukasi kepada masyarakat tentang pentingnya konservasi air; keterlibatan masyarakat dalam kegiatan konservasi air; melaksanakan edukasi tentang konservasi air di sekolah.
6. Pemanfaatan inovasi tepat guna: Pemanfaatan inovasi sensor untuk mengawasi pemakaian air dan melacak kebocoran; meningkatkan dan menggunakan sistem irigasi yang hemat air; Memakai alat pengukur debit air untuk mengukur tingkat kebutuhan air.
7. Pengaturan tata ruang dan wilayah: Mengaplikasikan kegiatan tata ruang yang memperhitungkan keberlanjutan sumber daya air.; menghindari pembangunan di wilayah resapan air.; menggunakan sistem zonasi untuk wilayah konservasi air.

Contoh Praktis tindakan Konservasi Air, antara lain;

1. Menampung air hujan.
2. Memanfaatkan cara penyiraman otomatis dengan sensor kelembapan tanah.

3. Memakai kran dan shower bertekanan rendah.
4. Membuat taman dengan tanaman tahan kekeringan (*xeriscaping*).
5. Melaksanakan sistem pengolahan air limbah domestik terpadu.



Gambar 8.1. Konservasi Air

8.4 Perencanaan Tapak

8.4.1 Hakikat Perencanaan Tapak

Pengertian tapak dalam perencanaan ruang, adalah sebidang lahan/tanah yang sudah ada kejelasan status kepemilikan dan dapat untuk direncanakan dan dikembangkan menjadi berbagai fungsi kegiatan (hunian, komersial, industri, pemerintahan, fasilitas umum, ruang terbuka hijau). Pedoman perencanaan tapak bertujuan untuk merencanakan elemen-elemen ruang luar bangunan dan antar bangunan, serta untuk menghubungkan dan mengintegrasikan ruang di dalam tapak dengan lingkungan sekitarnya. Perencanaan tapak menghubungkan antara kepentingan pemilik lahan dan kepentingan publik. Definisi ini merujuk tulisan Kevin Lynch, dalam buku *Site Planning* (edisi 3, MIT Press, 1984). Perancangan tapak menata pemanfaatan wilayah terkait dengan aspek-aspek yang ada pada wilayah tersebut, yakni arsitektur (kavling dan bangunan, baik hunian maupun non hunian), teknik (prasarana: jaringan jalan, drainase, air bersih, energi, dan limbah), arsitektur

lansekap (ruang terbuka hijau maupun non hijau), dan perancangan kota (peraturan tata ruang dan kebijakan membangun). Rencana tapak mengatur perletakan objek (fisik) dan kegiatan (manusia, penghuni) dalam kesatuan ruang (Suryono Herlambang, 2002).

8.4.2 Strategi Perencanaan Tapak

Perencanaan tapak adalah proses untuk mengelola dan memaksimalkan pemanfaatan lahan, dengan memperhatikan aspek-aspek seperti kondisi fisik, lingkungan, dan kebutuhan pengguna. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan ruang yang fungsional, estetik, dan berkelanjutan, dapat dilihat pada bangunan tunggal maupun kawasan yang lebih luas. Strategi Perencanaan Tapak Meliputi:

1. Analisis Tapak: meliputi; kondisi fisik, topografi, jenis tanah, vegetasi, iklim, dan aspek fisik lainnya; melihat kondisi lingkungan sekitar, seperti akses masuk, kebisingan, arah matahari dan utilitas yang ada pada lokasi; memahami peraturan tata ruang yang berlaku;.
2. Penentuan Fungsi dan Program: Jenis Bangunan: menetapkan fungsi bangunan yang akan dibangun (misalnya, perumahan, komersial, publik); menyusun kebutuhan ruang sesuai dengan aktifitas pada fungsi bangunan (misalnya, area publik, area privat, areaservis).
3. Pengelolaan Tata Letak: arah bangunan dengan memperhatikan arah matahari, angin dan view untuk kenyamanan dan efektifitas energi; mengelola sirkulasi kendaraan dan pejalan kaki untuk kemudahan pergerakan masuk lokasi; membuat perencanaan ruang terbuka hijau seperti taman, dan ruang publik.
4. Perluasan Perancangan: memperhatikan bentuk bangunan yang cocok dengan kondisi wilayah dan program ruang; menggunakan bahan bangunan yang ramah lingkungan; merealisasikan kaidah-kaidah bangunan hijau dan berkelanjutan untuk mengurangi dampak lingkungan.



Gambar 8.2. Perencanaan Tapak

8.5 Desain Bangunan Hemat Air

8.5.1 Prinsip Dasar Desain

Susunan bentuk tanpa keberagaman dapat menghasilkan kebosanan bagi yang melihat. Keberagaman yang tidak memperhatikan kaidah-kaidah akan menghasilkan kebosanan dan kekusutan. Menghindari kesalahan yang berulang maka penerapan prinsip dasar desain dalam pengaturan dan pengelompokan bentuk diterapkan bertujuan tampilan dan ruang pada bangunan dapat terbentuk sesuai dengan fungsi bangunan. Dasar teori desain untuk menghasilkan komposisi yang baik yaitu kesatuan, proporsi, keseimbangan, irama dan titik berat (Dahliani,2008). Dasar teori desain mengarahkan untuk penerapan penggunaan elemen desain. Ada empat prinsip desain, yaitu: keseimbangan, penekanan, irama, dan kesatuan. Teori-teori desain mengarahkan pada penggabungan bermacam elemen desain dalam pengaturan tata letak yang baik (Setiyo Adi Nugraha, dkk,2021)

1. Keseimbangan
2. Penekanan
3. Irama
4. Kesatuan



Gambar 8.3. Prinsip Dasar Desain Dalam Arsitektur

Desain bangunan hemat air adalah suatu kebijakan desain yang dimaksudkan untuk mengurangi penggunaan air pada suatu bangunan, pada penggunaan rumah tangga atau kegiatan lain. Hal ini meliputi bermacam kebijakan dan inovasi yang bertujuan untuk penghematan penggunaan air, pengelolaan air buangan dan menggunakan sumber air cadangan contohnya yang berasal dari air hujan. Dalam hal perancangan desain arsitektur, konservasi air diwujudkan melalui:

1. Perancangan bangunan dengan sistem pemanenan air hujan.
2. Pemasangan sistem grey water recycling.
3. Penggunaan material perkerasan yang menyerap air (*permeable paving*).
4. Integrasi vegetasi atap (*green roof*) dan taman vertikal untuk meningkatkan penyerapan air.

8.5.2 Desain Bangunan Hemat Air

Desain bangunan yang ramah lingkungan dapat menurunkan masalah pemanasan global. Hal ini tidak menurunkan fungsi ruang yang dapat memwadah pekerja dan kesibukan manusia dalam bangunan tersebut. Sangat diperlukan desain yang tidak merusak lingkungan, prinsip dasar ini perlu diterapkan dan dikembangkan perlu dilestarikan dan dikembangkan untuk kesinambungan kehidupan manusia (Alvian Bayu Permana, dkk,2021). Bangunan hemat energy

adalah bangunan yang menerapkan efektifitas penggunaan energi yang dalam bangunan. Konstruksi bangunan hemat energi terlihat bangunan yang konstruksinya memanfaatkan cara penggunaan material bangunan yang tidak merusak lingkungan. Penggunaan dan penerapan sumber daya energi bangunan dapat menunjukkan penerapan efisiensi energi pada struktur bangunan yang digunakan. Arsitektur Hijau adalah adanya penjelasan logis energy yang diterapkan dalam bangunan (Ulyani Adhikari Agustin, dkk.1021), seperti:

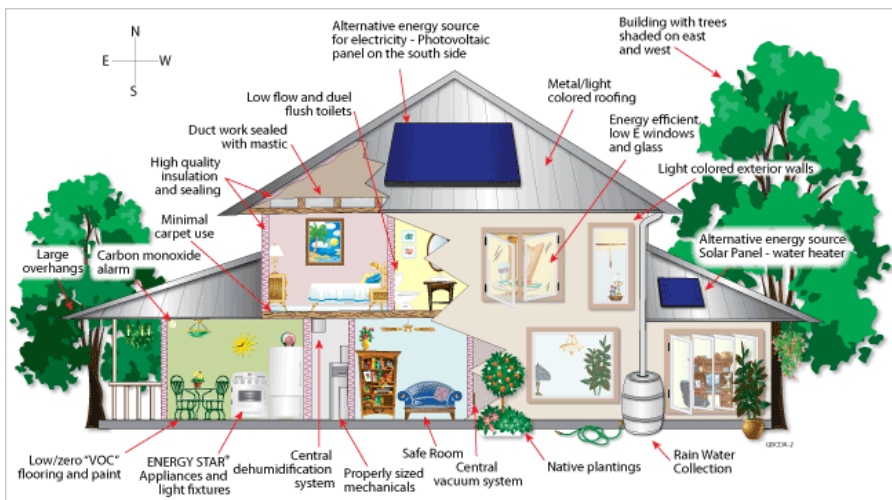
1. Pelestarian energi.
2. Sehingga mengurangi kebutuhan energi untuk setiap pengguna.
3. Mengurangi emisi pencemar
4. Mengurangi penipisan dan konsumsi terus menerus untuk sumber energi tak terbarukan.

Beberapa hal-hal penting dalam konservasi air yang dapat diterapkan pada desain arsitektur:

1. Alat-alat Hemat Air:
 - a. Keran dan kepala pancuran aliran rendah: memanfaatkan peralatan yang dirancang untuk mengurangi aliran air dapat mengurangi konsumsi air secara signifikan.
 - b. Toilet dual flush: Toilet yaitu toilet yang menerapkan dua pembilasan (untuk limbah cair dan padat) untuk mengurangi pemakaian air.
 - c. Peralatan sanitasi dengan inovasi terbaru: Sistem sensor dan otomatisasi pada keran dan toilet dapat membantu mengurangi pemborosan air.
2. Daur Ulang Air:
 - a. Penampungan air hujan: Menampung air hujan berasal dari atap yang tersimpan dan dapat dimanfaatkan pada sistem irigasi, siram toilet, dan macam-macam kegiatan.
 - b. Pemanfaatan kembali air bekas pakai: Air bekas pakai yang berasal dari tempat cuci piring dan cuci pakaian (air abu-abu) diproses ulang dan dapat dimanfaatkan kembali.

- c. Inovasi proses ulang air limbah: Proses ulang air limbah dengan teknologi terbaru dapat memurnikan air limbah sehingga dapat dimanfaatkan kembali untuk bermacam-macam kegiatan.
3. Perancangan Landscape ramah lingkungan:
- a. Menanam tanaman yang disesuaikan dengan iklim wilayah setempat serta menggunakan sedikit air .
 - b. Pemanfaatan penutup tanah: Penutup tanah berfungsi untuk melindungi kelembaban tanah dan memangkas penggunaan air pada sistem pengairan.
 - c. Penerapan sistem irigasi yang efektif: alternatif sistem irigasi tetes atau sprinkler yang tepat untuk mengurangi penggunaan air.
 - d. Mengurangi kawasan berumput: Meminimalkan kawasan yang ditumbuhi rumput serta dapat menggantinya dengan tanaman penutup tanah atau batuan berkerikil hal ini mengurangi penggunaan air.
4. Alternatif Pengembangan Desain:
- a. Penghawaan buatan hemat air: Pemanfaatan penghawaan udara buatan yang menggunakan sedikit air.
 - b. Bahan bangunan yang berkelanjutan: menggunakan bahan-bahan bangunan yang menggunakan sedikit air dan dapat diolah serta dimanfaatkan kembali.
 - c. Pendidikan dan bimbingan kepada pengguna fungsi bangunan tentang pentingnya konservasi air dan cara menghemat air.

Dengan penerapan prinsip-prinsip konservasi air pada desain arsitektur, hal ini dapat meminimalkan dampak lingkungan dari bangunan, menghemat sumber daya air, dan menciptakan lingkungan yang lebih berkelanjutan.



Gambar 8.4. Desain Bangunan Hemat Air

DAFTAR PUSTAKA

- Adhikari Agustin, U. and Zuhri, S. (2021) *Pendekatan Hemat Energi pada Perancangan Bangunan yang Ramah Lingkungan*.
- Dahliani. (2008). *STUDI PENERAPAN PRINSIP-PRINSIP DESAIN PADA MASJID NOOR BANJARMASIN*, Info-Teknik, 9(1),(82-98).
- Herlambang, S. *Pengantar Perencanaan Tapak*.
- Illahi, O.R. (2024). *STRATEGI KONSERVASI ENERGI DAN AIR PADA KAWASAN KAMPUNG NELAYAN BETING DENGAN PENDEKATAN ARSITEKTUR BERKELANJUTAN*, senthong:jurnal mahasiswa arsitektur.7(1054-1065), e-issn :/1621 –/1609.
- Permana, A.B. and Arsandrie, Y. (no date) *PENERAPAN DESAIN ARSITEKTUR HEMAT ENERGI PADA BANGUNAN SHOPPING MALL (Studi Kasus: PLAZA LAWU MADIUN)*.
- Pulungan, A.S. (2022) "PENERAPAN PRINSIP ARSITEKTUR RAMAH LINGKUNGAN PADA FASILITAS KONSERVASI AIR DI BALIGE, DANAU TOBA," *Jurnal Sains, Teknologi, Urban, Perancangan, Arsitektur (Stupa)*, 3(2), p. 3111. Available at: <https://doi.org/10.24912/stupa.v3i2.12350>.
- Wijayaningtyas, M.,Nursanti,E.,Istiqoma,M. (2025). *PERILAKU KONSUMSI AIR UNTUK KONSERVASI PADA RUMAH TINGGAL BERKONSEP RAMAH LINGKUNGAN*. Pawon:Jurnal Arsitektur,IX(1), ISSN/1597-7636.

BAB 9

MATERIAL BERKELANJUTAN DALAM ARSITEKTUR

Oleh Niniek Pratiwi

9.1 Pendahuluan

Keberlanjutan dalam arsitektur bukan lagi sebuah paradigma pilihan, melainkan sebuah arahan yang diperlukan untuk mengurangi jejak karbon yang dihasilkan oleh sektor konstruksi. Secara global, bangunan menyumbang 39% dari emisi karbon terkait energi, di mana 11 % di antaranya berasal dari material dan proses konstruksi - yang secara kolektif dikenal sebagai *embodied carbon* (World Green Building Council, 2020). Peralihan ke material yang berkelanjutan merupakan hal yang penting dalam transisi menuju arsitektur neto-nol, yang memungkinkan pengurangan energi operasional dan energi yang terkandung di sepanjang siklus hidup bangunan. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan material penyimpan karbon seperti bambu, beton rami, jerami, dan kayu laminasi silang (CLT) dapat mengurangi emisi hingga 30-70% tergantung pada tipologi bangunan dan konteks regional (Abera, 2024; Huang et al., 2021).

9.2 Prinsip – Prinsip Penggunaan Material Berkelanjutan

Pemilihan material arsitektur modern harus mempertimbangkan beberapa kriteria berikut:

9.2.1 Penilaian Siklus Hidup (*Life Cycle Assessment/LCA*) :

Alat-alat seperti SimaPro, GaBi, dan *OneClick* LCA menilai dampak dari buaian sampai ke liang lahat (Moreno-Rangel et al., 2021). Penilaian Siklus Hidup (LCA) dalam arsitektur adalah metode komprehensif untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari sebuah bangunan di sepanjang masapakainya-mulai dari

ekstraksi bahan baku hingga konstruksi, penggunaan, pemeliharaan, dan pembongkaran. Arsitek menggunakan LCA untuk mendukung pengambilan keputusan yang berkelanjutan dengan mempertimbangkan konsekuensi lingkungan dari desain mereka di setiap tahap. Prosesnya dimulai dengan menentukan tujuan dan ruang lingkup penilaian, yang menetapkan batasan yang jelas dan mengidentifikasi aspek-aspek bangunan yang akan dianalisis, seperti material, penggunaan energi, atau jejak karbon. Analisis inventaris yang terperinci kemudian dilakukan, dengan mengumpulkan data mengenai jumlah material, transportasi, konsumsi energi, dan timbulan limbah. Informasi ini kemudian diproses melalui tahap penilaian dampak, yang menerjemahkan data mentah menjadi efek terukur seperti potensi pemanasan global, penipisan sumber daya, dan polusi udara atau air.

Interpretasi dari hasil ini memungkinkan arsitek untuk mengoptimalkan desain mereka-memilih bahan yang lebih ramah lingkungan, meningkatkan efisiensi energi, atau memikirkan kembali sistem untuk mengurangi kerusakan lingkungan. Penilaian ini didasarkan pada asumsi yang transparan mengenai masa pakai, pemeliharaan, dan akhir masa pakai bangunan, untuk memastikan kredibilitas dan relevansi. Seringkali, arsitek menerapkan pendekatan modular dan berbasis skenario untuk mengevaluasi berbagai komponen atau opsi desain secara independen, sehingga memungkinkan pilihan yang lebih fleksibel dan strategis. Mengintegrasikan LCA di awal dan selama proses desain memungkinkan keberlanjutan tertanam dalam konsep dan eksekusi. Komunikasi yang efektif atas temuan LCA kepada klien dan pemangku kepentingan dapat meningkatkan kesadaran dan membantu memenuhi standar atau sertifikasi lingkungan. Pada akhirnya, LCA dalam arsitektur bukan hanya sekedar latihan teknis, tetapi juga merupakan komitmen terhadap perbaikan lingkungan yang berkelanjutan, mendorong desain yang bertanggungjawab yang memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan generasi mendatang.

9.2.2 Embodied Carbon

Embodied carbon dalam bidang arsitektur mengacu pada total emisi gas rumah kaca yang terkait dengan ekstraksi, manufaktur, transportasi, instalasi, pemeliharaan, dan pembuangan akhir masa pakai bahan bangunan. Tidak seperti karbon operasional - yang dipancarkan selama fase penggunaan bangunan melalui aktivitas seperti pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan - embodied carbon terkunci di dalam material bahkan sebelum bangunan tersebut ditempati. Hal ini menjadikannya perhatian penting dalam arsitektur berkelanjutan, terutama ketika bangunan menjadi lebih hemat energi dan emisi operasional menurun. Arsitek memainkan peran penting dalam mengelola karbon yang terkandung dengan membuat pilihan yang tepat mengenai material, metode konstruksi, dan rantai pasokan. Misalnya, memilih bahan rendah karbon seperti kayu yang dipanen secara berkelanjutan, baja daur ulang, atau alternatif beton rendah emisi dapat secara signifikan mengurangi jejak lingkungan bangunan.

Selain itu, mendesain untuk daya tahan, kemampuan beradaptasi, dan pembongkaran di masa depan dapat memperpanjang usia material dan meminimalkan kebutuhan untuk renovasi atau pembangunan kembali yang membutuhkan banyak sumber daya. Emisi karbon juga dipengaruhi oleh asal geografis material dan sumber energi yang digunakan dalam produksinya, sehingga menjadikan sumber lokal dan proses manufaktur terbarukan sebagai strategi penting. Dengan mengintegrasikan penilaian karbon yang terkandung ke dalam keputusan desain awal-sering kali menggunakan alat bantu seperti perangkat lunak LCA atau Deklarasi Produk Lingkungan (*Environmental Product Declarations*, EPD) - arsitek dapat mengukur dan membandingkan dampak lingkungan dari berbagai opsi desain. Seiring denganbergeraknya industri konstruksi menuju tujuan nol karbon, pengurangan karbon yang terkandung tidak hanya menjadi prioritas keberlanjutan tetapi juga tanggung jawab profesional, yang memengaruhi segala hal mulai dari palet material hingga system struktur. Pada akhirnya, dengan menangani karbon yang terkandung, para arsitek dapat

mendesain tidak hanya untuk estetika dan fungsi, tetapi juga untuk menjaga lingkungan dalam jangka panjang. Bambu dan beton rami mengungguli beton konvensional dalam metrik karbon yang terkandung, dengan beberapa di antaranya bersifat karbon negatif (Pathan, 2024).

9.2.3 Sumber Lokal

Sumber lokal dalam arsitektur mengacu pada praktik pemilihan bahan bangunan, produk, dan tenaga kerja dari daerah terdekat untuk mengurangi dampak transportasi, mendukung ekonomi lokal, dan meningkatkan keberlanjutan. Pendekatan ini memainkan peran penting dalam desain yang sadar lingkungan dengan meminimalkan karbon yang terkandung dalam pengiriman dan logistik jarak jauh. Dengan menggunakan material lokal, arsitek dapat secara signifikan mengurangi emisi gas rumah kaca yang terkait dengan konsumsi bahan bakar dan mempromosikan arsitektur yang lebih berbasis regional. Selain itu, sumber lokal menumbuhkan ketahanan dan relevansi budaya, memungkinkan bangunan untuk selaras dengan lingkungan alamnya dan mencerminkan tradisi, keahlian, dan sumber daya yang tersedia di suatu tempat. Hal ini juga dapat menghasilkan jadwal konstruksi yang lebih cepat, biaya transportasi yang lebih rendah, dan kemampuan beradaptasi yang lebih baik terhadap kondisi iklim setempat, karena material yang dikembangkan dalam konteks lingkungan yang sama sering kali bekerja lebih efektif dan membutuhkan lebih sedikit modifikasi. Selain manfaat lingkungannya, pengadaan lokal memperkuat ikatan masyarakat, menopang industri regional, dan mendorong transparansi dalam rantai pasokan—mempermudah penelusuran asal-usul, praktik produksi, dan standar etika di balik material konstruksi.

Namun, keberhasilan pengadaan lokal bergantung pada ketersediaan, kualitas, dan skalabilitas sumber daya regional, yang dapat sangat bervariasi. Arsitek harus menyeimbangkan tujuan desain dengan apa yang dapat dilakukan secara lokal, dan sering kali bekerja secara kreatif dalam batasan-batasan yang ada untuk menghasilkan solusi yang berkelanjutan dan peka

terhadap konteks. Pada akhirnya, sumber daya lokal bukan hanya sebuah keputusan logistik, tetapi juga strategi desain yang bermakna yang menyelaraskan arsitektur dengan tanggung jawab ekologi, identitas budaya, dan kesejahteraan sosial. Mengurangi emisi dari transportasi dan mendukung ekonomi regional (Woolley, 2022).

9.2.4 Dapat Didaur Ulang dan Sirkularitas

Daur ulang dan sirkularitas dalam arsitektur mewakili pendekatan desain yang berpikiran maju yang bertujuan untuk meminimalkan limbah, melestarikan sumber daya, dan memperpanjang siklus hidup material di dalam lingkungan binaan. Daur ulang mengacu pada kemampuan material untuk diproses dan digunakan kembali di akhir masa pakainya, sementara sirkularitas mengambil pandangan yang lebih luas-meliputi keseluruhan sistem di mana material, komponen, dan produk terus digunakan secara terus menerus melalui strategi seperti penggunaan ulang, penggunaan ulang, dan regenerasi.

Dalam konteks arsitektur, hal ini berarti merancang bangunan yang tidak hanya berfungsi secara efisien selama masa pakainya, tetapi juga dapat dibongkar pasang, mudah beradaptasi, dan dapat masuk kembali ke dalam aliran material tanpa berakhir di tempat pembuangan sampah. Arsitek dapat mendorong daur ulang dengan memilih material yang tidak beracun, dapat dipisahkan, dan diberi label yang jelas untuk disortir dan diproses ulang. Sirkularitas dicapai melalui praktik desain seperti konstruksi modular, paspor material, dan pemikiran *cradle-to- cradle*, di mana setiap elemen bangunan dipertimbangkan untuk potensi penggunaannya di masa depan sejak awal. Pendekatan ini mengalihkan fokus dari utilitas jangka pendek ke pengelolaan sumber daya jangka panjang, mendorong terciptanya bangunan yang bukan merupakan titik akhir, melainkan bagian dari siklus regeneratif. Arsitektur melingkar (*circular architecture*) menantang model linier tradisional yang bersifat take-make-dispose dan sebagai gantinya mendorong budaya pemeliharaan, perbaikan, dan inovasi material. Seiring dengan meningkatnya tekanan lingkungan dan kelangkaan

sumber daya, mengintegrasikan daur ulang dan sirkularitas ke dalam desain arsitektur tidak hanya berkelanjutan, tetapi juga penting untuk membangun masa depan yang tangguh dan bertanggungjawab. Integrasi kayu reklamasi, kaca daur ulang, dan bahan konstruksi modular memfasilitasi model konstruksi melingkar (Bourbia et al.,2023).

9.2.5 Kesehatan dan Kualitas Udara Dalam Ruangan

Kesehatan dan kualitas udara dalam ruangan (IAQ) adalah aspek penting dari desain arsitektur yang secara langsung berdampak pada kesejahteraan, kenyamanan, dan produktivitas penghuni bangunan. Lingkungan dalam ruangan yang dirancang dengan baik lebih dari sekadar estetika dan efisiensi struktural-ia memastikan bahwa udara yang dihirup oleh penghuninya bersih, segar, dan bebas dari polutan berbahaya. IAQ yang buruk, yang sering kali disebabkan oleh gas buang dari bahan sintetis, pertumbuhan jamur, ventilasi yang tidak memadai, dan akumulasi debu atau senyawa organik yang mudah menguap (VOC), dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, termasuk gangguan pernapasan, sakit kepala, alergi, dan kelelahan. Arsitek memainkan peran penting dalam menjaga kesehatan dalam ruangan dengan memilih secara hati-hati bahan yang tidak beracun dan rendah emisi, mengintegrasikan strategi ventilasi alami, dan mendesain aliran udara dan kontrol kelembaban yang optimal. Penggunaan tanaman, jendela yang dapat dioperasikan, sistem penyaringan udara, dan sentuhan akhir yang berkelanjutan semakin meningkatkan lingkungan dalam ruangan, mendorong rasa keterkaitan dengan alam dan kesejahteraan mental.

Selain itu, perencanaan tata ruang yang cermat dapat mencegah kepadatan dan meningkatkan penetrasi cahaya alami-keduanya berkontribusi pada ruang interior yang lebih sehat dan menyenangkan. Karena bangunan semakin memprioritaskan efisiensi energi, maka semakin penting untuk menyeimbangkan selubung kedap udara dengan sistem pertukaran udara yang efektif untuk menghindari terperangkapnya polutan di dalamnya. Merancang dengan mempertimbangkan kualitas udara dalam

ruangan mencerminkan pendekatan holistik yang berpusat pada manusia dalam arsitektur - yang mengakui bahwa bangunan tidak hanya sebagai tempat berlindung, tetapi juga sebagai lingkungan hidup yang sangat memengaruhi kehidupan sehari-hari dan kesehatan jangka panjang. Bahan-bahan yang rendah VOC dan tidak beracun seperti gabus dan insulasi selulosa meningkatkan kesehatan penghuni (Pereira & Knapic, 2017).

9.3 Kategori Material Berkelanjutan

9.3.1 Bahan Alami

1. Bambu

Bambu semakin dikenal dalam arsitektur sebagai simbol keberlanjutan yang kuat, menawarkan alternatif alami dan terbarukan untuk bahan bangunan konvensional. Sebagai salah satu tanaman yang tumbuh paling cepat di dunia, bambu dapat matang hanya dalam waktu tiga hingga lima tahun - jauh lebih cepat dari pohon kayu keras yang membutuhkan waktu puluhan tahun - menjadikannya sumber daya yang sangat terbarukan.



Gambar 9.1. Pemanfaatan bambu sebagai bahan bangunan

(Sumber: <https://www.arsitag.com/article/arsitektur-bambu-bali-menakjubkan> akses 9 Agustus 2025)

Rasio kekuatan-terhadap-berat, fleksibilitas, dan daya tahannya yang mengesankan membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi arsitektur, mulai dari elemen struktural dan lantai hingga panel dinding dan fitur dekoratif. Tidak seperti bahan yang membutuhkan pemrosesan intensif dan menghasilkan emisi karbon yang tinggi, bambu dapat dipanen dengan gangguan lingkungan yang minimal dan diproses dengan menggunakan metode rendah energi, sehingga secara signifikan mengurangi jejak karbon yang dihasilkan.

Di luar keuntungan ekologisnya, bambu berkontribusi pada estetika dan resonansi budaya dari desain yang berkelanjutan. Tekstur alami dan kehangatannya menambah rasa ketenangan dan hubungan dengan alam, terutama di daerah beriklim tropis dan subtropis di mana bambu merupakan tanaman asli. Selain itu, perkebunan bambu dapat membantu memulihkan lahan yang rusak, meningkatkan kualitas tanah, dan bertindak sebagai penyerap karbon, menyerap lebih banyak karbon dioksida daripada tanaman lainnya. Dalam arsitektur, penggunaan bambu mendukung prinsip-prinsip desain melingkar, karena bambu dapat terurai secara hayati dan dapat dengan mudah digunakan kembali atau digunakan kembali. Jika dirawat dengan baik, bambu dapat menahan hama, kelembaban, dan pembusukan, sehingga menjadikannya bahan yang dapat diandalkan dan tahan lama. Ketika industri konstruksi mencari solusi inovatif untuk mengurangi dampak lingkungan, bambu tidak hanya menonjol karena terbarukan tetapi juga karena fleksibilitas, keindahan, dan kemampuannya untuk menyelaraskan arsitektur modern dengan prinsip-prinsip keseimbangan ekologi dan kepekaan budaya. Menawarkan kekuatan tarik yang sebanding dengan baja dan pembaruan yang cepat. Bambu scrimber dan bentuk komposit semakin banyak digunakan dalam sistem struktural (Blanchet et al.,2024)

2. Gabus

Gabus adalah bahan alami luar biasa yang telah mendapatkan apresiasi luas dalam arsitektur berkelanjutan karena sifatnya yang unik, manfaat lingkungan, dan daya tarik estetika. Dipanen dari kulit pohon ek gabus tanpa merusak pohon itu sendiri, gabus adalah salah satu dari sedikit bahan yang dapat diperbarui berulang kali selama umur pohon, yang dapat melebihi/100 tahun. Proses pemanenan regeneratif ini menjadikan gabus sebagai sumber daya terbarukan yang patut dicontoh yang mendukung pengelolaan hutan dan keanekaragaman hayati dalam jangka panjang. Dalam aplikasi arsitektur, gabus dihargai karena sifatnya yang ringan, tangguh, dan berkualitas isolasi. Gabus menawarkan insulasi termal dan akustik yang sangat baik, berkontribusi pada efisiensi energi dan kenyamanan penghuni di bangunan perumahan dan komersial.

Struktur seluler gabus membuatnya tahan secara alami terhadap kelembapan, jamur, dan hama, yang meningkatkan kualitas dan daya tahan udara dalam ruangan. Sebagai bahan

lantai, gabus memberikan permukaan yang hangat dan empuk di bawah kaki, sementara sebagai pelapis dinding atau panel insulasi, gabus memberikan performa dan tekstur pada ruang interior. Secara estetika, gabus memberikan karakter alami dan bersahaja pada desain, berpadu sempurna dengan pendekatan arsitektur biofilik dan minimalis. Gabus juga bersifat hipoalergenik dan tidak mengeluarkan VOC yang berbahaya, sesuai dengan standar bangunan yang sadar kesehatan dan ramah lingkungan. Pada akhir masa pakainya, gabus dapat terurai secara hayati dan dapat didaur ulang menjadi produk baru, sehingga memperkuat tujuan desain sirkular. Selain itu, hutan ek gabus memainkan peran ekologis yang penting dalam penyerapan karbon dan pelestarian habitat, terutama di wilayah Mediterania di mana mereka tumbuh subur. Dengan memilih gabus, arsitek tidak hanya merangkul material dengan sifat fungsional yang unggul tetapi juga mendukung kehutanan yang berkelanjutan, manufaktur berdampak rendah, dan hubungan

yang lebih dalam antara arsitektur dan alam. Di dunia yang berjuang untuk praktik bangunan yang bertanggung jawab, gabus menonjol sebagai pendukung yang tenang namun kuat untuk keselarasan antara kenyamanan manusia dan kepedulian terhadap lingkungan, dipanen tanpa merusak pohon, gabus memberikan insulasi akustik dan termal yang unggul (Pereira & Knapic, 2017).

3. Jerami Bale dan *Rammed Earth*

Jerami bale dan *rammed earth* adalah dua bahan bangunan alami yang telah teruji oleh waktu yang mendapatkan minat baru dalam arsitektur berkelanjutan karena kinerja lingkungan, efisiensi termal, dan hubungannya dengan tempat. Bahan-bahan ini mencerminkan gerakan yang berkembang menuju konstruksi berdampak rendah dan responsif terhadap iklim yang berakar pada sumber daya lokal dan pengetahuan bangunan tradisional.

Konstruksi **bale jerami** menggunakan bal jerami yang dikemas rapat-sebuah produk sampingan pertanian-sebagai insulasi atau elemen struktural di dalam dinding. Dengan desain yang tepat dan perlindungan dari kelembaban, dinding jerami menawarkan insulasi termal yang sangat baik, mengurangi kebutuhan akan pemanasan dan pendinginan mekanis sambil mempertahankan suhu dalam ruangan yang nyaman sepanjang tahun. Ringan, tersedia secara luas, dan dapat terurai secara hayati, jerami adalah bahan yang bersifat karbon negatif, yang berarti jerami menyimpan lebih banyak karbon selama pertumbuhan daripada yang dilepaskan selama penggunaannya dalam konstruksi. Hal ini menjadikannya pilihan yang menarik untuk desain rendah karbon. Selain itu, dinding bale jerami tebal dan dapat dipahat, sehingga memungkinkan ekspresi arsitektur yang kreatif dan isolasi suara yang lebih baik. Jika dikombinasikan dengan plester alami seperti kapur atau tanah liat, bangunan bale jerami dapat bernapas dan tidak beracun, sehingga mendukung kualitas udara dalam ruangan yang sehat.

Di sisi lain, rammed earth melibatkan pemadatan lapisan tanah lembab-sering dicampur dengan sedikit penstabil seperti kapur atau semen-ke dalam dinding yang kokoh menggunakan bekisting. Teknik kuno ini menghasilkan dinding monolitik dengan massa termal yang luar biasa, yang memungkinkannya menyerap panas di siang hari dan melepaskannya di malam hari, menciptakan iklim dalam ruangan yang seimbang secara alami. Dinding tanah yang ditabrak tahan lama, tahan api, dan hampir bebas perawatan jika dibangun dengan benar. Warna tanah dan sentuhan akhir berteksturnya memberikan estetika unik yang merayakan keindahan bahan mentah yang belum diproses. Karena tanah yang digunakan sering kali bersumber langsung dari lokasi bangunan atau di dekatnya, rammed earth meminimalkan emisi transportasi dan menghubungkan arsitektur dengan konteks geografisnya dengan cara yang mendalam.

Bersama-sama, bale jerami dan rammed earth menantang konvensi konstruksi industri dengan menawarkan alternatif berteknologi rendah dan berkinerja tinggi yang menghargai batas-batas ekologi dan kesejahteraan manusia. Mereka mewujudkan prinsip-prinsip keberlanjutan tidak hanya melalui pilihan material tetapi juga melalui cara mereka mengundang metode pembangunan yang lebih lambat dan lebih disengaja yang menghormati ritme alam dan kearifan tradisi vernakular. Resistensi termal yang tinggi (nilai-R) dan stabilitas termal berbasis massa membuat bahan-bahan ini ideal untuk desain pasif (Subasinghe,2024; Woolley,2013).

4. Hempcrete

Hempcrete adalah bahan bangunan inovatif berbasis tanaman yang mewujudkan prinsip-prinsip arsitektur berkelanjutan melalui asalnya yang terbarukan, dampak lingkungan yang rendah, dan karakteristik kinerja yang luar biasa. Dibuat dengan menggabungkan inti kayu dari tanaman rami - dikenal sebagai *hemp hurd* - dengan pengikat berbasis

kapur alami dan air, hempcrete membentuk bahan yang ringan, insulasi, dan bernapas yang dapat dilemparkan ke dalam dinding, lantai, dan atap. Tidak seperti beton tradisional, hempcrete tidak digunakan untuk menahan beban struktural, tetapi bekerja dengan sangat baik dalam kombinasi dengan rangka kayu, menawarkan insulasi dan massa termal dalam satu sistem material.

Yang membedakan hempcrete dengan beton biasa adalah sifatnya yang negatif karbon. Komposit kapur-rami yang dikenal dengan keseimbangan karbon negatif dan sifat insulatifnya (Azhan et al.,2025). Rami tumbuh dengan cepat, tidak memerlukan pestisida, dan menyerap karbon dioksida dalam jumlah besar selama budidaya. Ketika diproses menjadi hempcrete, karbon yang tersimpan ini tetap terkunci di dalam dinding bangunan, sehingga membantu mengimbangi emisi lain yang terkait dengan konstruksi. Penggunaan kapur sebagai pengikat juga berkontribusi pada penyerapan karbon dari waktu ke waktu, karena secara bertahap menyerap kembali CO₂ melalui proses alami yang disebut karbonasi. Dalam hal kinerja, hempcrete unggul dalam pengaturan termal, isolasi akustik, dan manajemen kelembaban. Secara pasif menjaga tingkat kelembapan dalam ruangan, mengurangi kebutuhan akan ventilasi mekanis dan menciptakan lingkungan hidup yang lebih sehat dan nyaman.

Hempcrete juga tahan api, tahan hama, dan sangat tahan lama, dengan potensi untuk bertahan selama beberapa generasi jika dirawat dengan baik. Komposisi alaminya membuatnya tidak beracun dan dapat didaur ulang, sesuai dengan prinsip bangunan melingkar dan tujuan kualitas udara dalam ruangan. Secara visual, dinding hempcrete memiliki sentuhan akhir bertekstur mentah yang membangkitkan hubungan dengan alam, membuatnya ideal untuk estetika desain yang sadar lingkungan dan biofilik.

Seiring dengan meningkatnya minat terhadap arsitektur regeneratif dan tahan terhadap iklim, hempcrete muncul sebagai material masa depan yang menarik - yang

tidak hanya mendukung tujuan lingkungan, tetapi juga mendorong hubungan yang lebih harmonis antara bangunan, manusia, dan planet ini. Melalui perpaduan antara kearifan pertanian kuno dan ilmu bangunan modern, hempcrete mewakili revolusi diam-diam dalam cara kita berpikir tentang konstruksi yang berkelanjutan.

9.3.2 Bahan Daur Ulang

1. Baja / Aluminium Daur Ulang

Baja dan aluminium daur ulang telah menjadi bahan penting dalam desain arsitektur kontemporer, menawarkan keuntungan lingkungan dan struktural yang selaras dengan tujuan pembangunan berkelanjutan. Ketika industri arsitektur, teknik, dan konstruksi (AEC) bergerak menuju praktik-praktik netral karbon, logam-logam ini menonjol karena dapat didaur ulang, tahan lama, dan mengurangi jejak ekologis.

Baja adalah salah satu bahan yang paling banyak didaur ulang secara global, dengan tingkat daur ulang melebihi 85%, dan kualitasnya tidak menurun melalui beberapa siklus daur ulang. Dalam arsitektur, baja daur ulang digunakan secara luas dalam kerangka struktural, atap, kelongsong, dan bala bantuan. Kekuatan tariknya yang tinggi, ketahanan terhadap hama dan pembusukan, serta kemampuan beradaptasi secara modular membuatnya menjadi bahan yang ideal untuk konstruksi prefabrikasi dan bertingkat. Selain itu, penggunaan baja daur ulang dapat mengurangi karbon yang terkandung hingga 80% dibandingkan dengan produksi baja murni (World Steel Association, 2021).

Aluminium, meskipun boros energi untuk diproduksi, sangat efisien untuk didaur ulang - hanya membutuhkan sekitar 5% dari energi yang digunakan dalam produksi primer. Aluminium daur ulang banyak digunakan dalam komponen arsitektur seperti dinding tirai, fasad, bingkai jendela, dan elemen dekoratif. Bobotnya yang ringan, ketahanan terhadap korosi, dan keserbagunaan estetika

berkontribusi pada popularitasnya. Sebagai contoh, *Hearst Tower* milik Foster + Partners di New York menggunakan rangka diagrid dari baja daur ulang dan secara ekstensif menggunakan aluminium pada kelongsongnya, yang menunjukkan bagaimana keberlanjutan dan desain modern dapat diselaraskan (Banham, 2009).

Penggunaan kembali baja dan aluminium tidak hanya melestarikan sumber daya alam tetapi juga selaras dengan sertifikasi seperti LEED dan BREEAM, yang memberikan penghargaan terhadap penggunaan konten daur ulang pada bangunan. Kemampuan daur ulangnya juga mendukung prinsip-prinsip ekonomi sirkular, mengurangi limbah konstruksi dan menurunkan emisi siklus hidup.

Singkatnya, baja dan aluminium daur ulang bukan lagi sekadar alternatif, tetapi telah menjadi pusat dari arsitektur hijau yang inovatif. Penggabungan keduanya menunjukkan bagaimana ilmu material dan desain berkelanjutan menyatu untuk membentuk kembali masa depan lingkungan binaan. Dapat didaurulang sepenuhnya dan sangat penting untuk kerangka struktural nol-nol (Ottmann, 2022).

2. Kayu Reklamasi

Kayu reklamasi muncul sebagai bahan yang menentukan dalam arsitektur berkelanjutan, mewujudkan tanggung jawab lingkungan dan keaslian estetika. Diselamatkan dari bangunan tua, lumbung, pabrik, dan bahkan kapal yang sudah tidak beroperasi, kayu reklamasi membawa narasi sejarah yang kaya sekaligus menawarkan alternatif yang berkelanjutan untuk kayu yang baru dipanen.

Secara arsitektural, kayu reklamasi dihargai karena keunikan patina, karakter serat, dan teksturnya yang sudah usang-kualitas yang hampir tidak mungkin ditiru dengan kayu baru. Desainer dan arsitek sering menggunakannya untuk memperkenalkan kehangatan, kedalaman, dan cerita ke dalam interior dan fasad modern. Secara struktural, kayu keras yang direklamasi seperti oak, jati, dan cemara Douglas seringkali lebih kuat dan lebih stabil daripada kayu yang baru

ditebang, karena pohon aslinya biasanya berasal dari hutan yang sudah berumur tua dan telah melalui proses alami selama puluhan tahun atau bahkan ratusan tahun (Bergman & Bowe,2010).

Dari sudut pandang lingkungan, kayu reklamasi secara signifikan mengurangi permintaan akan kayu yang masih asli, membantu mencegah deforestasi dan melestarikan keanekaragaman hayati. Penggunaannya kembali mengalihkan material dari tempat pembuangan sampah dan menghindari proses intensif energi yang terkait dengan pemrosesan kayu baru. Hasilnya, hal ini berkontribusi positif terhadap jejak karbon proyek konstruksi, mendukung sistem sertifikasi hijau seperti LEED, yang memberikan poin penghargaan untuk penggunaan material yang direklamasi dan bersumber dari wilayah setempat (U.S. Green Building Council,2020).

Contoh arsitektur yang terkenal adalah Bullitt Center di Seattle, yang sering dijuluki sebagai "bangunan komersial ter hijau di dunia". Bangunan ini menggunakan banyak kayu reklamasi di bagian dalamnya, termasuk balok kayu bekas yang diubah menjadi lantai dan panel. Hal ini tidak hanya mengurangi limbah material tetapi juga membantu menciptakan lingkungan biofilik yang mendorong kesejahteraan manusia.



Gambar 9.2. Bangunan Bullitt Center di Seattle
(Sumber: <https://bullittcenter.org/building/>, akses 9 Agustus 2025)

Namun, menggunakan kayu reklamasi juga memiliki tantangan tersendiri. Hal ini membutuhkan sumber yang hati-hati, pemeriksaan paku atau perawatan beracun, dan terkadang penggilingan ulang atau pengeringan kiln untuk memenuhi standar bangunan modern. Terlepas dari kerumitan ini, nilai budaya dan ekologisnya terus mendorong pertumbuhan pasar dalam proyek-proyek arsitektur dan komersial kelas atas.

Intinya, kayu reklamasi berada di persimpangan antara keberlanjutan, keahlian, dan warisan - menjadikannya bukan hanya untuk masa lalu, tetapi juga untuk masa depan. Meminimalkan deforestasi dan mempertahankan karbon yang tersimpan (Montgomery, 2024).

9.3.3 Material Berkelanjutan yang Direkayasa

1. Kayu Berlaminasi Silang

Kayu berlaminasi silang atau *Cross-Laminated Timber* (CLT) mewakili evolusi terobosan dalam arsitektur berkelanjutan, memadukan kinerja struktural material tradisional seperti baja dan beton dengan kehangatan, pembaruan, dan dampak rendah karbon dari kayu. Dikembangkan pada tahun 1990-an di Eropa, CLT kini menjadi yang terdepan dalam konstruksi kayu di seluruh dunia, menawarkan solusi berkinerja tinggi untuk bangunan dengan ketinggian dan kompleksitas yang semakin meningkat.

CLT adalah produk kayu olahan yang terdiri dari beberapa lapis papan kayu yang ditumpuk melintang (pada sudut 90 derajat) dan direkatkan. Laminasi silang ini memberikan stabilitas dimensi yang luar biasa, kekuatan dalam berbagai arah, dan ketahanan terhadap lengkungan atau pembelahan. Tidak seperti rangka kayu konvensional, panel CLT dapat berfungsi secara bersamaan sebagai elemen struktural, insulasi, dan pelapis interior atau eksterior - merampingkan konstruksi dan mengurangi penggunaan material.



Gambar 9.3. Pemanfaatan kayu berlaminasi silang pada konstruksi bangunan

(Sumber: <https://www.zueblin--timber-com.translate.google/en/services-products/timber-building-elements/ligno-cross-laminated->

timber?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=imgs, akses
9 Agustus 2025)

Dalam bidang arsitektur, CLT merevolusi konstruksi bertingkat menengah dan tinggi. CLT memungkinkan perakitan yang lebih cepat, fondasi yang lebih ringan, dan kinerja seismic yang sangat baik. Salah satu contoh ikoniknya adalah gedung *Mjøstårnet* di Norwegia, yang memiliki tinggi 85,4 meter, merupakan struktur kayu tertinggi di dunia-yang dibangun hampir seluruhnya dari CLT dan glulam (Moelven,2019). Keberhasilannya menantang asumsi lama tentang keterbatasan kayu pada bangunan tinggi.

Dari segi lingkungan, CLT merupakan bahan yang bersifat karbon negatif: tidak hanya menyerap karbon selama masa pakai pohon, tetapi produksinyajuga menghasilkan emisi CO₂ yang jauh lebih sedikit dibandingkan dengan baja atau beton. Menurut Journal of Cleaner Production, mengganti material konvensional dengan CLT dapat mengurangi emisi yang dihasilkan hingga 69% (Gustavsson et al.,2010). CLT juga mendukung kehutanan yang berkelanjutan, terutama jika bersumber dari hutan bersertifikat (misalnya, FSC, PEFC), yang berkontribusi pada pengelolaan lahan yang bertanggung.

2. Beton Geopolimer

Beton geopolimer dengan cepat mendapatkan perhatian sebagai alternatif yang berkelanjutan dan berkinerja tinggi untuk beton berbasis semen Portland tradisional, menawarkan potensi transformatif untuk masa depan konstruksi ramah lingkungan. Dikembangkan melalui inovasi ilmu pengetahuan material yang ekstensif, beton geopolimer terdiri dari produk sampingan industri seperti abu terbang, terak tanur sembur butiran tanah (GGBFS), atau metakaolin, yang bereaksi dengan aktivator basa (seperti natrium hidroksida dan natrium silikat) untuk membentuk bahan pengikat yang mengeras. Proses ini menghilangkan kebutuhan akan semen Portland, yang merupakan kontributor utama emisi CO₂ global. Bahan pengikat berbasis

abu terbang atau terak mengurangi penggunaan semen Portland hingga 60% (Orhon & Altin,2019).

Produksi semen tradisional bertanggungjawab atas sekitar 7-8% emisi karbon dioksida global karena proses produksi klinker yang boros energi (IEA,2020). Sebaliknya, beton geopolimer dapat mengurangi karbon yang terkandung hingga 80-90%, menjadikannya pemain penting dalam dekarbonisasi sektor konstruksi (Davidovits,2015). Selain itu, dengan menggunakan kembali limbah dari pembangkit listrik tenaga batu bara dan industri baja, beton geopolimer mendukung prinsip-prinsip ekonomi sirkular dan mengalihkan limbah dalam jumlah besar dari tempat pembuangan akhir.

Secara struktural, beton geopolimer menawarkan kinerja mekanik yang sangat baik, termasuk kekuatan awal yang tinggi, ketahanan yang unggul terhadap serangan kimia (seperti sulfat dan asam), dan penyusutan yang rendah. Beton geopolimer sangat cocok untuk infrastruktur yang terpapar pada lingkungan yang keras, seperti struktur laut, sistem pembuangan limbah, dan lantai industri. Penelitian telah menunjukkan bahwa daya tahan jangka panjangnya sering kali melebihi beton tradisional, terutama dalam kondisi lingkungan yang agresif (Zhang et al.,2014).

Dari perspektif arsitektur, beton geopolimer memberikan fleksibilitas desain dan dapat dibentuk menjadi bentuk yang kompleks, sehingga ideal untuk elemen pracetak, panel fasad, trotoar, dan sentuhan akhir arsitektural. Stabilitas termalnya juga membuatnya menjadi pilihan yang menarik untuk struktur tahan api, karena dapat bertahan pada suhu hingga 1000°C tanpa kehilangan kekuatan yang signifikan (Duxson et al.,2007).

Terlepas dari kelebihanannya, penggunaan beton geopolimer yang lebih luas menghadapi dan perlunya penanganan aktivator alkali secara hati-hati. Namun, penelitian yang sedang berlangsung dan meningkatnya dukungan pemerintah untuk konstruksi rendah karbon mempercepat kelayakan komersialnya.

Pada intinya, beton geopolimer mewujudkan pergeseran menuju praktik material regeneratif. Beton geopolimer tidak hanya sebagai pengganti yang berkelanjutan tetapi juga sebagai solusi yang unggul untuk konstruksi yang tangguh, rendah karbon, dan tahan lama.

9.4 Kesimpulan

Penerapan material berkelanjutan dalam arsitektur merupakan langkah strategis dan mendesak untuk mengurangi jejak karbon sektor konstruksi sekaligus meningkatkan kualitas lingkungan binaan. Pendekatan ini menuntut pemikiran holistik yang mencakup penilaian siklus hidup (LCA), pengelolaan embodied carbon, pemanfaatan sumber lokal, penerapan prinsip sirkularitas, serta perhatian terhadap kesehatan dan kualitas udara dalam ruang.

Bahan alami seperti bambu, gabus, jerami bale, rammed earth, dan hempcrete menunjukkan bahwa material tradisional dapat menjadi solusi modern yang ramah lingkungan dengan kinerja struktural dan termal yang unggul. Sementara itu, bahan daur ulang seperti baja, aluminium, dan kayu reklamasi mampu mengurangi kebutuhan sumber daya baru, menekan limbah konstruksi, serta mempertahankan nilai estetika dan kekuatan material. Inovasi material rekayasa seperti cross-laminated timber (CLT) dan beton geopolimer membuktikan bahwa teknologi dapat menghasilkan alternatif rendah karbon yang tidak kalah dari material konvensional, bahkan dalam hal kekuatan, ketahanan, dan fleksibilitas desain.

Melalui pemilihan material yang tepat dan berbasis data, arsitek dapat menciptakan bangunan yang tidak hanya memenuhi kebutuhan fungsional dan estetika, tetapi juga berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim, konservasi sumber daya, serta peningkatan kesejahteraan manusia. Sinergi antara kearifan lokal, inovasi teknologi, dan prinsip keberlanjutan akan menjadi kunci untuk membangun lingkungan yang regeneratif, tangguh, dan selaras dengan alam.

DAFTAR PUSTAKA

- Abera, T. (2024). *Carbon-storing materials in sustainable construction*. *Journal of Green Building Materials*, 19(2), 145–159.
- Azhan, S., Rahman, M., & Khalid, N. (2025). Thermal and carbon performance of hemp-lime composites in building envelopes. *Construction and Building Materials*, 301, 124056. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124056>
- Banham, R. (2009). *The architecture of the well-tempered environment* (2nd ed.). University of Chicago Press.
- Bergman, R., & Bowe, S. A. (2010). Environmental impact of manufacturing reclaimed lumber flooring from deconstructed buildings. *Journal of Cleaner Production*, 18(14), 1464–1472. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.05.015>
- Blanchet, P., Cloutier, A., & Beaugregard, R. (2024). Engineered bamboo products for sustainable construction. *Materials Today: Sustainability*, 15, 100356. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2023.100356>
- Bourbia, C., Awad, M., & El Fadali, R. (2023). Circular economy in building design: Integrating recycled and reclaimed materials. *Sustainable Cities and Society*, 96, 104611. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104611>
- Davidovits, J. (2015). *Geopolymer chemistry and applications* (4th ed.). Institut Géopolymère.
- Duxson, P., Provis, J. L., Lukey, G. C., & van Deventer, J. S. J. (2007). The role of inorganic polymer technology in the development of 'green concrete'. *Cement and Concrete Research*, 37(12), 1590–1597. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.08.018>
- Gustavsson, L., Sathre, R., & Pingoud, K. (2010). Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. *Journal of Cleaner Production*, 18(14), 1267–1275. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.03.018>
- Huang, Y., Liu, J., & Li, Z. (2021). Carbon storage potential of bio-based building materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111579. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111579>

- International Energy Agency. (2020). *Technology roadmap: Low-carbon transition in the cement industry*. <https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-low-carbon-transition-in-the-cement-industry>
- Moelven. (2019). *Mjøstårnet – The world's tallest timber building*. <https://www.moelven.com>
- Montgomery, D. (2024). Reclaimed timber use in high-performance green buildings. *Journal of Architectural Engineering*, 30(1), 04023044. <https://doi.org/10.1061/JAEEEE9.AEENG-5582>
- Moreno-Rangel, A., Sharpe, T., & Musau, F. (2021). Life cycle assessment in architectural design: Tools, challenges, and best practices. *Sustainable Cities and Society*, 69, 102838. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102838>
- Orhon, A., & Altin, S. (2019). Performance and sustainability assessment of geopolymer concrete mixes. *Construction and Building Materials*, 115, 706–715. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.221>
- Ottmann, F. (2022). The role of recycled metals in sustainable structural engineering. *Resources, Conservation & Recycling*, 178, 106093. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106093>
- Pathan, S. (2024). Embodied carbon analysis of bio-based building materials. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*, 18(2), 55–70.
- Pereira, H., & Knapic, S. (2017). Cork as a building material: A review. *BioResources*, 12(2), 4033–4059. <https://doi.org/10.15376/biores.12.2.4033-4059>
- Subasinghe, K. (2024). Thermal performance of natural building materials in passive design. *Energy and Buildings*, 197, 113741. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113741>
- Woolley, T. (2013). *Low impact building: Housing using renewable materials*. Routledge.
- Woolley, T. (2022). Local material sourcing and sustainable architecture. *Building Research & Information*, 50(4), 457–470. <https://doi.org/10.1080/09613218.2021.1977143>
- World Green Building Council. (2020). *Bringing embodied carbon upfront: Coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon*. <https://www.worldgbc.org>

BAB 10

MANAJEMEN LINGKUNGAN DAN KESEHATAN DALAM BANGUNAN

Oleh Gusniyati Buhari

10.1 Pendahuluan

10.1.1 Latar Belakang

Kesadaran tentang pentingnya pengelolaan lingkungan yang sehat dalam bangunan semakin meningkat. Bangunan bukan hanya tempat tinggal atau kerja, tetapi juga elemen yang mempengaruhi kesehatan fisik dan mental penghuninya. Kualitas udara, pencahayaan, kebisingan, dan desain fisik bangunan berperan penting dalam mendukung kesejahteraan penghuni, baik dalam mencegah maupun menyebabkan masalah kesehatan seperti penyakit pernapasan dan gangguan psikologis. Isu-isu seperti perubahan iklim, polusi udara, dan urbanisasi yang semakin meningkat membuat tantangan ini semakin relevan untuk dipecahkan (Gifford,2013).

Para arsitek, perencana kota, dan pembuat kebijakan dihadapkan pada tantangan untuk menciptakan ruang yang memenuhi kebutuhan fungsional sekaligus mendukung kualitas hidup penghuni. Dalam menghadapi isu-isu ini, penting untuk mengintegrasikan prinsip manajemen lingkungan dan kesehatan dalam desain dan operasional bangunan. Pendekatan menyeluruh diperlukan untuk memastikan desain bangunan yang ramah lingkungan, berkelanjutan, dan mendukung kesehatan penghuni. Ini bertujuan untuk memberikan pemahaman lebih mendalam tentang pentingnya manajemen lingkungan yang sehat dalam arsitektur dan penerapannya untuk meningkatkan kualitas hidup (Liu, Yang, & Osmani,2021).

10.1.2 Tujuan

1. Menggambarkan pentingnya manajemen lingkungan dalam desain bangunan dan dampaknya terhadap kesehatan penghuni.
2. Memberikan pemahaman tentang regulasi dan standar yang ada terkait dengan kesehatan dan lingkungan bangunan.
3. Menyediakan panduan bagi para arsitek, perencana, dan pengelola bangunan dalam merancang dan mengelola bangunan yang mendukung kesehatan fisik dan mental penghuni.
4. Menyajikan studi kasus nyata yang menggambarkan aplikasi prinsip-prinsip desain sehat dalam bangunan.

10.1.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pembahasan mencakup beberapa hal penting sebagai berikut :

1. **Teori Dasar dan Konsep** yaitu menyediakan landasan teori mengenai pengelolaan lingkungan dan kaitannya dengan kesehatan dalam desain bangunan.
2. **Aspek Lingkungan dalam Bangunan** yaitu mengulas tentang kualitas udara, pencahayaan, kebisingan, air, serta penggunaan material bangunan yang ramah lingkungan dan mendukung kesehatan.
3. **Manajemen Kesehatan Lingkungan Bangunan** yaitu membahas sistem manajemen yang diterapkan dalam proyek bangunan, serta bagaimana melakukan pemeliharaan dan operasional yang mendukung keberlanjutan dan kesehatan penghuni
4. **Regulasi dan Standar Kesehatan** yaitu mengulas peraturan nasional dan internasional yang berkaitan dengan desain dan pengelolaan bangunan sehat, serta standar yang harus dipatuhi oleh para profesional.
5. **Aplikasi Praktis dan Studi Kasus** yaitu memberikan contoh aplikasi nyata dari penerapan prinsip manajemen lingkungan dan kesehatan dalam berbagai proyek bangunan di Indonesia dan luar negeri

10.2 Teori Dasar Manajemen Lingkungan

10.2.1 Definisi dan Konsep Manajemen Lingkungan

1. Sejarah

Peradaban Kuno (sekitar 3000 SM). Manusia pertama kali mulai menyadari pentingnya menjaga keseimbangan lingkungan pada masa peradaban kuno, seperti Mesopotamia dan Mesir. Mereka melakukan pengelolaan air dan tanah untuk pertanian, serta menciptakan sistem irigasi yang efisien untuk mendukung kelangsungan hidup mereka. Misalnya, bangsa Mesir kuno mengembangkan sistem kanal dan bendungan untuk mengatur banjir sungai Nil, yang sangat penting bagi kehidupan mereka (Fagan, 2004).

Era Industri (Abad ke-18 hingga ke-19). Pada era revolusi industri, dampak besar dari industrialisasi terhadap lingkungan mulai dirasakan. Peningkatan polusi udara dan air, deforestasi, serta degradasi tanah mulai menjadi isu yang dihadapi manusia. Pada awal abad ke-19, muncul kesadaran bahwa kegiatan industri dapat merusak lingkungan, dan kebutuhan untuk melakukan pengelolaan lingkungan menjadi semakin mendesak (McNeill, 2000).

Awal Abad ke-20 berupa Gerakan Konservasi. Pada awal abad ke-20, gerakan konservasi alam mulai berkembang di Eropa dan Amerika Serikat. Konsep manajemen lingkungan mulai diorganisir melalui pembentukan taman nasional dan perlindungan terhadap spesies yang terancam punah. Salah satu tokoh penting dalam gerakan ini adalah John Muir, yang mendirikan Sierra Club pada tahun 1892, yang berfokus pada pelestarian alam dan pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan (Muir, 1911) (Nash, 2001).

Pertengahan Abad ke-20. Kemunculan Kesadaran Global tentang Lingkungan. Pada tahun 1960-an dan 1970-an, kesadaran akan kerusakan lingkungan mulai meluas, dipicu oleh peristiwa seperti kecelakaan minyak di Santa Barbara, polusi udara di kota-kota besar, dan dampak pestisida (seperti DDT). Buku *Silent Spring* karya Rachel Carson yang diterbitkan pada 1962 menjadi titik balik yang

penting dalam gerakan lingkungan. Pada tahun 1972, Konferensi Stockholm mengenai Lingkungan Manusia diselenggarakan, yang menghasilkan Deklarasi Stockholm yang menekankan pentingnya pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan (Carson, 1962)

Era Pasca 1990-an. Manajemen Lingkungan Berkelanjutan, Sejak akhir abad ke-20, konsep keberlanjutan dan manajemen lingkungan yang lebih sistematis mulai diterapkan secara global. Pada tahun 1992, Konferensi PBB tentang Lingkungan dan Pembangunan di Rio de Janeiro menghasilkan Agenda 11, yang menekankan pentingnya keberlanjutan dalam pengelolaan sumber daya alam dan pembangunan. Pada tahun 2000, dimulainya tujuan pembangunan milenium PBB juga memperkenalkan integrasi manajemen lingkungan dalam pembangunan global.

2. Definisi dan Konsep Manajemen Lingkungan

Manajemen lingkungan melibatkan pemahaman tentang ekosistem, serta peran manusia dalam menjaga kelestarian lingkungan melalui kebijakan, strategi, dan tindakan yang terorganisir. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan penggunaan sumber daya alam secara efisien dan berkelanjutan serta memastikan bahwa aktivitas manusia dapat berlangsung tanpa merusak atau menghabiskan sumber daya alam yang ada, serta menjaga kelestarian lingkungan untuk generasi yang akan datang. Beberapa pendapat para ahli berikut :

a. Edwin S. Ayres (1989)

Menurut Ayres, manajemen lingkungan adalah suatu proses untuk memelihara keseimbangan antara kegiatan manusia dan lingkungan alam yang ada. Ia berfokus pada upaya untuk merencanakan, mengatur, dan mengelola sumber daya alam agar dapat memenuhi kebutuhan manusia tanpa merusak ekosistem dan keanekaragaman hayati (Ayres, 1989)

- b. Lester R. Brown (1998)

Brown mendefinisikan manajemen lingkungan sebagai upaya untuk mengatur kegiatan manusia yang berhubungan dengan penggunaan sumber daya alam. Tujuan dari manajemen lingkungan adalah untuk meminimalkan dampak negatif terhadap bumi, mengurangi konsumsi yang berlebihan, dan memperbaiki kualitas hidup manusia melalui kebijakan yang berkelanjutan(Mansyur,2020).

- c. David W. Pearce (2006)

Pearce melihat manajemen lingkungan sebagai sistem yang melibatkan identifikasi, pengelolaan, dan pemantauan dampak kegiatan manusia terhadap lingkungan. Ia menekankan pentingnya kebijakan yang berorientasi pada pelestarian lingkungan dan pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan untuk menghindari kerusakan lebih lanjut (Mansyur,2020)

- d. Michael T. Kolb (2013)

Kolb menjelaskan bahwa manajemen lingkungan adalah kombinasi dari kebijakan, strategi, dan tindakan yang dilakukan oleh individu, organisasi, atau pemerintah untuk melindungi, memelihara, dan memulihkan kualitas lingkungan. Ia menekankan perlunya pengelolaan sumber daya alam dan perlindungan ekosistem untuk kesejahteraan jangka panjang. (Mansyur,2020)

- e. Richard T. Carson (2017)

Carson mendefinisikan manajemen lingkungan sebagai pendekatan yang menggunakan data ilmiah untuk memantau dampak kegiatan manusia terhadap lingkungan. Ia juga berfokus pada pengelolaan dan pemulihan ekosistem yang rusak serta penggunaan teknologi baru untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan sumber daya alam.

Manajemen lingkungan didefinisikan sebagai proses sistematis yang mencakup perencanaan, pengelolaan, dan pengawasan terhadap penggunaan sumber daya alam dan desain bangunan untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan alam dan ekosistem. Manajemen lingkungan dalam arsitektur berfokus pada tiga pilar utama:

a. Pengelolaan Sumber Daya Alam

Mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam yang terbatas, seperti air, energi, dan material bangunan, agar dapat digunakan secara efisien dan ramah lingkungan.

b. Desain Berkelanjutan

Menerapkan desain yang meminimalkan konsumsi energi dan material serta memperhitungkan dampak jangka panjang terhadap ekosistem, termasuk memilih material yang ramah lingkungan dan teknologi yang mengurangi polusi.

c. Pengelolaan Limbah

Memastikan bahwa limbah yang dihasilkan selama proses konstruksi dan operasional bangunan dikelola dengan cara yang berkelanjutan, seperti dengan mendaur ulang material bangunan atau mengolah limbah cair dan padat secara efisien.

Beberapa teori dasar yang mendasari manajemen lingkungan antara lain adalah

a. Keberlanjutan (*Sustainability*)

Keberlanjutan adalah konsep utama yang mengharuskan pembangunan memenuhi kebutuhan saat ini tanpa merugikan generasi mendatang. Prinsip keberlanjutan terdiri dari tiga dimensi utama yaitu ekologis (kelestarian lingkungan), sosial (keadilan sosial), dan ekonomi (efisiensi ekonomi). Dalam arsitektur keberlanjutan mencakup desain bangunan, pemilihan material, dan pengelolaan sumber daya alam yang efisien dan bertanggung jawab

b. Desain Ramah Lingkungan (*Green Design*)

Desain ramah lingkungan, atau desain hijau, adalah pendekatan dalam perencanaan dan pembangunan yang mempertimbangkan dampak lingkungan dari setiap keputusan desain. Ini termasuk pemilihan material yang ramah lingkungan, penggunaan teknologi efisien energi, dan strategi pengelolaan limbah yang bertujuan untuk mengurangi jejak ekologis dari bangunan.

c. Efisiensi Energi (*Energy Efficiency*)

Desain ramah lingkungan berfokus pada perencanaan dan pembangunan yang meminimalkan dampak lingkungan. Ini mencakup pemilihan material yang ramah lingkungan, penggunaan teknologi efisien energi, dan pengelolaan limbah yang mengurangi jejak ekologis dari bangunan.

d. Pengelolaan Sumber Daya Alam (*Natural Resource Management*)

Pengelolaan sumber daya alam dalam arsitektur mencakup penggunaan material yang dapat diperbarui atau didaur ulang serta pengelolaan sumber daya alam seperti air dan energi secara efisien untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan mengurangi kerusakan lingkungan.

e. Pengelolaan Limbah (*Waste Management*)

Pengelolaan limbah berfokus pada proses mengurangi, mendaur ulang, atau mengolah limbah yang dihasilkan oleh kegiatan konstruksi dan operasional bangunan. Ini mencakup pemilihan material yang dapat didaur ulang dan minimisasi limbah konstruksi.

f. *Green Building Certification* (Sertifikasi Bangunan Hijau)

Sertifikasi bangunan hijau menilai kinerja lingkungan bangunan berdasarkan aspek seperti efisiensi energi, pengelolaan air, kualitas udara dalam ruangan, dan penggunaan material ramah lingkungan. Sertifikasi ini membantu mencapai desain bangunan yang berkelanjutan.

g. Teknologi Hijau (*Green Technology*)

Teknologi hijau melibatkan penggunaan teknologi dalam desain dan konstruksi bangunan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Ini termasuk sistem pengolahan limbah yang efisien, penggunaan material ramah lingkungan, dan optimasi energi terbarukan.

3. Hubungan antara Lingkungan dan Kesehatan

Lingkungan memiliki peran yang sangat besar dalam mempengaruhi kesehatan individu, terutama dalam konteks bangunan dan ruang yang kita huni atau gunakan sehari-hari. Lingkungan bukan hanya mencakup elemen alam seperti udara, air, dan tanah, tetapi juga mencakup elemen buatan yang ada dalam ruang bangunan, seperti kualitas udara dalam ruangan, pencahayaan, temperatur, kebisingan, serta penggunaan material bangunan.

a. Kualitas Udara dalam Ruangan dan Kesehatan

Kualitas udara dalam ruangan mempengaruhi kesehatan penghuni, dengan polusi udara dari bahan bangunan yang mengeluarkan gas berbahaya seperti formaldehida dan VOC dapat menyebabkan gangguan pernapasan, alergi, dan penyakit jantung. Ventilasi yang buruk meningkatkan risiko penyakit pernapasan, seperti asma.

b. Pencahayaan dan Kesehatan Mental

Pencahayaan alami mendukung kesehatan mental dengan mengatur ritme sirkadian tubuh, meningkatkan kadar vitamin D, dan memperbaiki kualitas tidur. Pencahayaan buatan yang buruk dapat menyebabkan stres, kelelahan mata, dan gangguan tidur.

c. Kebisingan dan Kesehatan

Kebisingan dapat meningkatkan tekanan darah, gangguan tidur, dan stres, serta menurunkan kualitas hidup. Kebisingan yang berlebihan mengganggu konsentrasi dan produktivitas, mempengaruhi kesehatan mental penghuni.

- d. Pengaruh Material Bangunan terhadap Kesehatan
Material bangunan dapat mengeluarkan VOC yang berbahaya, mempengaruhi kualitas udara dan kesehatan penghuni. Material ramah lingkungan dan bebas bahan berbahaya meningkatkan kualitas udara dan mengurangi risiko kesehatan
- e. Kualitas Air dan Sanitasi dalam Bangunan
Kualitas air dan sanitasi yang buruk dapat menyebabkan penyakit yang ditularkan melalui air, seperti diare dan infeksi saluran pencernaan. Pengelolaan limbah yang baik penting untuk mencegah polusi dan penyakit menular.
- f. Kesehatan Fisik dan Psikologis Lingkungan Bangunan
Desain ruang yang sempit atau gelap dapat meningkatkan stres, kecemasan, dan depresi. Sebaliknya, desain ruang terbuka, terang, dan dengan elemen alami mendukung kesehatan mental dan kesejahteraan penghuni.
- g. Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Dampak Lingkungan
Pengelolaan energi dan material ramah lingkungan, serta pengelolaan limbah yang efisien, mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan kesehatan penghuni dengan mengurangi polusi udara.

Perencanaan dan desain bangunan yang memperhatikan kualitas udara, pencahayaan, kebisingan, material bangunan, kualitas air, serta pengelolaan sumber daya alam dapat mendukung kesehatan fisik dan mental penghuni. Menciptakan bangunan yang sehat berkontribusi pada kualitas hidup penghuni dan pembangunan berkelanjutan.

10.3 Kesehatan dalam Konteks Bangunan

10.3.1 Konsep Kesehatan dalam Arsitektur

Pemeliharaan rutin pada bangunan mencakup pemeriksaan dan perawatan sistem untuk menjaga kinerja optimal serta mencegah kerusakan besar, seperti pembersihan

ventilasi, pemeriksaan struktur, dan perbaikan kecil. Pengelolaan energi bertujuan mengurangi konsumsi energi dan dampak lingkungan dengan menggunakan audit energi, teknologi efisien seperti pencahayaan LED, dan energi terbarukan. Selain itu, pengelolaan air melalui sistem pengolahan limbah dan alat hemat air mendukung keberlanjutan bangunan. Evaluasi kinerja lingkungan, yang mencakup pemantauan energi, kualitas udara, penggunaan air, dan pengelolaan limbah, memastikan bangunan beroperasi sesuai dengan standar lingkungan dan memungkinkan langkah perbaikan untuk mendukung efisiensi dan kesehatan penghuni.

10.3.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kesehatan Penghuni

Faktor-faktor yang mempengaruhi kesehatan penghuni bangunan meliputi kualitas udara, pencahayaan, kebisingan, kenyamanan termal, dan material bangunan. Udara terkontaminasi dapat menyebabkan gangguan pernapasan, pencahayaan buruk mengganggu ritme sirkadian, kebisingan meningkatkan stres, dan suhu ekstrem menyebabkan ketidaknyamanan fisik. Penggunaan material yang mengeluarkan zat berbahaya juga memperburuk kualitas udara, meningkatkan risiko masalah kesehatan jangka panjang. Semua faktor ini perlu diperhatikan untuk menciptakan lingkungan sehat.

10.4 Regulasi dan Standar Kesehatan Bangunan

10.4.1 Peraturan Nasional dan Internasional

1. Peraturan Nasional Indonesia

- a. Permenkes No. 1405/Menkes/SK/XI/2002 – Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah. Dokumen ini menetapkan standar kualitas udara dalam ruangan untuk rumah tinggal, termasuk persyaratan ventilasi, kelembapan, dan suhu ruangan. Misalnya, kelembapan relatif yang direkomendasikan adalah antara 40%–60% untuk mencegah pertumbuhan tungau dan jamur.
- b. Permenkes No. 48/2016 – Standar Kesehatan Kerja Kantor. Menetapkan standar kualitas udara dalam ruangan untuk

- ruang kantor, termasuk ventilasi, suhu, dan kelembapan, guna memastikan kenyamanan dan kesehatan pekerja.
- c. Permen PUPR No./12/2018 – Bangunan Gedung Negara. Mengatur persyaratan teknis bangunan gedung negara, termasuk aspek kesehatan dan keselamatan penghuni, seperti ventilasi, pencahayaan, dan aksesibilitas.
 - d. Permen PUPR No. 02/2015 – Bangunan Gedung Hijau. Mengatur penerapan prinsip bangunan hijau, termasuk efisiensi energi dan penggunaan material ramah lingkungan, yang berkontribusi pada kesehatan penghuni .
2. Peraturan Internasional
- a. WHO *Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants* (2010) – Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) menetapkan pedoman kualitas udara dalam ruangan untuk melindungi kesehatan masyarakat dari risiko yang disebabkan oleh berbagai bahan kimia yang umum terdapat di udara dalam ruangan, seperti formaldehida, benzena, dan karbon monoksida .
 - b. ASHRAE Standard 62.1 – *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Standar ini menetapkan persyaratan ventilasi minimum untuk ruang dalam bangunan guna memastikan kualitas udara dalam ruangan yang dapat diterima dan mendukung kesehatan penghuni.
 - c. *International Green Construction Code* (IgCC) – Kode Bangunan Hijau Internasional. Dikembangkan untuk mempromosikan bangunan yang ramah lingkungan dan sehat, termasuk peningkatan kualitas udara dalam ruangan, konservasi energi, dan penggunaan material yang aman bagi kesehatan.
 - d. WELL *Building Standard* – Sertifikasi bangunan yang fokus pada kesejahteraan dan kesehatan penghuni, dengan kriteria seperti kualitas udara dalam ruangan, pencahayaan, kenyamanan termal, dan akustik.
 - e. LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) – Sistem sertifikasi bangunan hijau yang mencakup aspek kesehatan dan kesejahteraan penghuni, termasuk kualitas

udara dalam ruangan, pencahayaan alami, dan kenyamanan termal.

10.4.2 Standar Kualitas Udara dan Air

Kualitas udara dan air dalam bangunan merupakan faktor utama yang mempengaruhi kesehatan penghuni. Kualitas yang buruk dapat menyebabkan berbagai gangguan kesehatan, mulai dari masalah pernapasan hingga gangguan sistem kardiovaskular dan neurologis. Oleh karena itu, standar kualitas udara dan air diatur oleh berbagai peraturan internasional dan nasional untuk memastikan bahwa lingkungan dalam ruangan dapat mendukung kesehatan dan kesejahteraan penghuni.

1. Standar Kualitas Udara dalam Bangunan

Kualitas udara dalam ruangan (IAQ) mengacu pada kebersihan udara yang dihirup penghuni. Udara terkontaminasi polutan dapat menurunkan kesehatan, menyebabkan batuk, iritasi mata, sakit kepala, dan memperburuk penyakit pernapasan seperti asma. Standar Utama dalam Kualitas Udara dalam Ruangan yaitu

- a. Ventilasi yang memadai, sesuai dengan ASHRAE Standard 62.1, memastikan sirkulasi udara yang sehat dan mengurangi polutan dalam ruangan. Sistem ventilasi dapat mekanis atau alami, tergantung pada desain dan kebutuhan bangunan. ASHRAE merekomendasikan minimal 0,35 liter per detik per orang atau 10 liter per detik per orang per meter persegi, tergantung pada penggunaan ruang
- b. Partikel Halus dan Polutan Kimia yaitu standar kualitas udara dalam ruangan juga mencakup pengendalian partikel halus (seperti PM_{2.5}) dan senyawa organik yang mudah menguap (VOC). Mengurangi kadar polutan ini dapat mengurangi risiko penyakit pernapasan dan alergi. WHO (*World Health Organization*) merekomendasikan batas konsentrasi maksimum VOC di dalam ruangan sebesar 0.1 ppm .
- c. Kelembapan yaitu kelembapan relatif antara 40% dan 60% disarankan untuk mencegah pertumbuhan jamur dan tungau debu, yang dapat memicu alergi dan masalah

pernapasan. Nilai kelembapan yang lebih rendah atau lebih tinggi dapat menyebabkan ketidaknyamanan dan gangguan kesehatan lainnya, seperti kulit kering atau gangguan pernapasan.

2. Standar Kualitas Air dalam Bangunan

Kualitas air dalam bangunan sangat mempengaruhi kesehatan penghuni, terutama dalam hal sistem air minum dan sistem sanitasi. Pengelolaan air yang buruk dapat menyebabkan penyebaran penyakit yang ditularkan melalui air, seperti diare dan infeksi saluran pencernaan. Standar Utama dalam Kualitas Air dalam Bangunan yaitu

- a. Air Minum berupa Standar air minum yang sehat ditetapkan oleh WHO dan lembaga lainnya, dengan konsentrasi maksimum kontaminan seperti mikroba (*Coliform* dan *Escherichia coli*), logam berat (timah, arsenik), serta bahan kimia berbahaya (klorin, fluor, dll.). Batas maksimum mikroba dalam air minum seharusnya tidak terdeteksi dalam 100 ml air .
 - b. Sistem sanitasi yang baik mencegah kontaminasi air bersih dengan limbah. Bangunan tanpa sistem pengelolaan limbah yang memadai dapat menyebabkan masalah kesehatan, seperti infeksi pernapasan atau diare. Pembuangan limbah harus dilakukan dengan sistem yang memadai, seperti pipa tertutup atau pengolahan limbah ramah lingkungan, sesuai standar nasional dan internasional.
 - c. Pengelolaan dan pemantauan kualitas air limbah penting untuk mencegah pencemaran saluran air dan dampak kesehatan. Sistem pembuangan limbah harus mencegah kontaminasi bahan kimia, mikroba, dan partikel berbahaya lainnya
- ## 3. Standar Kesehatan Udara dan Air dalam Sistem Bangunan Hijau

Bangunan yang memenuhi sertifikasi LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) dan WELL Building Standard menetapkan standar ketat terkait kualitas udara dan air untuk memastikan kesehatan penghuni. Misalnya, WELL Building Standard mensyaratkan penggunaan sistem ventilasi

yang dapat mengurangi paparan terhadap polutan dalam ruangan dan penggunaan material yang tidak mengandung bahan kimia berbahaya. LEED juga mendorong pengurangan emisi karbon dan penggunaan sistem filtrasi air yang efisien.

10.4.3 Pedoman Desain Sehat

Pedoman desain sehat dalam arsitektur bertujuan menciptakan lingkungan yang mendukung kesehatan fisik, mental, dan sosial penghuni. Desain ini mencakup pengelolaan kualitas udara dengan ventilasi yang memadai, pencahayaan alami yang optimal, dan penggunaan material ramah lingkungan. Sistem ventilasi yang baik harus memastikan aliran udara segar dan pengeluaran polutan, sementara pencahayaan buatan harus merata dan bebas silau. Kenyamanan termal dicapai melalui isolasi termal yang efektif dan penggunaan material yang menyimpan panas, sedangkan akustik bangunan perlu diperhatikan dengan material peredam kebisingan. Pemilihan material bangunan yang aman dan bebas bahan berbahaya serta pengelolaan air yang efisien adalah hal penting, bersama dengan integrasi elemen alam seperti taman dan ruang hijau untuk meningkatkan kualitas udara dan kesejahteraan penghuni.

10.5 Aspek Lingkungan dalam Bangunan

10.5.1 Kualitas Udara dalam Ruang

Kualitas udara dalam ruangan (*Indoor Air Quality/IAQ*) sangat mempengaruhi kesehatan penghuni. Polutan udara dalam ruangan, seperti senyawa organik yang mudah menguap (VOC), formaldehida, dan partikel halus (PM_{2.5}), sering kali berasal dari bahan bangunan, perabot, atau aktivitas penghuni. Kualitas udara yang buruk dapat menyebabkan masalah kesehatan, termasuk gangguan pernapasan, alergi, dan penyakit jantung (Sundell, 2016). Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Udara dalam Ruang

1. Sumber Polutan. Polutan utama dalam ruangan termasuk VOC dari cat, pelapis dinding, dan bahan bangunan sintetis. Merokok, penggunaan bahan bakar fosil, serta kebocoran gas

juga berkontribusi pada polusi udara dalam ruangan (Hodgson et al., 2000).

2. Ventilasi. Ventilasi yang tidak memadai memperburuk kualitas udara dengan mengurangi kemampuan untuk mengeluarkan polutan. Standar ASHRAE 62.1 merekomendasikan ventilasi minimal 0.35 liter per detik per orang untuk memastikan udara dalam ruangan tetap sehat (ASHRAE, 2016).
3. Kelembapan. Kelembapan yang tidak terkontrol dapat meningkatkan pertumbuhan jamur dan tungau debu, yang berpotensi mempengaruhi kualitas udara dan kesehatan penghuni (WHO, 2000).

Dampak Kualitas Udara Terhadap Kesehatan yaitu

1. Gangguan Pernapasan. Polusi udara dapat menyebabkan masalah pernapasan seperti batuk, sesak napas, dan memperburuk asma (Sundell, 2016).
2. Sick Building Syndrome (SBS). Gejala seperti kelelahan, sakit kepala, dan iritasi saluran pernapasan sering kali disebabkan oleh kualitas udara yang buruk (Basner et al., 2014).
3. Penyakit Kardiovaskular. Paparan jangka panjang terhadap polutan udara dalam ruangan, seperti karbon monoksida dan PM2.5, dapat meningkatkan risiko penyakit jantung (Sundell, 2016).

Pedoman untuk Menjaga Kualitas Udara yaitu

1. Ventilasi yang Cukup. Memastikan sirkulasi udara yang baik dengan ventilasi mekanis atau alami sesuai dengan standar ASHRAE.
2. Penggunaan Material Ramah Lingkungan. Pilih material yang tidak mengeluarkan VOC atau bahan berbahaya lainnya (ASHRAE, 2016).
3. Pemantauan Kualitas Udara. Gunakan sensor untuk memantau kadar polutan dan mengatur sistem ventilasi otomatis untuk menjaga kualitas udara yang sehat

10.5.3 Kualitas Air dan Sanitasi

Kualitas air melibatkan pasokan air bersih yang aman untuk konsumsi dan pengelolaan air limbah yang efektif. Sistem filtrasi yang baik dapat mengurangi kontaminasi mikroba dan logam berat, dengan standar WHO yang merekomendasikan air bebas dari patogen dan kontaminan berbahaya. Sanitasi yang baik mencakup pengelolaan limbah yang mencegah pencemaran dan penyebaran penyakit. Sistem pembuangan limbah yang efisien sangat penting untuk menjaga lingkungan bersih dan sehat, serta mengurangi risiko penyakit yang ditularkan melalui air dan infeksi saluran pencernaan. Kualitas air dan sanitasi yang baik adalah kunci kesehatan penghuni bangunan. Standar Kualitas Air dan Sanitasi yaitu

1. WHO *Guidelines for Drinking-water Quality* (2011) menetapkan batasan untuk kontaminan dalam air minum.
2. ASHRAE Standard 188-2018 mengatur pencegahan legionella dalam sistem air bangunan.
3. LEED mendorong pengelolaan air dan sanitasi yang ramah lingkungan.

Solusi untuk Menjaga Kualitas Air dan Sanitasi yaitu

1. Pemanfaatan Teknologi: Penggunaan teknologi seperti sistem filtrasi air yang canggih, pemurnian UV, dan sistem pengolahan air limbah yang efisien dapat menjaga kualitas air dan sanitasi bangunan.
2. Desain Berkelanjutan: Desain bangunan yang memperhatikan penggunaan air yang efisien, seperti penggunaan alat hemat air (shower, keran, dan toilet rendah aliran) dan pengelolaan limbah yang ramah lingkungan, dapat mendukung keberlanjutan dan kesehatan penghuni.
3. Perawatan dan Pemantauan: Pemeliharaan rutin terhadap sistem air dan sanitasi, serta pemantauan kualitas air secara berkala, sangat penting untuk memastikan bahwa standar kesehatan selalu terpenuhi.

10.5.2 Pencahayaan dan Penghawaan Alami

Pencahayaan dan penghawaan alami penting untuk menciptakan lingkungan dalam ruangan yang sehat. Cahaya alami mendukung kesehatan fisik dan mental dengan mengatur ritme sirkadian tubuh dan mengurangi konsumsi energi. Sebaliknya, pencahayaan buatan yang buruk dapat menyebabkan kelelahan mata dan gangguan tidur. Penghawaan alami memastikan udara segar mengalir, mengurangi polutan, dan meningkatkan kualitas udara, sementara ventilasi alami mengurangi kebutuhan ventilasi mekanis serta menjaga kenyamanan termal.

10.5.3 Kebisingan dan Akustik Bangunan

Kebisingan tinggi dapat memengaruhi kesehatan fisik dan mental penghuni, menyebabkan stres, gangguan tidur, dan penurunan kualitas hidup. Pengendalian kebisingan dalam bangunan penting untuk kenyamanan dan kesehatan penghuni. Desain akustik yang baik, seperti penggunaan material peredam suara (plafon, dinding insulasi, jendela kedap suara) dan tata letak ruang yang memperhatikan sumber kebisingan, dapat mengurangi dampak kebisingan yang mengganggu.

10.5.4 Material Bangunan dan Kesehatan

Pemilihan material bangunan mempengaruhi kualitas udara dan kesehatan penghuni. Material yang mengandung senyawa organik volatil (VOC) dan bahan kimia berbahaya dapat menurunkan kualitas udara dan menyebabkan gangguan pernapasan, alergi, serta penyakit jantung. Penggunaan material ramah lingkungan, seperti cat berbasis air, bahan alami (misalnya kayu atau batu), dan material bersertifikasi ramah lingkungan, dapat meningkatkan kualitas udara dan mengurangi risiko kesehatan.

10.6 Manajemen Kesehatan Lingkungan Bangunan

10.6.1 Perencanaan dan Desain Bangunan Sehat

1. Prinsip-Prinsip Desain Sehat

Desain bangunan sehat berfokus pada peningkatan kualitas hidup penghuni melalui pendekatan holistik. Prinsip utamanya meliputi

- a. Kualitas Udara dalam Ruangan (*Indoor Air Quality/IAQ*). Memastikan ventilasi yang baik dan penggunaan material rendah emisi untuk mencegah polusi udara dalam ruangan.
- b. Pencahayaan Alami dan Buatan. Mengoptimalkan pencahayaan alami untuk mendukung ritme sirkadian dan menggunakan pencahayaan buatan yang efisien energi.
- c. Kenyamanan Termal. Mencapai suhu dan kelembapan yang nyaman melalui desain termal yang tepat dan sistem HVAC yang efisien.
- d. Akustik yang Baik. Mengontrol kebisingan dengan material peredam suara dan perencanaan tata ruang yang tepat.
- e. Material Ramah Lingkungan. Menggunakan material yang tidak mengandung bahan berbahaya dan memiliki jejak karbon rendah.
- f. Aksesibilitas dan Mobilitas. Menyediakan akses yang mudah bagi semua penghuni, termasuk mereka yang berkebutuhan khusus.
- g. Keterhubungan dengan Alam (*Biophilic Design*). Mengintegrasikan elemen alam seperti tanaman indoor, pemandangan luar, dan cahaya alami untuk meningkatkan kesejahteraan psikologis.

2. Integrasi Aspek Kesehatan dalam Desain

Integrasi aspek kesehatan dalam desain bangunan mencakup

- a. Pendekatan Kesehatan Terpadu. Menggabungkan prinsip-prinsip desain sehat dengan kebutuhan fungsional bangunan untuk menciptakan lingkungan yang mendukung kesehatan fisik dan mental penghuni.
- b. Evaluasi Kinerja Lingkungan. Melakukan penilaian terhadap kualitas udara, pencahayaan, kenyamanan termal, dan akustik untuk memastikan standar kesehatan terpenuhi.

- c. Keterlibatan Penghuni. Melibatkan penghuni dalam proses desain dan evaluasi untuk memahami kebutuhan dan preferensi mereka terkait lingkungan sehat
- 3. Studi Kasus Perencanaan Bangunan Sehat
 - a. Khoo Teck Puat Hospital, Singapura mengintegrasikan elemen biophilic dengan taman dan air mancur, serta menggunakan ventilasi alami untuk meningkatkan kualitas udara dan kenyamanan penghuni.
 - b. *The Terry Thomas Building, Seattle* dirancang tanpa pendingin udara dengan memanfaatkan jendela operable, pencahayaan alami, dan ruang terbuka untuk menciptakan lingkungan kerja sehat dan kreatif.
 - c. Kantor Pemerintah Surabaya I, Indonesia mengimplementasikan prinsip green building dengan sistem ventilasi alami dan penggunaan material ramah lingkungan untuk meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan kerja.

10.6.2 Implementasi Sistem Manajemen Lingkungan

1. Sistem Manajemen Lingkungan ISO 14001

ISO 14001:2015 adalah standar internasional untuk Sistem Manajemen Lingkungan (SML) yang membantu organisasi mengelola dampak lingkungan secara berkelanjutan. Menggunakan siklus *Plan-Do-Check-Act* (PDCA), standar ini mencakup kebijakan lingkungan, audit internal, dan evaluasi manajemen. Implementasi ISO 14001 meningkatkan efisiensi sumber daya, mengurangi limbah, dan memastikan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan.

2. Audit Lingkungan dalam Bangunan

Audit lingkungan adalah evaluasi kinerja lingkungan bangunan, mencakup kepatuhan terhadap peraturan, pengelolaan limbah, konsumsi energi, dan kualitas udara. Audit dapat dilakukan secara internal atau eksternal untuk mengidentifikasi area perbaikan, memastikan kepatuhan, dan mendukung perbaikan berkelanjutan dalam pengelolaan lingkungan bangunan.

3. Pengukuran dan Pemantauan Kinerja Lingkungan

Pengukuran kinerja lingkungan meliputi pemantauan indikator seperti konsumsi energi, emisi gas rumah kaca, kualitas udara, dan penggunaan air. Indikator Kinerja Utama (KPI) seperti penggunaan energi, kualitas air, dan volume limbah digunakan untuk menilai kinerja lingkungan bangunan. Sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pengumpulan data *real-time* untuk membantu manajer bangunan meningkatkan efisiensi dan kenyamanan penghuni.

10.6.3 Pemeliharaan dan Operasional Bangunan Sehat

1. Prosedur Pemeliharaan Rutin

Pemeliharaan rutin adalah kegiatan preventif untuk menjaga kondisi bangunan agar tetap optimal dan mencegah kerusakan yang lebih parah. Prosedur ini mencakup :

- a. Inspeksi Berkala dengan melakukan pemeriksaan rutin terhadap struktur, sistem mekanikal, elektrikal, dan plumbing (MEP), serta elemen bangunan lainnya.
- b. Pembersihan dan Perawatan dengan membersihkan sistem ventilasi, AC, dan elemen lainnya secara berkala untuk memastikan kualitas udara dalam ruangan tetap baik.
- c. Perbaikan Minor dengan melakukan perbaikan kecil segera setelah ditemukan kerusakan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut.
- d. Dokumentasi dengan mencatat semua kegiatan pemeliharaan dan perbaikan untuk evaluasi dan perencanaan di masa mendatang.

Menurut Faulinda dan Sunaningsih (2020), prosedur pemeliharaan gedung di Kantor Tenaga Kerja, Transmigrasi, dan Sosial Kota Magelang telah dilakukan sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang ditetapkan oleh Peraturan Daerah Kota Magelang No. 5 Tahun 2012 tentang Bangunan Gedung.

2. Pengelolaan Energi dan Sumber Daya

Pengelolaan energi dan sumber daya dalam bangunan sehat bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi dampak lingkungan. Langkah-langkah yang dapat diambil antara lain

- a. Audit Energi. Melakukan audit energi untuk mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan dalam efisiensi energi.
- b. Implementasi Teknologi Efisien. Menggunakan teknologi efisien energi seperti pencahayaan LED, sistem HVAC yang hemat energi, dan peralatan listrik berlabel energi efisien.
- c. Pemanfaatan Energi Terbarukan. Mengintegrasikan sumber energi terbarukan seperti panel surya atau sistem pemanas air tenaga surya.
- d. Pengelolaan Air. Menggunakan sistem pengolahan air hujan dan peralatan hemat air untuk mengurangi konsumsi air.
- e. Sistem Pemantauan. Mengimplementasikan sistem pemantauan berbasis sensor untuk mengawasi konsumsi energi dan air secara *real-time*.

3. Evaluasi Kinerja Lingkungan

Evaluasi kinerja lingkungan bertujuan untuk menilai dampak operasional bangunan terhadap lingkungan dan kesehatan penghuni. Aspek yang dievaluasi meliputi

- a. Kualitas Udara dalam Ruangan. Mengukur konsentrasi polutan udara seperti CO₂, PM_{2.5}, dan VOC.
- b. Konsumsi Energi dan Air. Memantau penggunaan energi dan air untuk mengidentifikasi potensi penghematan.
- c. Pengelolaan Limbah. Menilai sistem pengelolaan limbah padat dan cair, serta tingkat daur ulang.
- d. Kepuasan Penghuni. Melakukan survei untuk menilai kenyamanan dan kesehatan penghuni terkait dengan lingkungan bangunan.
- e. Audit Lingkungan. Melakukan audit lingkungan secara berkala untuk memastikan kepatuhan terhadap standar dan peraturan yang berlaku.

10.6.4 Tantangan dan Inovasi dalam Manajemen Kesehatan Bangunan

1. Isu-Isu Terkini dalam Manajemen Lingkungan

Tantangan utama dalam manajemen lingkungan bangunan meliputi perubahan iklim, kualitas udara yang memburuk, dan pengelolaan limbah bangunan. Perubahan iklim menuntut desain bangunan yang lebih adaptif, sementara polusi udara membutuhkan sistem ventilasi yang lebih baik. Pengelolaan sampah dan limbah bangunan yang mengandung bahan berbahaya juga semakin menjadi perhatian.

2. Teknologi dan Inovasi dalam Desain Bangunan Sehat

Inovasi teknologi mendukung desain bangunan yang lebih sehat dengan sistem ventilasi dan pemurnian udara canggih, penggunaan material ramah lingkungan, serta penerapan teknologi hijau seperti panel surya dan pengolahan air limbah internal. Ini meningkatkan kualitas udara dalam ruangan dan efisiensi energy.

3. Peran Arsitek dalam Mewujudkan Bangunan Sehat

Arsitek berperan dalam merancang bangunan yang memperhatikan kualitas udara, pencahayaan alami, kebisingan, kenyamanan termal, dan pemilihan material yang aman. Mereka juga harus mengintegrasikan teknologi canggih untuk mendukung kesehatan penghuni dan keberlanjutan lingkungan.

10.7 Studi Kasus dan Aplikasi

10.7.1 Studi Kasus Bangunan Sehat di Indonesia

1. Analisis Bangunan dengan Sertifikasi Hijau

Beberapa bangunan di Indonesia telah berhasil meraih sertifikasi hijau, seperti LEED dan Greenship, yang menunjukkan komitmen terhadap keberlanjutan dan efisiensi sumber daya. begitupun pada bangunan *Sequis Center Tower* (Jakarta) mendapatkan sertifikasi LEED Platinum, gedung ini menerapkan desain hemat energi, penggunaan material ramah lingkungan, dan sistem pengolahan air hujan untuk mengurangi konsumsi energi dan air. Menara BCA (Jakarta)

adalah Salah satu gedung tertinggi di Indonesia yang telah mengimplementasikan berbagai teknologi hijau, termasuk sistem pendingin udara efisien dan penggunaan energi terbarukan

2. Pembelajaran dari Proyek-Proyek Berkelanjutan

Proyek-proyek berkelanjutan di Indonesia memberikan wawasan penting dalam penerapan bangunan hijau. Salah satunya Kantor Pelayanan Perbendaharaan Negara Surabaya I melalui program "031 Go Green", kantor ini berhasil mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan kenyamanan kerja dengan menerapkan prinsip-prinsip green building. Gedung Kementerian Pekerjaan Umum (Jakarta) Sebagai bangunan pemerintah pertama yang mendapatkan sertifikasi Greenship Platinum, gedung ini menjadi contoh penerapan efisiensi energi dan penggunaan material ramah lingkungan dalam skala besar

3. Tantangan Implementasi di Konteks Lokal

Meskipun ada kemajuan, implementasi bangunan hijau di Indonesia masih menghadapi beberapa tantangan yaitu

- a. Biaya Awal yang Tinggi. Investasi awal untuk teknologi hijau dan sertifikasi seringkali menjadi hambatan bagi pengembang, meskipun dalam jangka panjang dapat menghemat biaya operasional.
- b. Keterbatasan Pengetahuan dan Sumber Daya. Kurangnya pemahaman tentang manfaat bangunan hijau di kalangan pengembang dan masyarakat dapat menghambat adopsi luas.
- c. Regulasi yang Belum Optimal. Meskipun beberapa daerah telah memiliki peraturan terkait bangunan hijau, implementasinya masih perlu ditingkatkan untuk mencakup seluruh wilayah dan sektor.

10.7.2 Aplikasi Praktis dalam Proyek Bangunan

1. Langkah-Langkah Implementasi Manajemen Lingkungan

Implementasi manajemen lingkungan dalam proyek bangunan meliputi :

- a. Penilaian Dampak Lingkungan. Menilai dampak proyek terhadap lingkungan, termasuk polusi udara dan penggunaan energi.
 - b. Desain Berkelanjutan. Memilih material ramah lingkungan dan teknologi hijau untuk efisiensi energi dan air.
 - c. Pengelolaan Selama Konstruksi. Memantau dampak selama konstruksi, termasuk pengelolaan limbah dan emisi debu.
2. Peran Tim Multidisiplin dalam Proyek
- Tim multidisiplin (arsitek, insinyur, ahli lingkungan, pengelola fasilitas) bekerja bersama untuk menciptakan bangunan sehat. Berikut tugas masing-masing.
- a. Arsitek bertugas merancang ruang yang mendukung kesehatan fisik dan mental.
 - b. Insinyur bertugas menyusun sistem efisien, termasuk ventilasi dan pengelolaan energi.
 - c. Ahli Lingkungan bertugas menilai dampak lingkungan dan merekomendasikan material ramah lingkungan.
 - d. Pengelola Fasilitas bertugas memastikan keberlanjutan operasional bangunan.
3. Evaluasi dan Umpan Balik dalam Proyek Bangunan Sehat
- Evaluasi kinerja lingkungan dan kepuasan penghuni penting untuk memastikan bangunan memenuhi standar yaitu
- a. Evaluasi Kinerja Lingkungan. Memantau penggunaan energi, air, dan kualitas udara.
 - b. Kepuasan Penghuni. Survei untuk menilai kenyamanan dan kesehatan penghuni.
 - c. Rekomendasi Perbaikan. Berdasarkan evaluasi, lakukan perbaikan berkelanjutan pada desain dan operasional bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Gifford, R. (2013). *Environmental Psychology: Principles and Practice* (4th ed.). Optimal Books.
- Liu, Z., Yang, Z., & Osmani, M. (2021). The Relationship between Sustainable Built Environment, Art Therapy and Therapeutic Design in Promoting Health and Well-Being. *International Journal of Environmental Research and Public Health*
- Brundtland, G. H. (1987). *Our Common Future*. World Commission on Environment and Development. Oxford University Press.
- Pearce, D. W. (2006). *Environmental Economics: A Contemporary Approach*. Pearson Education.
- Banham, R. (1984). *Architecture of the Well-Tempered Environment*. University of Chicago Press.
- Beatley, T. (2010). *Biophilic Cities: Integrating Nature into Urban Design and Planning*. Island Press.
- Sari, L. H., Muslimsyah, Z., & Munir, A. (2021). *Arsitektur Lingkungan*. Bandar Publishing
- Kolb, M. T. (2013). *Environmental Management for Sustainable Development*. Routledge.
- Sroufe, R., Stevenson, C., & Eckenrode, B. (2019). *The Power of Existing Buildings: Save Money, Improve Health, and Reduce Environmental Impacts*. Island Press
- Brundtland, G. H., & World Health Organization. (1997). *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development*. Oxford University Press.
- Rea, M. S. (2014). Lighting and Human Health. *Journal of Environmental Psychology*, 39, 38-44.
- Alvarado, A. J., & Dick, M. A. (2020). The Importance of Daylighting in Buildings for Human Well-being. *Energy and Buildings*, 228, 110539.
- Basner, M., et al. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383(9925), 1325-1332.

- Hodgson, A. T., et al. (2000). Volatile Organic Compounds in Indoor Air and Human Health. *Environmental Health Perspectives*, 108(7), 345-351.
- Kuhl, K. P., et al. (2011). Indoor Air Quality and Health: Evaluating the Health Impact of Environmental and Behavioral Factors in Buildings. *Journal of Environmental Health*, 74(5), 22-30.
- Caire, M. (2003). Water Quality and Public Health: A Study of Water Systems in Urban Areas. *Journal of Environmental Engineering*, 129(8), 1127-1134.
- Gifford, R. (2013). *Environmental Psychology: Principles and Practice* (4th ed.). Optimal Books.
- Ulrich, R. S. (1984). View through a Window May Influence Recovery from Surgery. *Science*, 224(4647), 420-421.
- Dincer, I., & Rosen, M. A. (2011). *Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development*. Elsevier.
- Allen, J. G., & Macomber, J. (2020). *Healthy Buildings: How Indoor Spaces Can Make You Sick – or Keep You Well*. Harvard University Press.
- Burberry, P. (2014). *Environment and Services*. Taylor & Francis Group.
- Deveaux, T., & Bassett, B. (2023). *Bassett's Environmental Health Procedures* (10th ed.). Routledge.
- Griffith, A. (1994). *Environmental Management in Construction*. Red Globe Press.
- Hopkins, E. A. (2016). *Sustainable Property Management*. Open Textbook Library.
- Nag, P. K. (2019). *Office Buildings: Health, Safety and Environment*. Springer.
- World Health Organization. (2011). *Essential Environmental Health Standards in Health Care*. WHO Press.
- Aries, M. B., Veitch, J. A., & Newsham, G. R. (2015). *The impact of daylight on human performance in office environments: A review*. *Building and Environment*, 93, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.009>
- Basner, M., Müller, U., & Elmenhorst, E.-M. (2014). *Auditory and non-auditory effects of noise on health*. *The Lancet*,

- 383(9925), 1325-1332. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61613-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X)
- Sundell, J. (2016). *The influence of indoor air quality on human health*. Journal of Environmental Psychology, 49, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2016.04.003>
- Zhang, Y., Arens, E., & Huizenga, C. (2016). *Thermal environmental quality in office buildings and its impact on occupant comfort and productivity*. Journal of Building Performance, 7(1), 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.jbpm.2016.07.002>
- Aries, M. B., Veitch, J. A., & Newsham, G. R. (2015). *The impact of daylight on human performance in office environments: A review*. Building and Environment, 93, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.009>
- Basner, M., Müller, U., & Elmenhorst, E.-M. (2014). *Auditory and non-auditory effects of noise on health*. The Lancet, 383(9925), 1325-1332. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61613-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X)
- Caire, M. (2003). *Water quality and public health: A study of water systems in urban areas*. Journal of Environmental Engineering, 129(8), 1127-1134. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2003\)129:8\(1127\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2003)129:8(1127))
- Hodgson, A. T., et al. (2000). *Volatile Organic Compounds in Indoor Air and Human Health*. Environmental Health Perspectives, 108(7), 345-351. <https://doi.org/10.1289/ehp.00108345>
- Sundell, J. (2016). *The influence of indoor air quality on human health*. Journal of Environmental Psychology, 49, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2016.04.003>
- Ulrich, R. S. (1984). *View through a Window May Influence Recovery from Surgery*. Science, 224(4647), 420-421. <https://doi.org/10.1126/science.6143402>
- Zhang, Y., Arens, E., & Huizenga, C. (2016). *Thermal environmental quality in office buildings and its impact on occupant comfort and productivity*. Journal of Building Performance, 7(1), 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.jbpm.2016.07.002>

- Arif, M. (2016). *Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review*. Building and Environment, 105, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.022>Science Direct
- Mokhtariyan Sorkhan, F., Roumi, S., Soltanzadeh Zarandi, M., & Ashraf Ganjouei, M. A. (2024). *The Impact of Indoor Environmental Quality on Occupant Satisfaction in Commercial Buildings: A Comparison of Building Expert Opinions and Residents' Experiences*. Energies, 17(6), 1473. <https://doi.org/10.3390/en17061473>MDPI
- Lozinsky, C. H., & Makaremi, N. (2025). *The health and indoor environmental quality impacts of building envelope retrofits*. Building and Environment, 108, 108574. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.108574>Science Direct+1
- Zhang, F. (2022). *Editorial: Effects of indoor environmental quality on human health*. Frontiers in Built Environment, 8, 1095443. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.1095443>Frontiers
- Andalib, E., Temeljotov-Salaj, A., Steinert, M., Johansen, A., Aalto, P., & Lohne, J. (2024). *The Interplay Between the Built Environment, Health, and Well-Being—A Scoping Review*. Urban Science, 8(4), 184. <https://doi.org/10.3390/urbansci8040184>MDPI
- World Health Organization. (2009). *WHO guidelines for indoor air quality: Dampness and mould*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241547136>Wikipedia+3Wikipedia+3Wikipedia+3
- World Health Organization. (2013). *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project: Technical Report*. https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf
- U.S. Environmental Protection Agency. (2015). *Indoor Air Pollution: An Introduction for Health Professionals*.

<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/indoor-air-pollution-introduction-health-professionals>Wikipedia
International Code Council. (2018). *International Green Construction Code (IgCC)/1018 Edition*.
<https://codes.iccsafe.org/codes/international>
American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2016). *ASHRAE Standard 62.1-2016: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*.
<https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-62-1-62-2>

BAB 11

TRANSPORTASI BERKELANJUTAN DAN MOBILITAS URBAN

Oleh Anton Kaharu

11.1 Konsep Dasar Transportasi Berkelanjutan

11.1.1 Definisi dan Prinsip Transportasi Berkelanjutan

Transportasi berkelanjutan adalah suatu konsep dan sistem transportasi yang mampu memenuhi kebutuhan mobilitas saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan serupa. Konsep ini bertujuan mengoptimalkan penggunaan sumber daya agar dampak negatif terhadap lingkungan dan masyarakat dapat diminimalkan, sekaligus mendukung pertumbuhan ekonomi yang inklusif dan berkeadilan sosial. Prinsip dasar transportasi berkelanjutan mencakup tiga pilar utama yaitu aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Aspek ekonomi menitikberatkan pada efisiensi biaya dan produktivitas dalam sistem transportasi, sehingga mobilitas terjamin tanpa beban ekonomi yang tinggi. Pilar sosial mengutamakan keterjangkauan, aksesibilitas, keamanan, dan kenyamanan bagi seluruh kelompok masyarakat, termasuk kelompok rentan. Sedangkan pilar lingkungan berfokus pada pengurangan emisi gas rumah kaca, polutan udara, serta pengurangan konsumsi energi fosil yang berdampak pada perlindungan ekosistem dan kesehatan masyarakat. Pentingnya menjalin keseimbangan tiga pilar ini adalah inti supaya sistem transportasi dapat berfungsi optimal dan memberikan manfaat jangka panjang secara holistik (Ayuningtias dan Karmila, 2019).

Lebih lanjut, beberapa kajian telah mengidentifikasi bahwa transportasi yang tidak dikelola dengan baik akan menyebabkan berbagai masalah seperti kemacetan, polusi udara, dan ketidakadilan sosial akibat aksesibilitas yang terbatas terhadap fasilitas transportasi. Oleh karenanya, pengembangan indikator

transportasi berkelanjutan perlu memperhatikan ketiga pilar tersebut secara simultan. Indikator-indikator ini membantu dalam menilai dan mengarahkan kebijakan berdasarkan kondisi ekonomi seperti efisiensi biaya, aspek sosial yang mencakup kesejahteraan pengguna moda transportasi, dan dampak lingkungan yang berhubungan dengan emisi serta konsumsi energi. Di Indonesia, pengembangan indikator yang terintegrasi ini telah diaplikasikan pada kawasan perkotaan dan antar-kota, sebagai contoh provinsi Jawa Barat dan beberapa provinsi lainnya, untuk mendapatkan gambaran komprehensif terkait kinerja transportasi berkelanjutan di berbagai wilayah (Frazila at al.,2021). Selain itu, pembangunan infrastruktur yang mendukung, seperti pengembangan moda transportasi umum yang hemat energi dan ramah lingkungan, menjadi komponen fundamental yang harus terus diperkuat untuk mewujudkan sistem transportasi berkelanjutan (Nainwal, 2021).

11.1.2 Peran Mobilitas Urban dalam Transportasi Berkelanjutan

Mobilitas urban memainkan peranan vital dalam sistem transportasi berkelanjutan karena menentukan tingkat aksesibilitas sekaligus efektivitas perpindahan dalam kawasan perkotaan. Urbanisasi yang pesat menimbulkan kebutuhan akan sistem transportasi yang mampu mendukung mobilitas yang intens, cepat, dan terjangkau dengan dampak lingkungan minimum. Pertumbuhan kota yang tidak terkontrol menyebabkan peningkatan penggunaan kendaraan pribadi yang pada gilirannya meningkatkan kemacetan, polusi udara, dan konsumsi energi, sehingga berpotensi membahayakan keberlanjutan ekosistem dan kualitas hidup masyarakat kota. Oleh karena itu, pengelolaan pola mobilitas urban yang mendukung penggunaan moda transportasi berkelanjutan menjadi sangat penting untuk memastikan arah pembangunan kota yang inklusif dan ramah lingkungan (Suadnyani at. al.,2023).

Studi tentang mobilitas urban juga mengungkapkan bahwa kebutuhan setiap negara di Asia Tenggara berbeda-beda, tergantung pada karakteristik kota dan kebijakan transportasi

masing-masing. Misalnya, Indonesia lebih menitikberatkan pada kerangka konseptual dan perilaku perjalanan masyarakat perkotaan dalam rangka memitigasi perubahan iklim melalui manajemen transportasi perkotaan yang inovatif. Perubahan perilaku dan pilihan moda transportasi menjadi kunci dalam mengurangi ketergantungan kendaraan pribadi dan mendorong penguatan transportasi umum serta mobilitas berjalan kaki dan bersepeda. Analisis tersebut menunjukkan bahwa penerapan inovasi serta kebijakan yang adaptif terhadap kondisi lokal menjadi solusi efektif dalam mengelola mobilitas urban yang berkelanjutan (Delina & Shi, 2025).

Dalam konteks provinsi Jawa Barat, misalnya, ketergantungan tinggi pada kendaraan pribadi, serta rendahnya pemakaian transportasi umum menjadi permasalahan fundamental dalam mencapai mobilitas berkelanjutan. Penelitian juga menyoroti adanya hambatan berupa keterbatasan infrastruktur dan persepsi publik yang masih kurang mendukung pemanfaatan moda transportasi umum dan mobilitas otonom. Oleh sebab itu, pengembangan sistem transportasi berkelanjutan perlu disertai dengan strategi yang mencakup investasi infrastruktur, edukasi masyarakat, serta regulasi yang memfasilitasi transisi ke moda transportasi yang lebih ramah lingkungan dan modern (Joewono et al., 2021).

11.1.3 Tantangan dan Hambatan Implementasi Transportasi Berkelanjutan

Meskipun konsep transportasi berkelanjutan telah dipahami secara luas, berbagai tantangan signifikan masih menghambat pelaksanaannya. Salah satu kendala utama adalah terbatasnya infrastruktur pendukung yang memadai, khususnya untuk moda transportasi publik yang ramah lingkungan serta fasilitas pengisian kendaraan listrik. Ketimpangan penyediaan fasilitas ini cenderung menyebabkan ketidakmerataan akses dan mendorong masyarakat tetap menggunakan kendaraan pribadi berbasis bahan bakar fosil. Selain itu, rendahnya komitmen pemerintah dalam mengalihkan preferensi masyarakat dari kendaraan pribadi ke transportasi publik menjadi salah satu

hambatan yang harus diatasi secara serius (Mavlutova et al.,2023).

Selain itu, peran sosial budaya masyarakat tidak dapat diabaikan sebagai faktor penghambat. Kebiasaan menggunakan kendaraan pribadi yang sudah mengakar, berbagai persepsi negatif terhadap kualitas dan kenyamanan transportasi umum, serta kurangnya inklusivitas dalam pelayanan transportasi publik menjadi penghalang utama perubahan perilaku. Permasalahan ini diperparah oleh kurangnya kesadaran akan dampak lingkungan dan pentingnya mobilitas berkelanjutan, terutama di kota-kota besar dengan tingkat urbanisasi tinggi. Oleh karena itu, dibutuhkan strategi edukasi dan kampanye yang kuat untuk membangun kesadaran dan mengubah pola pikir masyarakat agar mendukung transportasi berkelanjutan (Mouratidis,2021).

Lebih jauh, di beberapa wilayah seperti Indonesia, evaluasi menunjukkan ketimpangan dan ketidakkonsistenan dalam penyediaan moda transportasi yang sesuai serta energi baru terbarukan, misalnya Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) yang masih terbatas dan kurang tersebar merata. Hal ini semakin memperparah rendahnya pengalihan modal dari kendaraan pribadi ke moda yang lebih ramah lingkungan. Akibatnya, pemerintah daerah menghadapi tantangan dalam mendorong adopsi teknologi dan moda transportasi hijau secara merata di berbagai tingkatan pemerintahan, yang memerlukan koordinasi dan sinergi antara kebijakan nasional dan lokal.

11.2 Model dan Pendekatan dalam Perencanaan Mobilitas Berkelanjutan

11.2.1 *Transit Oriented Development (TOD)* sebagai Pendekatan Integratif

Transit Oriented Development (TOD) merupakan pendekatan urban yang mengintegrasikan sistem transportasi massal dengan pengembangan kawasan perkotaan yang berkepadatan tinggi dan berfungsi sebagai pusat kegiatan. Prinsip utama TOD adalah menciptakan lingkungan yang memungkinkan pengurangan ketergantungan pada kendaraan

pribadi dengan mendorong penggunaan transportasi umum, berjalan kaki, dan bersepeda. Prinsip TOD meliputi aspek densitas (jumlah populasi dan aktivitas yang tinggi), diversitas penggunaan lahan (perpaduan rumah tinggal, perkantoran, dan komersial), desain lingkungan yang ramah pejalan kaki, serta manajemen permintaan mobilitas. Dengan pendekatan ini, visi kota berkelanjutan dapat terwujud melalui peningkatan aksesibilitas, pengurangan jejak karbon, dan penguatan ekonomi lokal (Ayuningtias dan Karmila,2019).

Di Indonesia, penerapan TOD telah mulai diimplementasikan pada beberapa kota besar seperti Surabaya, Jakarta, dan Palembang. Misalnya, di Palembang terdapat pengembangan kawasan TOD yang berorientasi stasiun Light Rail Transit (LRT), yang dirancang untuk menghubungkan infrastruktur transportasi dengan pusat-pusat kegiatan perkotaan guna mengatasi permasalahan kemacetan dan polusi. Selain itu, penilaian karakteristik kawasan seperti diversitas aktivitas dan kepadatan menjadi langkah penting dalam merancang TOD yang efektif. Namun, penelitian juga menunjukkan bahwa implementasi TOD di Indonesia masih belum optimal, dimana prinsip bersepeda (*cycle*) menjadi aspek yang paling memerlukan perhatian lebih karena belum sepenuhnya terintegrasi dalam desain kawasan (Ibrahim et al.,2022).

Strategi pengembangan TOD di Palembang dan kota lainnya juga mengidentifikasi tipologi kawasan potensial berdasarkan karakteristik yang beragam, seperti Infill Development Site, Redevelopment Area, dan New Growth Area. Pendekatan ini mendukung perencanaan berkelanjutan dengan memaksimalkan fungsi ruang dan integrasi transportasi, tetapi menuntut penyesuaian kebijakan daerah dan keterlibatan berbagai pemangku kepentingan untuk menjamin keberlanjutan serta adaptasi pada kondisi lokal (Gumano,2020).

11.2.2 Sustainable Urban Mobility Plan (SUMP) di Konteks Internasional

Sustainable Urban Mobility Plan (SUMP) adalah dokumen strategis perencanaan transportasi kota yang bertujuan mencapai mobilitas yang berkelanjutan melalui serangkaian strategi dan kebijakan yang terintegrasi dengan pengelolaan transportasi dan pembangunan kota. SUMP mengedepankan pendekatan berbasis partisipasi publik, kolaborasi stakeholders, serta fokus jangka panjang dan terukur untuk mengatasi masalah transportasi perkotaan. Dokumen ini juga mengakomodasi penggunaan berbagai moda yang seimbang, termasuk publik, pribadi, non-motorized, serta teknologi cerdas untuk mendukung mobilitas yang efektif dan ramah lingkungan (Rizki et al.,2024).

Di Eropa, SUMP telah menjadi instrumen utama dalam mencapai target pengurangan emisi dan peningkatan kualitas hidup di kota-kota besar dan menengah, termasuk di negara-negara seperti Polandia dan Kroasia. Penerapan SUMP di Gdynia (Polandia) menekankan penggunaan teknologi informasi komunikasi yang canggih dan pengembangan berbagai opsi transportasi yang sesuai dengan kebutuhan lokal. Kota ini mengintegrasikan kebijakan untuk meningkatkan layanan transportasi umum, pengembangan jalur sepeda, serta re-organisasi jaringan jalan guna menahan pertumbuhan penggunaan kendaraan pribadi. Di Koprivnica (Kroasia), pendekatan partisipatif dan fokus pengelolaan karbon nol menjadi strategi utama dalam pengembangan mobility plan, dengan tujuan membangun pusat kompetensi regional dan menarik minat akademisi di bidang transportasi berkelanjutan (Decker,2012).

Sementara itu, metodologi pembentukan dan evaluasi strategi mobilitas di SUMP menggabungkan analisis teknis dengan konsultasi serta prioritas menggunakan alat-alat seperti analisis multikriteria. Hal ini memungkinkan pengambil kebijakan melakukan pengujian dan penentuan prioritas tindakan yang paling efisien dan efektif, baik dari segi ekonomi, dampak lingkungan, maupun kepuasan masyarakat pengguna transportasi (Myrovali & Morfoulaki,2021).

11.2.3 Integrasi Sistem Multimoda Berbasis Teknologi

Pengembangan sistem transportasi multimoda berbasis teknologi merupakan aspek inovatif yang menanggapi kebutuhan mobilitas perkotaan yang semakin kompleks dan menantang. Integrasi moda transportasi yang meliputi bus, kereta, sepeda, dan ride-sharing dengan dukungan teknologi informasi dan komunikasi seperti e-ticketing, sistem aplikasi mobile, serta platform manajemen rute terpadu menjadi solusi potensial untuk meningkatkan kenyamanan, efisiensi waktu tempuh, dan pengurangan emisi. Teknologi memungkinkan perencanaan perjalanan secara real-time, penyampaian informasi yang cepat, serta pengelolaan jaringan transportasi secara terpadu yang sebelumnya sulit dicapai dengan sistem konvensional (Gkiotsalitis & Cats, 2021).

Hasil penelitian pada kota-kota yang telah mengimplementasikan sistem ini menunjukkan peningkatan signifikan pada aspek kemudahan akses dan pengurangan waktu perjalanan bagi pengguna. Namun, tantangan utama dalam implementasi sistem multimoda teknologi adalah koordinasi yang kompleks antar penyedia jasa transportasi dan persiapan infrastruktur pendukung yang memadai. Hal ini memerlukan kolaborasi lintas sektor dan investasi yang berkelanjutan untuk memastikan sistem berjalan optimal serta dapat memenuhi kebutuhan masyarakat secara efektif (Owoade, 2024).

Selain itu, dalam konteks Indonesia, pengembangan teknologi transportasi pintar juga menghadapi tantangan seperti kesiapan infrastruktur digital dan kebijakan yang adaptif. Penelitian terkini melakukan analisis bibliometrik untuk melacak tren perkembangan Smart Mobility sebagai bagian dari upaya transformasi digital dalam transportasi perkotaan berkelanjutan. Hasilnya menunjukkan potensi besar teknologi dalam meningkatkan efektivitas dan keberlanjutan sistem transportasi, namun diperlukan langkah konkret untuk mengatasi gap antara jasa transportasi konvensional dan modern agar keduanya dapat beradaptasi dalam ekosistem yang saling melengkapi (Fadlilah et al., 2024).

11.3 Infrastruktur dan Moda Transportasi Berkelanjutan

11.3.1 Pengembangan Infrastruktur Ramah Lingkungan

Investasi dalam pembangunan infrastruktur transportasi yang ramah lingkungan menjadi faktor kunci dalam mendukung mobilitas berkelanjutan di perkotaan. Infrastruktur ini mencakup instalasi fasilitas berbasis energi terbarukan, seperti stasiun pengisian listrik kendaraan listrik (EV), taman parkir off-street, serta infrastruktur pejalan kaki yang mengutamakan keselamatan dan kenyamanan. Studi kasus di kawasan perdagangan Cokroaminoto memperlihatkan bahwa peralihan parkir kendaraan dari *on-street* ke *off-street* meningkatkan kapasitas ruas jalan hingga 63% dan mengurangi konflik antara pejalan kaki dan kendaraan bermotor dengan penggunaan fasilitas penyeberangan yang lebih baik. Hal ini tidak hanya meningkatkan aksesibilitas tapi juga mendukung konsep kota humanis yang ramah terhadap pejalan kaki dan lingkungan (Tanan & Suprayoga, 2015).

Dari sisi kualitas udara dan lingkungan, penelitian di Kalimantan menunjukkan bahwa pembangunan infrastruktur transportasi berkelanjutan memberikan dampak positif terhadap mobilitas dan pengurangan polusi udara. Data menunjukkan penurunan substansial konsentrasi polutan utama seperti materi partikulat, nitrogen dioksida, dan sulfur dioksida, serta peningkatan kualitas arus lalu lintas. Selain itu, analisis kualitatif mengungkapkan perlunya pendekatan yang komprehensif dan pelibatan masyarakat untuk memastikan keberhasilan penerapan infrastruktur yang mendukung keberlanjutan lingkungan (Hanafi et al., 2023).

Peningkatan aksesibilitas dan penggunaan transportasi publik berkaitan erat dengan pengembangan infrastruktur yang memadai, termasuk integrasi antara infrastruktur transportasi dengan kawasan pemukiman dan pusat aktivitas. Konsep infrastruktur berkelanjutan menekankan pengurangan ketergantungan energi fosil dan peningkatan efisiensi energi melalui desain dan teknologi modern, yang pada akhirnya

mendukung sistem transportasi yang lebih lestari dan ramah lingkungan (Nainwal,2021).

11.3.2 Moda Transportasi Non-Motorized dan Aktif

Moda transportasi non-motorized, seperti bersepeda dan berjalan kaki, memiliki kontribusi signifikan dalam mendukung mobilitas perkotaan yang berkelanjutan. Penggunaan sepeda sebagai alternatif transportasi aktif membawa manfaat ganda berupa pengurangan emisi karbon dan peningkatan kesehatan masyarakat. Studi di Jalan Slamet Riyadi, Kota Surakarta, menegaskan bahwa faktor ekonomi, sosial, dan lingkungan berperan penting dalam dukungan terhadap moda ini. Infrastruktur yang terawat dan aksesibilitas menjadi elemen krusial untuk meningkatkan kenyamanan pengguna sepeda dan pejalan kaki. Perhatian terhadap isu lingkungan juga mendorong masyarakat untuk beralih ke moda non-motorized yang lebih ramah ekologis (Astuti et al.,2024).

Namun demikian, hambatan dalam pengembangan moda aktif masih cukup besar, terutama terkait mekanisme sosial yang dapat mengakibatkan fenomena lock-in, yaitu kecenderungan masyarakat untuk tetap menggunakan moda transportasi lama dan sulit beralih ke sepeda. Penelitian menggunakan pendekatan Service Dominant Logic menemukan lima kondisi yang mendorong adopsi sepeda dan dua kondisi yang menghambatnya, termasuk persepsi keselamatan, infrastruktur yang tidak memadai, dan budaya penggunaan kendaraan bermotor. Mengatasi hambatan ini membutuhkan kebijakan terintegrasi serta promosi dan kampanye yang efektif agar penggunaan sepeda dapat meningkat secara signifikan di perkotaan (Dewi & Krisdiyanto,2023).

Selain itu, kota-kota yang berhasil meningkatkan penggunaan sepeda juga memperlihatkan integrasi antara desain kota yang ramah pejalan kaki dan penggunaan moda aktif. Studi kasus di Zurich, Swiss, menunjukkan implementasi langkah operasional dan desain yang terintegrasi dalam sistem transportasi telah mendukung mobilitas bersepeda dan mendorong perubahan perilaku masyarakat. Langkah seperti

pengurangan insentif untuk penggunaan kendaraan pribadi sekaligus peningkatan kualitas fasilitas sepeda dan pejalan kaki menjadi kunci sukses transformasi tersebut.

11.3.3 Sistem Transportasi Publik Berkelanjutan: BRT dan LRT

Bus Rapid Transit (BRT) dan *Light Rail Transit* (LRT) adalah moda transportasi publik massal yang memiliki peran strategis dalam mendukung mobilitas berkelanjutan di perkotaan. BRT, dengan kemampuannya menyediakan layanan yang cepat, nyaman, dan biaya operasional relatif rendah, menjadi alternatif yang efektif untuk mengurangi ketergantungan pada kendaraan pribadi. Namun, studi di Kota Tangerang menunjukkan bahwa meskipun BRT berpotensi mendukung mobilitas, hubungan antara mobilitas yang disediakan oleh BRT dan tingkat kepuasan pengguna masih belum signifikan. Hal ini mencerminkan perlunya peningkatan kualitas layanan, manajemen waktu, serta infrastruktur pendukung untuk mencapai dampak optimal bagi kepuasan masyarakat.

Dalam konteks LRT, implementasi di kota Palembang menjadi contoh pengembangan transportasi massal berbasis rel yang dapat mengurangi kemacetan dan mendukung konsep TOD. Kawasan sekitar stasiun LRT dijadikan sentra pengembangan dengan memperhatikan indikator kepadatan dan akses menuju moda transportasi. Hasilnya, LRT diharapkan dapat meningkatkan kecepatan dan keamanan mobilitas warga serta mengurangi penggunaan kendaraan mesin pribadi (Gumano,2020).

Selain itu, studi di Banda Aceh pada layanan BRT Trans Koetaradja menunjukkan bahwa kepuasan pengguna berbanding lurus dengan kualitas layanan baik aspek teknis maupun pengelolaan. Peningkatan kondisi kendaraan, fasilitas, serta pengelolaan waktu dan rute sangat berpengaruh terhadap persepsi layanan. Studi ini menggarisbawahi pentingnya kebijakan yang adaptif dan responsif terhadap kebutuhan masyarakat untuk mendorong penggunaan transportasi umum sebagai moda utama yang berkelanjutan.

11.4 Teknologi Cerdas dan Smart Mobility dalam Sistem Urban

11.4.1 *Smart Mobility* dan Transportasi Berbasis Teknologi Digital

Smart Mobility merupakan konvergensi antara teknologi digital dan sistem transportasi yang bertujuan meningkatkan efektivitas, efisiensi, dan keberlanjutan mobilitas urban dalam konsep *Smart City*. Dengan pemanfaatan teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*, AI), dan big data *analytics*, *Smart Mobility* memungkinkan pengelolaan lalu lintas secara real-time, optimalisasi jalur, serta penyediaan informasi pengguna transportasi yang interaktif dan akurat. Pendekatan ini memberikan dampak signifikan dalam mengurangi kemacetan, meningkatkan kenyamanan, dan mengurangi emisi gas rumah kaca (Fadlilah et al.,2024).

Namun, integrasi teknologi digital tidak tanpa tantangan. Salah satunya adalah adaptasi penyedia jasa transportasi konvensional yang perlu bersaing dan bertransformasi di tengah penetrasi layanan berbasis digital seperti *ride-sharing* dan ojek online. Penelitian bibliometrik menunjukkan bahwa meskipun *Smart Mobility* memiliki potensi besar untuk mendorong pembangunan berkelanjutan di Indonesia, terdapat celah dalam kesiapan penyedia jasa konvensional untuk bertransformasi, yang berimplikasi pada kesenjangan layanan dan penerimaan masyarakat (Fadlilah et al.,2024).

Selain itu, studi di Karachi menegaskan peran penting pemanfaatan *Location Intelligence* dan teknologi pintar dalam meningkatkan penerimaan publik terhadap sistem transit massal yang berkelanjutan. Kombinasi metode kuantitatif dan kualitatif yang digunakan menilai berbagai variabel kritis, termasuk waktu perjalanan, biaya, dan isu lingkungan serta psikologis, sebagai faktor penentu keberhasilan implementasi transportasi pintar.

11.4.2 Integrasi Energi Terbarukan dan Penyimpanan Energi dalam Mobilitas

Peralihan menuju transportasi berkelanjutan tidak hanya mensyaratkan pengembangan moda dan infrastruktur yang

ramah lingkungan, melainkan juga integrasi sumber energi terbarukan secara menyeluruh. Penggunaan energi hijau, terutama yang berasal dari sumber seperti tenaga angin dan surya, perlu dilengkapi dengan teknologi penyimpanan energi yang canggih, salah satunya melalui integrasi hydrogen energy storage. Penyimpanan energi berbasis hidrogen menawarkan solusi untuk menangani masalah intermitensi energi terbarukan serta meningkatkan stabilitas pasokan daya bagi moda transportasi seperti kendaraan bahan bakar sel (*fuel cell*) dan stasiun pengisian kendaraan listrik.

Kendati demikian, tantangan teknis dan ekonomi terkait penyimpanan energi dan penyediaan infrastruktur pengisian masih menjadi kendala besar dalam penerapan skala besar. Penelitian yang menggabungkan studi tentang transisi energi di transportasi perkotaan menunjukkan pentingnya strategi jangka panjang dan kebijakan pendukung untuk menjamin kelangsungan pengembangan sistem transportasi digital dan energi terbarukan yang terintegrasi secara efisien (Al-lami,2025).

11.4.3 Inovasi Berbasis Layanan dan Mobilitas Berbagi (*Shared Mobility*)

Inovasi layanan berbasis shared mobility, seperti car-sharing dan *ride-sharing*, berpotensi besar dalam mengoptimalkan penggunaan kendaraan, mengurangi jumlah kendaraan pribadi yang beroperasi, dan menurunkan emisi karbon di kawasan perkotaan. Studi di Amman, Yordania, mengungkapkan bahwa pengguna transportasi publik cenderung terbuka terhadap layanan shared mobility, terutama apabila layanan tersebut menawarkan biaya rendah dan keandalan yang tinggi. Model statistik canggih seperti Probit dan Decision Tree digunakan untuk memprediksi adopsi serta mengidentifikasi faktor yang paling berpengaruh seperti kemudahan akses dan kenyamanan layanan.

Selain itu, penggunaan shared mobility memberikan dampak signifikan terhadap pengurangan emisi CO₂, yang menunjang komitmen terhadap tujuan pembangunan

berkelanjutan. Studi tersebut juga memberikan rekomendasi strategis untuk mendorong pengembangan layanan shared mobility di wilayah Urban berkembang dengan memperhatikan kesiapan teknologi dan preferensi masyarakat setempat.

Lebih jauh, inovasi dalam layanan shared mobility tidak hanya berdampak pada aspek teknis tetapi juga sosial. Integrasi layanan ini harus memperhatikan kebutuhan inklusivitas dan menjaga keterjangkauan agar semua lapisan masyarakat dapat memanfaatkannya secara maksimal. Pendekatan berbasis layanan ini menjadi pelengkap penting dalam membangun ekosistem mobilitas berkelanjutan yang adaptif dan responsif terhadap perubahan kebutuhan urban (Dewi & Krisdiyanto, 2023).

11.5 Dampak Transportasi Berkelanjutan terhadap Lingkungan dan Kesehatan

11.5.1 Polusi Udara dan Emisi Gas Rumah Kaca

Kendaraan bermotor merupakan salah satu kontributor utama polusi udara perkotaan, khususnya emisi partikel debu (PM), nitrogen dioksida (NO₂), dan sulfur dioksida (SO₂). Dampak negatif dari polusi ini terhadap kesehatan masyarakat telah didokumentasikan secara luas, terutama gangguan pada fungsi paru-paru dan peningkatan risiko penyakit pernapasan. Studi menunjukkan bahwa peningkatan jumlah kendaraan bermotor secara signifikan memperparah pencemaran udara yang berdampak pada kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, pengembangan sistem transportasi yang lebih ramah lingkungan sangat krusial untuk mengurangi beban polutan di kawasan urban.

Penerapan infrastruktur transportasi berkelanjutan di Kalimantan memberikan contoh positif pengurangan konsentrasi polutan udara. Selain penurunan polutan, perbaikan arus lalu lintas juga berdampak pada efisiensi penggunaan bahan bakar dan pengurangan emisi gas rumah kaca, mendukung tujuan pengurangan jejak karbon dan peningkatan kualitas udara. Hal ini menunjukkan bahwa investasi infrastruktur tidak hanya meningkatkan mobilitas, melainkan juga berkontribusi terhadap

perbaikan kualitas lingkungan secara keseluruhan (Hanafi at al.,2023).

Lebih jauh, analisis biaya dan manfaat dari berbagai skenario mobilitas berkelanjutan, seperti yang dilakukan di Milan, menunjukkan bahwa banyak kebijakan transportasi yang menekan penggunaan kendaraan pribadi secara efektif dapat berkontribusi pada pengurangan konsumsi energi dan emisi. Pendekatan kombinasi kebijakan penguatan transportasi umum dan pembatasan kendaraan pribadi mendapatkan peringkat tinggi dalam analisis tersebut karena dampak lingkungannya yang signifikan dan efektivitas penggunaan energi.

11.5.2 Kontribusi Mobilitas Berkelanjutan terhadap Mitigasi Perubahan Iklim

Mobilitas berkelanjutan memainkan peranan penting dalam mitigasi perubahan iklim melalui pengurangan emisi gas rumah kaca yang berasal dari sektor transportasi. Pengalihan penggunaan bahan bakar fosil ke energi terbarukan, seperti listrik dan hidrogen, serta penguatan moda transportasi publik dan non-motorized, merupakan strategi utama untuk mencapai target emisi rendah. Namun, implementasi di tingkat nasional, seperti di Indonesia, menghadapi tantangan multidimensi yang melibatkan infrastruktur, kebijakan, dan perilaku masyarakat (Hanif,2024).

Contohnya, studi skenario di Budapest memperlihatkan bahwa elektrifikasi armada kendaraan dan kenaikan efisiensi kendaraan dapat menurunkan emisi karbon hingga hampir separuh pada tahun 2050. Meski demikian, transisi ini juga menghadapi hambatan biaya dan kebutuhan kebijakan insentif yang kuat agar pengembangan infrastruktur pengisian kendaraan listrik dapat berkelanjutan. Hal ini sejalan dengan kebutuhan untuk menyesuaikan kebijakan nasional guna mendukung pertumbuhan transportasi yang ramah iklim (Al-lami,2025).

Di tingkat regional, negara-negara Asia Tenggara juga memiliki fokus yang berbeda. Indonesia menekankan inovasi dan manajemen perjalanan sebagai respon terhadap perubahan

iklim, Malaysia dan Filipina lebih menekankan pada integrasi sistem dan pengendalian polusi. Pendekatan yang beragam ini mencerminkan kebutuhan adaptasi kebijakan berbasis karakteristik spesifik daerah dan kapasitas pengelolaan mobilitas yang berkelanjutan (Suadnyani et al.,2023).

14.5.3 Dampak Sosial dan Kesejahteraan Masyarakat

Mobilitas berkelanjutan tidak hanya memberikan manfaat lingkungan tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan kualitas hidup dan kesejahteraan sosial. Ketersediaan transportasi yang inklusif dan terjangkau sangat penting agar seluruh lapisan masyarakat, termasuk kelompok rentan seperti penyandang disabilitas dan masyarakat berpendapatan rendah, dapat memperoleh akses yang adil dan setara. Studi di Italia mengungkapkan bahwa persepsi dan kepuasan terhadap layanan transportasi publik sangat memengaruhi preferensi dan penggunaan moda berkelanjutan. Namun, masih terdapat ketidakpuasan terhadap aspek seperti waktu tempuh, kenyamanan, dan keteraturan yang dapat menghambat adopsi moda ini (Annisa et al.,2024).

Selain itu, penggunaan transportasi publik lebih dominan di daerah dengan kepadatan penduduk yang tinggi, sementara di wilayah dengan kepadatan lebih rendah, penggunaan kendaraan pribadi cenderung dominan. Fenomena ini menunjukkan perlunya strategi yang dapat menyeimbangkan kebutuhan mobilitas di berbagai jenis kawasan, serta mendorong peningkatan layanan dan kualitas moda yang sesuai dengan kebutuhan lokal (Bina & Biassoni,2023).

Selain aspek infrastruktur dan kebijakan, perubahan perilaku dan sikap masyarakat menjadi tantangan sosial yang krusial dalam mengadopsi mobilitas berkelanjutan. Penelitian di Indonesia menunjukkan bahwa pendekatan yang melibatkan kampanye kesadaran dan edukasi dapat memperkuat keinginan penggunaan moda berkelanjutan, khususnya transportasi umum dan kendaraan ramah lingkungan. Keterlibatan masyarakat dan pelaku usaha transportasi tradisional juga penting untuk mendukung transformasi yang inklusif dan berkelanjutan.

11.6 Peran Kebijakan dan Regulasi dalam Mendukung Mobilitas Berkelanjutan

11.6.1 Kebijakan Nasional dan Regional Transportasi Berkelanjutan

Perumusan kebijakan nasional dan regional yang mendukung pengembangan transportasi berkelanjutan sangat menentukan keberhasilan pelaksanaan agenda pembangunan berkelanjutan. Kebijakan tersebut mencakup pengurangan ketergantungan pada kendaraan pribadi melalui penguatan moda transportasi publik berbasis energi bersih, pengembangan infrastruktur yang ramah lingkungan, serta penerapan regulasi yang mendukung inovasi teknologi. Di Indonesia, tantangan utama adalah konsistensi dan komitmen pemerintah dalam mengimplementasikan kebijakan tersebut secara menyeluruh dan terpadu di tingkat pusat maupun daerah.

Pengembangan infrastruktur yang tepat dan penyesuaian kebijakan daerah menjadi kunci sukses pelaksanaan TOD dan sistem transportasi massal. Studi implementasi TOD di Indonesia menghimbau perlunya peta jalan kebijakan yang jelas dan adaptif terhadap karakteristik daerah, serta dukungan pendanaan yang memadai. Pendekatan regulasi harus mendukung pengembangan kawasan berorientasi transit dan pengurangan kemacetan, sejalan dengan upaya pengurangan emisi dan peningkatan kualitas hidup masyarakat.

Selain itu, integrasi kebijakan dan kolaborasi lintas sektor menjadi kebutuhan agar kebijakan transportasi berkelanjutan dapat terimplementasi secara efektif. Pendekatan ini memerlukan peran aktif dari pemerintah pusat, daerah, sektor swasta, dan masyarakat untuk memastikan keberlanjutan dari aspek pembangunan, operasional, dan sosial.

11.6.2 Regulasi dan Insentif untuk Transisi Energi dan Moda Transportasi

Regulasi yang efektif serta insentif fiskal memainkan peranan penting dalam mendukung transisi energi dan moda transportasi berkelanjutan. Penerapan standar emisi yang ketat dan pengaturan moda transportasi berbasis transportasi massal

seperti BRT dan LRT harus didukung oleh kebijakan insentif, misalnya keringanan pajak kendaraan listrik dan subsidi pengembangan infrastruktur energi terbarukan. Studi di Jawa Barat dan wilayah lain menunjukkan bahwa ketidakmerataan infrastruktur serta kekurangan insentif menjadi penghambat signifikan dalam perubahan moda dan penggunaan energi baru terbarukan (Al-lami,2025).

Di Indonesia, pengembangan transportasi otonom dan BRT menghadapi tantangan regulasi yang perlu diperkuat agar memberikan ruang bagi inovasi sekaligus menjamin kepatuhan terhadap prinsip keberlanjutan. Insentif yang tepat juga perlu diarahkan pada pengembangan infrastruktur serta kampanye edukasi publik untuk mempercepat adaptasi transportasi hijau dan teknologi modern.

11.6.3 Partisipasi Masyarakat dan Stakeholder dalam Perencanaan Transportasi

Keterlibatan masyarakat dan pemangku kepentingan lain sangat penting dalam perencanaan dan pelaksanaan transportasi berkelanjutan. Pendekatan partisipatif yang melibatkan berbagai pihak, mulai dari pemerintah, penyedia jasa, akademisi, hingga masyarakat umum, akan memperkuat legitimasi kebijakan dan memastikan kebutuhan pengguna dapat terakomodasi secara baik. Prinsip kolaborasi ini juga mendukung pengumpulan data yang akurat dan monitoring pelaksanaan kebijakan secara berkelanjutan (Hanafi at al.,2023).

Selain itu, kampanye edukasi dan advokasi mobilitas berkelanjutan perlu menjadi bagian integral dari strategi pembangunan. Kampanye ini tidak hanya menyoroti perubahan perilaku masyarakat, tetapi juga membangun kesadaran kolektif tentang manfaat dan urgensi mobilitas hijau. Contohnya, pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi untuk memberikan informasi layanan serta meningkatkan keterlibatan publik merupakan langkah inovatif dalam membangun sistem transportasi berkelanjutan.

Partisipasi juga mencakup kolaborasi lintas sektor yang menjembatani kebijakan transportasi, lingkungan, sosial, dan

ekonomi, yang dapat menciptakan sinergi dan pemanfaatan sumber daya secara optimal untuk keberhasilan jangka panjang pembangunan transportasi berkelanjutan (Okraszewska at al.,2018).

DAFTAR PUSTAKA

- Al lami, M. A. (2025). Integrating hydrogen energy and renewables into urban mobility systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 171, 113156.
- Ali, S. (2024). Public awareness and environmental attitudes in adopting green transportation in India. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 125, 103683. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103683>
- Annisa, A., Sutanto, S., Arief, B., & ... (2024). Sustainable Transportation in the Context of Indonesia Emas/1045: Facilitating the Transition Towards an Environmentally Friendly Future. *Jurnal Daur ...*, 7(1), 40–45. <https://doi.org/10.33087/daurling.v7i1.286>
- Astuti, S. D., Yazid, M. I., Alam, S., Narendra, D. A., & Dwinovan, N. (2024). Transportasi Berkelanjutan Dalam Mengatasi Perubahan Iklim. *Transportasi Berkelanjutan Dalam Mengatasi Perubahan Iklim*, 1(1), 1–12.
- Astuti, S. D., Yazid, M. I., Alam, S., Narendra, D. A., & Dwinovan, N. (2024). Transportasi Berkelanjutan Dalam Mengatasi Perubahan Iklim. *Transportasi Berkelanjutan Dalam Mengatasi Perubahan Iklim*, 1(1), 1–12.
- Ayuningtias, S. H. & Karmilah, M. (2019). Penerapan transit oriented development (TOD) sebagai upaya mewujudkan transportasi yang berkelanjutan. *Universitas Islam Sultan Agung*. <https://doi.org/10.30659/pondasi.v24i1.4996>
- Bina, M., & Biassoni, F. (2023). Travel Experience and Reasons for the Use and Nonuse of Local Public Transport: A Case Study within the Community Interregional Project SaMBA (Sustainable Mobility Behaviors in the Alpine Region). *Sustainability (Switzerland)*, 15(24). <https://doi.org/10.3390/su152416612>
- Bina, M., & Biassoni, F. (2023). Travel Experience and Reasons for the Use and Nonuse of Local Public Transport: A Case Study within the Community Interregional Project SaMBA (Sustainable Mobility Behaviors in the Alpine Region).

- Sustainability (Switzerland), 15(24).
<https://doi.org/10.3390/su152416612>
- Campisi, T., Basbas, S., Skoufas, A., Aifadopoulou, G., & Pappas, I. (2020). The impact of COVID 19 pandemic on mobility in Sicily. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 8, 100273.
<https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100273>
- Decker, R. (2012). Planning sustainable urban transport: Concepts and strategies. *Transport Policy*, 15, 153–160.
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.01.010>
- Delina, L. L., & Shi, L. (2025). Sustainable mobility transitions in developing states: A comparison of Southeast Asia's electric mobility policies and aspirations. *Sustainable Futures*, 9(May), 100751.
<https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100751>
- Dewi, K., & Krisdiyanto, A. (2023). Pengembangan Sistem Transportasi Masa Depan: Mobilitas Berkelanjutan dan Otonom di Jawa Barat. *Jurnal Multidisiplin West Science*, 1(09), 750–760.
<https://doi.org/10.58812/jmws.v2i09.626>
- Fadlilah, D. N., Nurmandi, A., & Fridayani, H. D. (2024). TREN PENELITIAN DALAM PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN Perkembangan Mobilitas Cerdas Dan Transportasi Cerdas. *Moderat: Jurnal Ilmiah Ilmu Pemerintahan*, 10(4), 749–771. <https://doi.org/10.25157/moderat.v10i4.3967>
- Frazila, R. B., Zukhruf, F., Nugroho, T., Karsaman, R. H., & Rahman, H. (2021). Pengembangan metode penilaian indikator transportasi berkelanjutan di indonesia. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(1), 101–116.
<https://doi.org/10.5614/JTS.2021.28.1.8>
- Gkiotsalitis, K., & Cats, O. (2021). Public transport planning adaption under the COVID-19 pandemic crisis: literature review of research needs and directions. *Transport Reviews*, 41(3), 374–392.
<https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1857886>
- Gumano, H. N. (2020). Kajian Arahan Dan Strategi Pengembangan Kawasan Potensial Transit Oriented Development (Tod) Di

- Sekitar Stasiun Transit LRT Kota Palembang. *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil* 3(1):124-138. doi:10.31602/jk.v3i1.3608
- Hanafi, I., Pujowati, Y., & Annisa, A., Sutanto, S., Arief, B., & ... (2024). Sustainable Transportation in the Context of Indonesia Emas/1045: Facilitating the Transition Towards an Environmentally Friendly Future. *Jurnal Daur ...*, 7(1), 40–45. <https://doi.org/10.33087/daurling.v7i1.286>
- Hanif, N. A. (2024). Tantangan Mobilitas Berkelanjutan Sebagai Mitigasi Perubahan Iklim Di Indonesia. *JOURNAL OF GOVERNMENT (Kajian Manajemen Pemerintahan Dan Otonomi Daerah)*, 10(1), 113–124. <https://doi.org/10.52447/gov.v10i1.8098>
- Ibrahim, S. M., Ayad, H. M., & Saadallah, D. M. (2022). Planning Transit-Oriented Development (TOD): A systematic literature review of measuring the Transit-Oriented Development levels. *International Journal of Transport Development and Integration*, 6(4), 378–398. <https://doi.org/10.2495/TDI-V6-N4-378-398>
- Joewono, T. B., Rizki, M., Dharmowijoyo, D. E., & Prasetyanto, D. (2021). Investigating the ride-hailing users and their perception of the usefulness of its services: A case from bandung, indonesia. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 132, 852–860. https://doi.org/10.1007/978-981-33-6311-3_97
- Mavlutova, I., Atstaja, D., Grasis, J., Kuzmina, J., Uvarova, I., & Roga, D. (2023). Urban Transportation Concept and Sustainable Urban Mobility in Smart Cities: A Review. *Energies*, 16(8), 1–16. <https://doi.org/10.3390/en16083585>
- Medina Molina, C., & García Fernández, J. (2024). A service dominant logic approach for sustainable shared mobility adoption. *Journal of Cleaner Production*, 425, 139287. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139287>
- Mouratidis, K. (2021). Urban planning and quality of life: A review of pathways linking the built environment to subjective well-being. *Cities*, 115(April), 103229. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103229>

- Muhtadi, M.A., (2023). Pengaruh Pembangunan Infrastruktur Transportasi Berkelanjutan terhadap Mobilitas dan Lingkungan di Kalimantan. *Jurnal Multidisiplin West Science*, Vol. 02, No. 10, Oktober/1023, pp. 908-917. DOI: 10.58812/jmws.v2i10.705
- Myrovali, G., & Morfoulaki, M. (2021). Sustainable urban mobility. In J. Papathanasiou, G. Tsaples, & A. Blouchoutzi (Eds.), *Urban sustainability* (pp./11-42). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67016-0_2
- Nainwal, A. (2021). Sustainable Transportation Infrastructure for Cities. *Mathematical Statistician and Engineering Applications*, 70(1), 676-682. <https://doi.org/10.17762/msea.v70i1.2523>
- Okraszewska, R., Kijewska, K., & Żak, J. (2018). Stakeholder involvement in sustainable urban mobility planning. *E3S Web of Conferences*, 44, 00054. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184400054>
- Owoade, A. (2024). Blockchain based smart multimodal transportation system for sustainable cities. *Smart Cities*, 7(2), 112-126. <https://doi.org/10.3390/smartcities7020010>
- Pawyszyn, D. (2021). Evaluating sustainable urban mobility plans in European cities: A comparative approach. *Sustainability*, 13(7), 3999. <https://doi.org/10.3390/su13073999>
- Rizki, M., Basuki Joewono, T., & Susilo, Y. O. (2024). Towards understanding travel in the digital age: A cross-dimensional one-week diary of individual virtual and physical activities in Indonesian cities. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 187(July), 104195. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.104195>
- Suadnyani, D . P. N., Muliana, I. G. N. A., Sumertayasa, K., & Dwipayana, A. D. (2023). Adaptasi Perubahan Iklim Global Terhadap Dampak Perubahan Iklim Transportasi Darat Melalui Pendekatan Mitigasi. *Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi* 1(3):687-696. DOI: 10.19184/berkalafstpt.v1i3.599

Tanan, N., & Suprayoga, G. B. (2015). Fasilitas Pejalan Kaki Dalam Mendukung Program Pengembangan Kota Hijau (Pedestrian facilities in supporting green city development). *Jurnal Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia (HPJI)*, 1(1), 17-28. <https://doi.org/10.26593/jh.v1i1.1431>.

BAB 12

KOTA BERKELANJUTAN DAN SMART CITY

Oleh Nunik Hasriyanti

12.1 Pendahuluan

Kota berkelanjutan adalah sebuah kota yang dirancang dan dikelola dengan cermat, memperhatikan keseimbangan yang harmonis antara kebutuhan ekonomi, sosial, dan lingkungan. Pendekatan ini tidak hanya relevan untuk memenuhi kebutuhan saat ini, tetapi juga untuk memastikan keberlanjutan di masa depan. Tujuan dari konsep kota berkelanjutan adalah untuk menciptakan lingkungan perkotaan yang tidak hanya nyaman dan sehat, tetapi juga efisien dalam penggunaan sumber daya. Dengan demikian, kualitas hidup yang tinggi dapat terjamin bagi seluruh penduduk, tanpa mengorbankan hak dan kebutuhan generasi yang akan datang. Kota berkelanjutan merujuk pada kota yang dirancang dan dikelola dengan memperhatikan keseimbangan yang tepat antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan saat ini sekaligus menjaga keberlanjutan untuk masa depan. Konsep ini berfokus pada penciptaan lingkungan perkotaan yang nyaman, sehat, dan efisien, serta berupaya untuk memastikan bahwa semua penduduk menikmati kualitas hidup yang tinggi, tanpa mengorbankan kebutuhan generasi mendatang. Dari penjelasan di atas, kita dapat menyimpulkan bahwa sebuah kota yang berkelanjutan adalah kota yang berhasil menggabungkan berbagai standar kehidupan, proses produksi, dan pola konsumsi. Hal ini dilakukan dengan memperhatikan keseimbangan yang harmonis antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Dengan kata lain, kota yang berkelanjutan tidak hanya fokus pada pertumbuhan ekonomi, tetapi juga

memperhatikan kesejahteraan masyarakat dan kelestarian lingkungan.

Kota pintar, atau yang lebih dikenal dengan istilah smart city, adalah sebuah konsep yang menitikberatkan pada pengembangan wilayah perkotaan dengan memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi (TIK). Konsep ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi operasional, memperkuat konektivitas antar berbagai elemen kota, serta meningkatkan kualitas hidup bagi penduduk yang tinggal di dalamnya. Untuk mencapai tujuan tersebut, kota pintar berupaya mengintegrasikan berbagai sektor yang ada di kota, seperti transportasi, energi, pengelolaan air, layanan publik, dan perlindungan lingkungan. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat tercipta sebuah kota yang lebih berkelanjutan, efisien, dan nyaman untuk dihuni oleh masyarakatnya. Kota pintar adalah sebuah area yang telah mengadopsi dan mengintegrasikan teknologi informasi dan komunikasi ke dalam berbagai aspek pengelolaan sehari-hari. Pengembangan kota pintar bertujuan untuk mencapai efisiensi dalam operasional, meningkatkan kualitas layanan publik, serta menciptakan kenyamanan dan kesejahteraan bagi masyarakat yang tinggal di dalamnya. Dengan memanfaatkan teknologi, kota pintar dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya, mempermudah akses informasi, dan meningkatkan interaksi antara pemerintah dan warga. Selain itu, kota pintar juga berfokus pada keberlanjutan lingkungan dan pengurangan dampak negatif terhadap ekosistem, sehingga menciptakan lingkungan yang lebih baik untuk generasi mendatang.

12.2 Kota Berkelanjutan

Kota berkelanjutan merupakan sebuah konsep dalam perencanaan kota yang menekankan pentingnya menciptakan keseimbangan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Dalam desain dan pengelolaan kota yang berkelanjutan, tujuan utamanya adalah untuk memenuhi kebutuhan masyarakat saat ini, sambil tetap memperhatikan dan menjaga keberlanjutan untuk masa depan. Dengan menerapkan pendekatan ini,

diharapkan dapat terwujud lingkungan perkotaan yang tidak hanya nyaman dan sehat, tetapi juga efisien dalam penggunaan sumber daya. Hal ini bertujuan untuk menjamin kualitas hidup yang baik bagi seluruh penduduk, tanpa mengabaikan hak dan kebutuhan generasi mendatang. Kota Berkelanjutan adalah sebuah konsep yang diimplementasikan dalam perencanaan dan pengembangan kota, yang menekankan pada pentingnya mencapai keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi, kesejahteraan sosial, dan pelestarian lingkungan. Konsep ini bertujuan untuk menciptakan lingkungan perkotaan yang tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga nyaman untuk ditinggali dan efisien dalam penggunaan sumber daya. Selain itu, Kota Berkelanjutan berkomitmen untuk memastikan bahwa kualitas hidup yang tinggi dapat dinikmati oleh seluruh penduduk, sehingga menciptakan masyarakat yang sejahtera dan berkelanjutan.

Prinsip-Prinsip Kota Berkelanjutan

1. Pengelolaan Sumber Daya yang Efisien

Kota berkelanjutan berfokus pada optimalisasi penggunaan sumber daya alam seperti air, energi, dan bahan baku. Hal ini dicapai melalui penerapan teknologi yang ramah lingkungan, termasuk energi terbarukan (seperti matahari dan angin), pengelolaan limbah yang efektif, serta pengurangan emisi karbon.

2. Perencanaan Tata Ruang yang Cerdas

Tata ruang dalam kota berkelanjutan dirancang untuk meminimalkan dampak terhadap lingkungan dan mengurangi ketergantungan pada kendaraan pribadi. Ini mencakup pembangunan sistem transportasi umum yang efisien, jalur sepeda, trotoar untuk pejalan kaki, serta penyediaan ruang hijau yang memadai.

3. Kesejahteraan Sosial:

Sebuah kota yang berkelanjutan memiliki komitmen yang kuat untuk memastikan bahwa setiap warganya mendapatkan akses yang setara terhadap layanan dasar yang sangat penting. Layanan ini mencakup pendidikan, kesehatan, perumahan, dan kesempatan kerja. Dengan

memberikan akses yang adil kepada semua warga, kota tersebut tidak hanya menciptakan keadilan sosial, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan kualitas hidup masyarakat secara keseluruhan.

4. Pelestarian lingkungan adalah salah satu pilar utama dalam pembangunan kota yang berkelanjutan. Ini mencakup berbagai tindakan untuk melindungi keanekaragaman hayati, mengurangi polusi yang terjadi di udara dan air, serta mengelola limbah dengan cara yang efektif. Proses daur ulang dan pembuatan kompos menjadi bagian penting dari strategi ini, membantu mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan dan mempromosikan penggunaan kembali sumber daya. Dengan demikian, kita dapat menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan lebih sehat untuk generasi mendatang.
5. Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim
Kota yang berkelanjutan mengadopsi berbagai pendekatan untuk mengatasi dampak perubahan iklim, termasuk isu-isu seperti banjir, kekeringan, dan suhu ekstrem. Beberapa contoh strategi adaptasi yang diterapkan di kota-kota ini mencakup pengembangan infrastruktur hijau, seperti taman kota yang berfungsi sebagai ruang terbuka hijau dan atap hijau yang berkontribusi dalam menurunkan suhu bangunan. Selain itu, penerapan sistem drainase pintar juga merupakan elemen penting dalam upaya ini, yang dirancang untuk mengelola aliran air dengan efisien dan mengurangi risiko terjadinya banjir.

12.2.1 Contoh Implementasi

Berikut beberapa contoh implementasi konsep kota berkelanjutan :

1. Transportasi Berkelanjutan
Kota-kota seperti Kopenhagen, Denmark, telah mendapatkan pengakuan internasional berkat sistem transportasi berkelanjutan yang mereka terapkan. Sistem ini sangat fokus pada promosi penggunaan sepeda dan transportasi umum, yang memainkan peran penting dalam mengurangi emisi gas

rumah kaca. Dengan adanya infrastruktur yang mendukung penggunaan sepeda dan jaringan transportasi umum yang efisien, Kopenhagen berhasil menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan sehat bagi penduduknya. Selain itu, kebijakan ini juga mendorong gaya hidup aktif dan mengurangi ketergantungan pada kendaraan bermotor, sehingga meningkatkan kualitas hidup secara keseluruhan.

2. Pengelolaan Air dan Energi

Singapura merupakan contoh yang sangat menonjol dalam pengelolaan sumber daya air. Kota ini telah berhasil menerapkan teknologi canggih untuk mendaur ulang air dan memanfaatkan air hujan dengan cara yang sangat efisien. Melalui pendekatan ini, Singapura tidak hanya berhasil mengurangi ketergantungan pada sumber air tradisional, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan keberlanjutan lingkungan. Selain itu, kota ini juga telah mengintegrasikan penggunaan energi terbarukan ke dalam sistem infrastruktur mereka, yang menciptakan jaringan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

3. Pembangunan Hijau

Beberapa kota di seluruh dunia, seperti Vancouver yang terletak di Kanada, telah mengimplementasikan kebijakan pembangunan berkelanjutan. Kebijakan ini mewajibkan semua bangunan baru untuk memenuhi standar keberlanjutan yang telah ditetapkan. Standar tersebut mencakup penggunaan bahan-bahan yang ramah lingkungan serta penerapan praktik efisiensi energi yang tinggi. Dengan langkah ini, Vancouver berupaya untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan mendorong pembangunan yang lebih bertanggung jawab.

12.3 Smart City

Kota Cerdas adalah sebuah model yang ideal untuk pengembangan kota, yang dibangun melalui kombinasi cerdas dari berbagai aktivitas, penelitian, inovasi, dan kesadaran masyarakat setempat. Dengan menerapkan konsep ini, diharapkan kota cerdas dapat memberikan dampak positif yang

signifikan terhadap berbagai aspek, termasuk pemerintahan, interaksi sosial antar masyarakat, sistem transportasi, dan kualitas hidup secara keseluruhan. Selain itu, Kota Cerdas juga bertujuan untuk menciptakan persaingan yang sehat di berbagai sektor, semua itu dengan memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi secara efektif.

Kota pintar berkomitmen untuk memastikan bahwa semakin banyak kota di seluruh dunia dapat mengadopsi pengelolaan yang cerdas dengan memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi dalam proses pembangunan dan pengelolaan kota. Inisiatif ini mendorong partisipasi aktif masyarakat dalam pengelolaan kota, yang pada gilirannya menciptakan interaksi yang lebih dinamis dan erat antara warga dan penyedia layanan, dalam hal ini pemerintah di setiap negara. Namun, penerapan konsep kota pintar di Indonesia menghadapi berbagai tantangan, termasuk infrastruktur pendukung yang masih kurang memadai, kesiapan pemerintah daerah, serta kemampuan masyarakat yang belum sepenuhnya optimal dalam memanfaatkan teknologi digital.

Berikut adalah definisi dan pengertian smart city yang diambil dari berbagai sumber buku:

1. Menurut Caraglie, Del Bo, dan Nijkmp (2009), smart city adalah sebuah kota yang dapat memanfaatkan sumber daya manusia, modal sosial, dan infrastruktur telekomunikasi modern untuk mencapai pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan serta meningkatkan kualitas hidup yang tinggi. Hal ini dicapai melalui pengelolaan sumber daya yang bijaksana dan pemerintahan yang melibatkan partisipasi masyarakat.
2. Pratama (2014) menjelaskan bahwa konsep smart city mencakup berbagai aspek, termasuk pengembangan, penerapan, dan implementasi teknologi di suatu wilayah. Konsep ini berfungsi untuk menciptakan interaksi yang kompleks antara berbagai sistem yang ada di dalam kota tersebut, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas hidup masyarakat.

3. Cohen (2014) mendefinisikan smart city sebagai kota yang secara cerdas dan efisien menggunakan teknologi informasi dan komunikasi (ICT) untuk mengelola berbagai sumber daya. Pendekatan ini menghasilkan penghematan biaya dan energi, meningkatkan pelayanan serta kualitas hidup, dan mengurangi jejak lingkungan, semuanya mendukung inovasi dan ekonomi yang ramah lingkungan.
4. Muliarto (2015) menyatakan bahwa smart city adalah pendekatan untuk menghubungkan infrastruktur fisik, sosial, dan ekonomi dalam suatu kawasan dengan memanfaatkan teknologi ICT. Ini memungkinkan integrasi semua elemen dalam aspek tersebut, menciptakan kota yang lebih efisien dan layak huni.

Menurut Hao, Lei, dan Yan (2012), terdapat beberapa karakteristik yang menjadi ciri khas dari smart city, antara lain:

1. Interkoneksi antar bagian perkotaan: Smart city mengintegrasikan jaringan komunikasi, internet, sensor, dan teknologi pengenalan untuk memfasilitasi komunikasi antar individu. Dengan demikian, interkoneksi antar bagian perkotaan dapat terwujud dengan lebih efektif.
2. Integrasi sistem informasi perkotaan: Aspek yang berkaitan dengan internet dan cloud computing akan diterapkan di berbagai sektor bisnis, mengintegrasikan aplikasi, data, dan internet menjadi elemen-elemen kunci yang mendukung operasi dan manajemen perkotaan.
3. Manajemen perkotaan dan kolaborasi layanan: Interkoneksi antara komponen perkotaan dan dukungan sistem aplikasi manajemen perkotaan serta layanan akan dikoordinasikan dengan sistem kritik perkotaan dan partisipan untuk menciptakan pengelolaan kota yang lebih baik.
4. Penerapan teknologi informasi dan komunikasi (ICT) terbaru: Konsep smart city berfungsi sebagai panduan dalam manajemen kota modern, yang menekankan penggunaan teknologi informasi canggih dalam pengelolaan dan pelayanan perkotaan. Hal ini bertujuan untuk mendorong

pemerintah, perusahaan, dan masyarakat untuk berinovasi dan berkontribusi pada pembangunan kota.

12.3.1 Pencetus Smart City

Konsep kota pintar telah menjadi isu yang sangat relevan di berbagai belahan dunia saat ini. Pada awalnya, gagasan ini diperkenalkan oleh perusahaan International Business Machines (IBM) pada tahun 1990-an, setelah sebelumnya dibahas oleh para ahli global dengan istilah kota digital. IBM memberikan definisi awal bahwa kota pintar adalah kota di mana semua instrumennya saling terhubung dan beroperasi secara cerdas. Seiring berjalannya waktu, definisi ini diperluas untuk menekankan bahwa semakin banyak kota di seluruh dunia dapat mengadopsi konsep cerdas ini dengan menerapkan Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) dalam pengembangan dan pengelolaan kota, dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas hidup warganya. Boyd Cohen telah melakukan penelitian tentang kota pintar sejak tahun 2011 dan berusaha untuk memahami konsep kota pintar ini, serta mengamati transformasi beberapa kota yang telah mengimplementasikannya. Ia menyimpulkan bahwa terdapat 3 (tiga) fase penting yang berbeda mengenai tahap-tahap di mana teknologi mulai diterapkan dalam pembangunan kota. Ia mengamati dari masa ketika teknologi hanya digunakan oleh perusahaan-perusahaan besar, saat pemerintahan mulai dipengaruhi oleh teknologi, dan terakhir ketika masyarakat digerakkan oleh teknologi dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini kemudian melahirkan istilah Smart City 1.0, 2.0, dan 3.0.

Menurut Pratama (2014), terdapat enam indikator smart city, yaitu sebagai berikut:

1. Smart economy

Ekonomi merupakan salah satu pilar penopang daerah/kota/negara. Pengelolaan ekonomi suatu daerah hendaknya perlu dilakukan dengan lebih baik dan terkomputerisasi. Implementasi dan penilaian smart city pada bagian (dimensi) *smart economy* meliputi dua hal, yakni proses inovasi (*innovation*) dan kemampuan daya saing

(*competitives*). Kedua hal tersebut berguna untuk mencapai peningkatan ekonomi bangsa yang lebih baik dan pintar, sebab inovasi dan kemampuan daya saing merupakan modal utama untuk kemajuan bangsa serta peningkatan pembangunan sumber daya. Arah pembangunan sumber daya di suatu wilayah diwujudkan melalui peningkatan akses, pemerataan, relevansi, dan mutu layanan sosial dasar, peningkatan kualitas dan daya saing tenaga kerja, pengendalian jumlah dan laju pertumbuhan penduduk serta peningkatan partisipasi masyarakat.

2. Smart people

Pembangunan senantiasa membutuhkan modal, baik modal ekonomi (*economic capital*), modal manusia (*human capital*) maupun modal sosial (*social capital*). Smart people dapat dikatakan sebagai tujuan utama yang harus dipenuhi dalam mewujudkan smart city. Pada bagian ini terdapat kriteria proses kreatifitas pada diri manusia dan modal sosial. Berikut kriteria penilaian tersebut antara lain sebagai berikut:

- a. Adanya jenjang pendidikan formal dalam bentuk sekolah dan perguruan tinggi yang merata kepada masyarakat dan berbasis IT seperti penerapan e-learning, pemanfaatan sistem informasi sekolah/perguruan tinggi, pembelajaran dengan sarana komputer, penyediaan akses internet untuk sumber informasi/bahas pembelajaran, dan lain-lain.
- b. Adanya komunitas IT dan komunitas lainnya yang berkaitan dengan pemanfaatan teknologi informasi.
- c. Adanya peranan masyarakat dalam pemanfaatan teknologi informasi.

3. Smart governance

Smart governance merupakan bagian atau dimensi pada *smart city* yang mengkhususkan pada tata kelola pemerintahan. Adanya kerja sama antara pemerintah dan masyarakat diharapkan dapat mewujudkan tata kelola dan jalannya pemerintahan yang bersih, jujur, adil, dan demokrasi, serta kualitas dan kuantitas layanan publik yang

lebih baik. Smart governance terdiri atas tiga bagian sebagai berikut:

- a. Keikutsertaan masyarakat di dalam penentuan keputusan secara langsung maupun online.
- b. Peningkatan jumlah dan kualitas layanan publik. Implementasi smart city dalam hal ini memanfaatkan teknologi informasi dapat dilakukan dengan cara penyediaan sistem informasi berbasis web dan mobile untuk pelayanan publik (pembuatan KTP, SIM dan lain-lain), penyediaan layanan administrasi keuangan/pembayaran yang efektif, hemat waktu, dan otomatis (pembayaran listrik, air dan lain-lain), dan adanya database yang terstruktur dan tertata baik di dalam penyimpanan data dan informasi terkait dengan layanan publik.
- c. Adanya transparansi di dalam pemerintahan, sehingga masyarakat menjadi tahu dan cerdas.

4. *Smart Mobility*

Smart mobility merupakan bagian atau dimensi pada smart city yang mengkhususkan pada transportasi dan mobilitas masyarakat. Pada smart mobility ini terdapat proses transportasi dan mobilitas yang smart, sehingga diharapkan tercipta layanan publik untuk transportasi dan mobilitas yang lebih baik serta menghapus permasalahan umum di dalam transportasi, misalkan macet, pelanggaran lalu lintas, polusi dan lain-lain.

5. *Smart Environment*

Smart Environment merupakan bagian atau dimensi pada smart city yang mengkhususkan pada bagaimana menciptakan lingkungan yang pintar. Kriteria penilaian disini mencakup proses kelangsungan dan pengelolaan sumber daya yang lebih baik. Untuk mewujudkan smart environment perlu adanya beragam terapan aplikasi dan komputer dalam bentuk sensor network dan wireless sensor network, jaringan komputer, kecerdasan buatan, database sistem, *mobile computing*, sistem operasi, *parallel computing*, *recognition* (*face recognition*, *image recognition*), *image*

processing, intelligence transport system, dan beragam teknologi lainnya yang terkait dengan pengelolaan lingkungan hidup dan manusia itu sendiri.

6. Smart Living

Pada smart living terdapat syarat dan kriteria serta tujuan untuk proses pengelolaan kualitas hidup dan budaya yang lebih baik dan pintar. Untuk mewujudkan smart living, terdapat tiga buah sub bagian yang harus dipenuhi, diantaranya sebagai berikut:

- a. Fasilitas-fasilitas pendidikan yang memadai bagi masyarakat dengan memanfaatkan teknologi informasi seperti penyediaan sarana internet gratis dan sehat (bebas dari konten pornografi, kekerasan, melalui sistem *filtering/proxy*), CCTV yang terpasang ditempat umum dan lalu lintas untuk menekan jumlah kriminalitas.
- b. Penyediaan sarana, prasarana dan informasi terkait dengan potensi pariwisata daerah dengan baik dan atraktif memanfaatkan teknologi informasi seperti adanya sistem informasi geografis untuk pemetaan lokasi objek wisata, proses pemesanan tiket masuk dan kamar hotel secara online dan mobile.
- c. Infrastruktur teknologi informasi yang memadai, sehingga semua fasilitas dan layanan publik dapat berjalan dengan baik melalui bantuan komputerisasi dan teknologi informasi seperti tersedianya komputer publik di tempat-tempat umum, tersedianya jaringan internet yang memadai, tersedianya tenaga IT/SDM yang kompeten.

12.3.2 Contoh Smart City

Contoh-contoh kota pintar yang berhasil menerapkan konsep ini di berbagai belahan dunia mencakup Barcelona, Singapura, dan Seoul. Ketiga kota ini telah memanfaatkan teknologi modern untuk meningkatkan kualitas hidup warganya, meningkatkan efisiensi layanan publik, serta mendukung keberlanjutan lingkungan. Barcelona, misalnya, menggunakan sistem sensor untuk mengelola lalu lintas dan mengurangi

kemacetan, sementara Singapura menerapkan teknologi cerdas dalam pengelolaan air dan energi. Di sisi lain, Seoul telah mengembangkan aplikasi yang memungkinkan warga untuk berpartisipasi dalam pengambilan keputusan terkait kota mereka, sehingga menciptakan lingkungan yang lebih responsif dan inklusif.

1. Singapura

Singapura telah mendapatkan pengakuan global sebagai pelopor dalam pengembangan konsep kota pintar, terutama melalui inisiatif yang dikenal sebagai Smart Nation. Program ini menggabungkan berbagai teknologi mutakhir, seperti *Internet of Things* (IoT), big data, dan kecerdasan buatan (AI), untuk menciptakan lingkungan yang lebih efisien dan responsif terhadap kebutuhan masyarakat. Dengan penerapan teknologi-teknologi ini, Singapura berhasil meningkatkan layanan publik yang tersedia bagi warganya, serta secara signifikan memperbaiki kualitas hidup masyarakat. Berbagai inovasi yang diterapkan dalam program ini mencakup sistem transportasi yang lebih baik, pengelolaan limbah yang lebih efisien, dan layanan kesehatan yang lebih terintegrasi, semuanya bertujuan untuk menciptakan kota yang lebih cerdas dan berkelanjutan. Singapura telah mendapatkan pengakuan luas sebagai salah satu kota pintar terkemuka di dunia, sering kali menduduki posisi teratas dalam berbagai indeks yang menilai kecerdasan kota. Sejak peluncuran inisiatif Smart Nation pada tahun 2014, Singapura telah menunjukkan komitmen yang kuat untuk mengadopsi dan menerapkan berbagai teknologi cerdas di berbagai sektor, termasuk transportasi, kesehatan, dan banyak lagi. Tujuan dari inisiatif ini adalah untuk meningkatkan kualitas hidup warganya serta menciptakan lingkungan yang lebih efisien dan terhubung.



Berikut adalah beberapa poin penting mengenai Singapura sebagai kota pintar:

- a. Singapura telah meluncurkan inisiatif Smart Nation yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas hidup warganya dengan memanfaatkan teknologi modern.
- b. Negara ini secara konsisten menduduki peringkat teratas dalam indeks kota pintar, seperti yang dirilis oleh IMD *World Competitiveness Center's Smart City Observatory*, menunjukkan komitmennya terhadap inovasi.
- c. Smart Mobility: Singapura telah mengembangkan berbagai solusi transportasi cerdas yang inovatif, yang mencakup sistem transportasi terintegrasi yang memudahkan perpindahan antar moda transportasi, layanan pemesanan online yang memungkinkan pengguna untuk merencanakan perjalanan mereka dengan lebih efisien, serta sistem pemantauan lalu lintas secara real-time yang membantu dalam mengelola arus lalu lintas dan mengurangi kemacetan, semua ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi perjalanan bagi warganya. Smart Healthcare: Negara ini juga menerapkan sistem kesehatan digital yang mencakup konsultasi video dan penggunaan perangkat IoT untuk memantau kondisi pasien secara efektif. Negara ini juga telah mengimplementasikan sistem kesehatan digital

yang canggih, yang tidak hanya mencakup konsultasi video antara pasien dan dokter, tetapi juga memanfaatkan perangkat *Internet of Things* (IoT) untuk secara efektif memantau kondisi kesehatan pasien. Dengan adanya teknologi ini, pasien dapat menerima perawatan yang lebih baik dan lebih cepat, serta memungkinkan tenaga medis untuk mengawasi kesehatan pasien dari jarak jauh.

- d. **Infrastruktur Pintar:** Singapura membangun kota hutan baru yang ramah lingkungan dan bebas kendaraan, serta secara luas mengadopsi sistem pembayaran nirsentuh untuk memudahkan transaksi. Singapura saat ini tengah merancang sebuah kota hutan baru yang ditujukan untuk menjadi ramah lingkungan dan sepenuhnya bebas dari kendaraan bermotor. Kota ini akan fokus pada prinsip keberlanjutan serta memberikan kenyamanan maksimal bagi para penghuninya. Di samping itu, Singapura juga secara luas menerapkan sistem pembayaran nirsentuh, yang bertujuan untuk mempermudah proses transaksi bagi masyarakat dan pengunjung. Dengan demikian, hal ini akan menciptakan pengalaman yang lebih efisien dan modern bagi semua pengguna.
- e. **Fokus pada Lingkungan, Produktivitas, Kesehatan, dan Layanan Publik:** Singapura berkomitmen untuk meningkatkan kualitas lingkungan, produktivitas bisnis, layanan kesehatan, dan layanan publik melalui penerapan teknologi pintar yang inovatif. Singapura berkomitmen untuk meningkatkan kualitas lingkungan, produktivitas bisnis, layanan kesehatan, dan layanan publik. Komitmen ini diwujudkan melalui penerapan teknologi pintar yang inovatif, yang diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih efisien dan efektif dalam berbagai sektor. Dengan memanfaatkan teknologi canggih, Singapura berusaha menciptakan lingkungan yang lebih bersih, meningkatkan daya saing bisnis, serta

menyediakan layanan kesehatan dan publik yang lebih baik bagi warganya.



2. Barcelona

Barcelona memanfaatkan teknologi cerdas untuk meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan pencahayaan, sistem irigasi, dan pengumpulan sampah. Dengan penerapan teknologi ini, kota dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya yang ada dan sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, Barcelona juga telah menciptakan aplikasi inovatif yang memungkinkan warga untuk melaporkan berbagai masalah yang mereka temui di lingkungan sekitar dengan mudah, seperti lubang di jalan. Hal ini memungkinkan pemerintah kota untuk segera merespons dan memperbaiki masalah tersebut dengan cepat.



Dewan Kota Barcelona telah mengimplementasikan teknologi kota pintar untuk menghadapi tantangan lingkungan dan sosial yang dihadapi di perkotaan, seperti perubahan iklim, transisi energi, dan mobilitas berkelanjutan.

Salah satu metode yang digunakan adalah melalui proyek Sentilo, yang merupakan jaringan yang terdiri dari 19.000 sensor aktif yang mengumpulkan informasi secara waktu nyata (*real-time*) mengenai tingkat kebisingan, suhu, kualitas udara, serta arus lalu lintas pejalan kaki dan sepeda, dan masih banyak lagi. Perangkat lunak sumber terbuka ini berhasil meraih penghargaan *Open Awards* 2016 sebagai platform IoT sumber terbuka yang paling inovatif untuk lingkungan perkotaan. Contoh lain dari proyek kota pintar adalah City OS, sebuah infrastruktur data terbuka yang memungkinkan Dewan Kota untuk mendistribusikan sumber daya kota dengan lebih efisien (dalam hal transportasi, energi, atau air) dan menyediakan layanan berbasis data baru yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat. Selain itu, Barcelona baru-baru ini menerapkan superblok, sebuah solusi inovatif untuk perencanaan kota yang lebih baik. Superblok ini menciptakan lingkungan mini dengan kemacetan lalu lintas yang lebih rendah, kualitas

udara yang lebih baik, serta lebih banyak ruang untuk rekreasi dan area hijau.



Saat ini, Barcelona telah berhasil mengembangkan jaringan kabel serat optik yang membentang ratusan kilometer, menghubungkan berbagai wilayah di seluruh kota. Selain itu, rencana ambisius sedang disusun untuk menyediakan akses Wi-Fi gratis di berbagai moda transportasi umum, termasuk bus dan metro, serta di pasar-pasar lokal. Di samping itu, akses Wi-Fi gratis juga sudah tersedia di berbagai lokasi publik seperti taman, alun-alun, dan perpustakaan. Setiap bulannya, lebih dari 250.000 orang memanfaatkan layanan Wi-Fi gratis ini di seluruh penjuru kota, menjadikannya salah satu inisiatif penting dalam meningkatkan konektivitas dan akses informasi bagi masyarakat.

3. Kashiwanoha

Kashiwanoha dirancang dengan fokus yang mendalam pada penerapan energi berkelanjutan. Proyek ini menggabungkan penggunaan panel surya yang sangat efisien dengan sistem baterai yang saling terhubung. Kombinasi ini secara keseluruhan berkontribusi dalam mengurangi konsumsi energi hingga 26%.



Kashiwanoha adalah kota yang terletak di Prefektur Chiba, Jepang. Kota ini dikembangkan oleh Mitsui Fudosan Co. dengan tujuan untuk menciptakan lingkungan yang berkelanjutan. Konsep pengembangan kota ini mengintegrasikan berbagai fungsi, termasuk perkantoran, pusat perbelanjaan, dan perhotelan, untuk menciptakan ekosistem yang harmonis. Salah satu fitur utama dari Kashiwanoha adalah sistem efisiensi energi yang menggunakan panel surya dan baterai yang saling terhubung, yang mampu mengurangi konsumsi energi hingga 26 persen, terutama pada jam-jam sibuk. Kota ini dibangun di atas lahan seluas 300 hektar, menjadikannya sebagai salah satu contoh kota berkelanjutan yang berhasil menggabungkan teknologi modern dengan prinsip keberlanjutan, seperti yang diungkapkan dalam studi oleh Greeneration Foundation.

DAFTAR PUSTAKA

- Caragliu, A. & Del Bo, C. & Nijkamp, P. 2009. Smart Cities in Europe. Series Research Memoranda 0048. VU University Amsterdam.
- Pratama, I Putu Agus Eka. 2014. Smart City Beserta Cloud Computing dan Teknologi Pendukung Lainnya. Bandung: Informatika.
- Cohen, Boyd. 2013. What Exactly a Smart City?. <http://www.bydcohen.com>
- Muliarto, H. 2015. Konsep Smart City Smart Mobility. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Hao, L., Yan, Z. dan ChunLi, Y. 2012. The application and implementation research of smart city. China: System Science and Engineering (ICSSE).
- Holmes. 2010. The Smart City, an Introduction. U.K: House London.
- CLC. (2020). Starting a Circular Economy in Singapore From Zero Waste. *Center for Liveable Cities Singapore*. <https://www.clc.gov.sg/research-publications/publications/digital-library/view/circular-economy-in-singapore-from-zero-waste>
- Department of Statistics Singapore. (2021). *Environment. Department of Statistics Singapore*. <https://www.singstat.gov.sg/find-data/search-by-theme/society/environment/latest-data>
- IMD. (2021). Smart City Observatory. *SCO Smart City Observatory*. <https://www.imd.org/smart-city-observatory/home/>
- IMF. (2021). GDP per capita, current prices. *International Monetary Fund*. https://www.imf.org/external/datamapper/NGDPD_PC@WEO/OEMDC/ADVEC/WEOWORLD
- Joshi, S., Saxena, S., Godbole, T, & Shreya. (2016). Developing Smart Cities: An Integrated Framework. *Procedia Computer Science*, 93, 902–909. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.258>

- Kemp, S. (2021, February 9). Digital 2021: Singapore. *DataReportal*. <https://datareportal.com/reports/digital-2021-singapore>
- NEA. (n.d.). Singapore Packaging Agreement and Packaging Partnership Programme. *National Environmental Agency*. <https://www.nea.gov.sg/programmes-grants/schemes/singapore-packaging-agreement>

BAB 13

STRATEGI IMPLEMENTASI

ARSITEKTUR BERKELANJUTAN

Oleh Ghina Rizqandi Q.A

13.1 Sejarah Perkembangan Arsitektur Berkelanjutan

Arsitektur sebagai respons terhadap perubahan kesadaran global terhadap lingkungan: Menjelang akhir abad ke 20, istilah *sustainable* masuk ke dalam kesadaran arsitek sebagai respons terhadap krisis lingkungan, seperti polusi, penipisan sumber daya, dan perubahan iklim. Ini menandai pergeseran dari kekhawatiran tentang apa yang alam lakukan terhadap manusia menjadi apa yang manusia lakukan terhadap alam (Hande Eyüboğlu 2024). Kerangka Global: Konsep keberlanjutan dalam arsitektur dipengaruhi oleh perkembangan kebijakan global, seperti *Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC, 1992), yang bertujuan memperlambat perubahan iklim akibat aktivitas manusia. Desain berkelanjutan yang menekankan harmoni dengan alam dan kerendahan hati terhadap lingkungan (Lewis et al. 2018). Dalam pengaruh Budaya dan Filosofi: keberlanjutan mencerminkan perubahan sosial dan budaya, terutama di negara-negara Barat, yang mengakui skala global masalah lingkungan dan kebutuhan akan perubahan pola hidup (Obinna Iwuanyanwu et al. 2024).

13.2 Pengertian Arsitektur Berkelanjutan

Sustainable Architecture is response and an expression of celebration of our existence and respect for the world around us". (Jack. A. Kramers). Arsitektur Berkelanjutan merupakan suatu respon dan ekspresi keberadaan kita serta rasa peduli terhadap dunia sekitar kita (Kurniasih 2010).

Arsitektur berkelanjutan (*Sustainable architecture*) bukan hanya tentang bangunan dengan fitur ramah lingkungan, tetapi merupakan konstruksi budaya yang melibatkan cara berpikir, pengambilan keputusan, dan tindakan etis dalam desain (Williamson, Radford, and Bennetts 2004).

1. Definisi Inti: *Sustainable architecture* adalah pendekatan desain yang bertujuan meminimalkan dampak lingkungan, mendukung keberlanjutan sosial dan budaya, serta memastikan efisiensi ekonomi, sambil mempertimbangkan kebutuhan generasi saat ini dan masa depan. Formula Keberlanjutan: Buku ini dikutip dari Sylvan dan Bennett (1994) yang menyatakan bahwa dampak lingkungan manusia harus berada dalam batas *carrying capacity* ekosistem dunia agar keberlanjutan dapat tercapai. Peringatan terhadap Greenwash: Buku ini menyoroti bahaya greenwash, yaitu klaim keberlanjutan yang menyesatkan tanpa dasar substansial, seperti penggunaan elemen desain hanya untuk estetika.

2. Konteks *Sustainable Architecture*

Sustainable architecture tidak dapat dipisahkan dari konteks lingkungan, sosial, budaya, dan ekonomi. Buku ini menguraikan beberapa konteks utama; **1.** Konteks Lingkungan: Bangunan harus dirancang untuk mengurangi dampak lingkungan, seperti emisi gas rumah kaca, penggunaan sumber daya berlebihan, dan kerusakan ekosistem. Buku ini membahas masalah seperti penipisan ozon (akibat penggunaan CFC dalam material bangunan) dan dampak ekstraksi sumber daya seperti bahan bakar fosil. **2.** Konteks Sosial dan Budaya: Arsitektur berkelanjutan harus relevan dengan masyarakat dan budaya setempat, mengakui identitas lokal sambil mengakomodasi perubahan sosial. Contohnya, desain di Thera, Santorini, yang mempertahankan tema vernakular sambil mengintegrasikan teknologi modern seperti pemanas air tenaga surya. **3.** Konteks Ekonomi: Keberlanjutan ekonomi menuntut bangunan memiliki manfaat finansial jangka panjang, seperti rasio manfaat-biaya yang positif. Buku ini menyoroti

pentingnya mempertimbangkan siklus hidup bangunan (*life cycle*) untuk memastikan keberlanjutan ekonomi. **4.** Konteks Global dan Lokal: Desain harus menyeimbangkan kebutuhan global (misalnya, pengurangan emisi karbon) dengan kebutuhan lokal (misalnya, penggunaan material lokal dan respons terhadap iklim setempat). Penerapan pada standar global yang tidak relevan dengan konteks lokal, seperti standar kenyamanan termal ISO 7730 yang mungkin tidak cocok untuk negara dengan kondisi budaya dan ekonomi berbeda.

Berdasarkan penjelasan teori diatas, Arsitektur Berkelanjutan atau biasa disebut dengan *Sustainable Architecture* adalah pendekatan dalam perancangan dan pembangunan bangunan yang mengutamakan efisiensi energi, ramah lingkungan, dan keberlanjutan sumber daya, baik dari segi bahan bangunan, penggunaan energi, air, maupun dampaknya terhadap lingkungan dan manusia.

13.3 Startegi Implementasi Arsitektur Berkelanjutan

Strategi implementasi adalah rencana terstruktur untuk menjalankan suatu program, kebijakan, atau proyek agar mencapai tujuan yang telah ditentukan. Strategi ini mencakup langkah-langkah praktis, sumber daya yang dibutuhkan, pihak yang terlibat, serta indikator keberhasilan.

Strategi Implementasi Arsitektur Berkelanjutan adalah rencana terstruktur dalam pendekatan terpadu untuk merancang, membangun, dan mengelola bangunan dengan mempertimbangkan dampak lingkungan, sosial, dan ekonomi dalam jangka panjang serta mencakup langkah-langkah praktis, sumber daya yang dibutuhkan, pihak yang terlibat, serta indikator keberhasilan.

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan seperti: Etika dalam Arsitektur Berkelanjutan, Pendekatan Sistemik, serta Penerapan Nyata: Green Houses(Williamson, Radford, and Bennetts 2004);

1. Etika dalam Arsitektur Berkelanjutan

Etika memiliki peran kunci dalam arsitektur berkelanjutan, sebagaimana dibahas dalam bab "Ethics":

- a. Etika Lingkungan: Buku ini mengulas beberapa pendekatan etika terhadap lingkungan:
 - *Antroposentris*: Menitikberatkan pada kepentingan manusia, seperti kesejahteraan dan kebahagiaan.
 - Pendekatan Intermediet: Mengakui nilai alam secara intrinsik sambil tetap mempertimbangkan kepentingan manusia.
 - *Deep Environmentalism*: Menyetarakan nilai antara manusia dan alam, serta menekankan pentingnya hidup selaras dengan ekosistem.
- b. Keadilan Antargenerasi: Tantangan utama dalam etika adalah memastikan desain saat ini tidak membebani generasi mendatang, merujuk pada persoalan "*non-identity problem*" yang menggambarkan kompleksitas menilai dampak terhadap generasi yang belum lahir.
- c. Etika Diskursus: mendorong penggunaan etika diskursus ala Habermas, di mana keputusan desain diambil melalui dialog terbuka dan saling menghargai antara para pemangku kepentingan, untuk menghasilkan solusi yang adil dan kontekstual.

2. Pendekatan Sistemik

Dalam "*Systems*", ditekankan bahwa arsitektur berkelanjutan harus dipahami sebagai bagian dari sistem yang lebih besar, yang meliputi lingkungan, masyarakat, ekonomi, bangunan, dan penggunaannya.

- a. Pandangan Sistemik: Bangunan dipandang sebagai sistem terbuka dengan input (seperti energi dan material) serta output (seperti limbah dan emisi). Keberlanjutan menuntut agar input tidak melebihi kapasitas daya dukung lingkungan dan output tidak merusak ekosistem.

- b. Komponen Utama Sistem:
 - 1) Lingkungan: Mengurangi dampak negatif seperti polusi udara, kerusakan keanekaragaman hayati, dan eksploitasi sumber daya.
 - 2) Sosial dan Budaya: Menjamin bangunan mampu mendukung keberlangsungan identitas dan budaya lokal .
 - 3) Ekonomi: Mendesain bangunan yang ekonomis dan menguntungkan dalam jangka panjang .
 - 4) Bangunan dan Pengguna: Mempertimbangkan siklus hidup bangunan dan perilaku penggunanya agar performa dapat dimaksimalkan .
 - c. Penilaian Keberlanjutan: mengusulkan pendekatan *Life Cycle Sustainability Evaluation* (LSE) untuk menilai dampak sosial, ekonomi, dan lingkungan dari bangunan secara menyeluruh .
3. Penerapan Nyata: Green Houses
- "*Green Houses*" memberikan contoh konkret penerapan prinsip arsitektur berkelanjutan dalam desain rumah tinggal, dengan penekanan pada efisiensi energi dan pengurangan emisi gas rumah kaca.
- a. Efisiensi Energi: Rumah didesain agar hemat energi melalui fitur seperti isolasi termal yang baik, penggunaan pemanas air bertenaga surya, serta ventilasi alami.
 - b. Isu Iklim: Dibahas pula bagaimana bangunan berkontribusi terhadap emisi karbon, serta pentingnya kesepakatan seperti Protokol Kyoto (1997) yang menetapkan target pengurangan emisi di negara-negara maju .
 - c. Penilaian Energi Bangunan: menyebutkan sistem seperti *Nationwide House Energy Rating Scheme* (NatHERS) dari Australia untuk mengukur efisiensi energi rumah. Namun, dicatat bahwa perilaku penghuni tetap memengaruhi hasil akhir efisiensi.

Menurut (Paola Sassy 2006), ada 6 Prinsip-Prinsip Arsitektur Keberlanjutan, yaitu;

1. *Land Use* (Tata Guna Lahan) dan *Ecology* (Ekologi)

Menurut Anthony J. Catanese dalam bukunya yang berjudul *Perencanaan Kota*, tata guna lahan adalah salah satu faktor penentu utama dalam pengelolaan lingkungan. Keseimbangan antara kawasan budidaya dengan kawasan konservasi merupakan kunci dari pembangunan berkelanjutan yang berwawasan lingkungan.

Tata guna lahan (*land use*) adalah suatu upaya dalam merencanakan penggunaan lahan dalam suatu kawasan yang meliputi pembagian wilayah untuk pengkhususan fungsi fungsi tertentu, misalnya fungsi pemukiman, perdagangan, industri.

Jenis Tata Guna Lahan;

a. Lahan publik

Lahan publik merupakan sebuah lahan yang memiliki fungsi sebagai keperluan publik, misalnya seperti tempat ibadah, area rekreasi, serta rumah sakit. Tata guna lahan ini diperkenankan untuk keperluan komersil, sebab dapat mengganggu aktivitas orang-orang di dalamnya.

b. Lahan komersial

Jenis tata guna lahan komersial adalah bentuk dari suatu lahan yang dapat digunakan untuk berbagai bentuk penunjang ekonomi seperti perdagangan maupun perusahaan besar.

c. Lahan industri

Jenis tata guna lahan yang berikutnya adalah lahan industri. lahan industri adalah bentuk dari jenis lahan yang tidak semua daerah memperbolehkan perizinan untuk pembangunannya. Lahan industri setidaknya wajib berada pada jarak yang jauh dari perumahan atau permukiman untuk menghindari terjadinya pencemaran yang bisa mengganggu kesehatan penduduknya.

Menurut Permen PU Nomor 20 tahun 2011 tentang Pedoman Penyusunan Rencana Detail Tata Ruang serta

Peraturan Zonasi Kabupaten/Kota, guna lahan dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu: 1. Perumahan 2. Perdagangan serta jasa 3. Pemerintahan 4. Industri 5. Pelayanan umum 6. Ruang terbuka hijau serta non hijau 7. Peruntukan lainnya, peruntukan khusus, serta campuran.

Menurut (Paola Sassy 2006), Isu Strategis dalam *Land Use & Ecology* yaitu;

- a. Penggunaan kembali bangunan yang ada
- b. Kepadatan yang sesuai
- c. Investasi dalam lansekap
- d. Transportasi umum
- e. Rute pejalan kaki baru
- f. Dampak terhadap iklim mikro

Efisiensi Penggunaan Lahan;

- a. Menggunakan seperlunya lahan yang ada sesuai dengan Koefisien Dasar Bangunan (KDB) serta Koefisien Lahan Bangunan (KLH) di wilayah masing-masing. Menggunakan lahan secara efisien, kompak serta terpadu.
- b. Potensi hijau tumbuhan dalam lahan dapat dimaksimalkan dengan berbagai inovasi, misalnya pembuatan atap diatas bangunan (taman atap), taman vertikal (misalnya dengan menggantung pot-pot tanaman pada sekitar bangunan), pagar tanaman atau yang dapat diisi dengan tanaman, dinding dengan taman pada dinding serta sebagainya.
- c. Menghargai kehadiran tanaman yang ada di lahan, dengan tidak mudah menebang pohon-pohon, sehingga tumbuhan yang ada dapat menjadi bagian untuk bangunan.
- d. Desain terbuka dengan ruang-ruang yang terbuka ke taman (sesuai dengan fleksibilitas buka-tutup direncanakan menjadi sebelumnya) inovasi yang dapat untuk mengintegrasikan luar serta dalam bangunan, memberikan fleksibilitas ruang yang lebih besar.

- e. Dalam perencanaan desain, pertimbangkan berbagai hal yang dapat menjadi tolak ukur dalam memanfaatkan berbagai potensi lahan, misalnya; berapa luas serta banyak ruang yang diperlukan.
- f. Dimana letak lahan (dikota atau didesa) serta konsekuensinya bagaimana terhadap desain, bentuk site serta pengaruhnya terhadap desain ruang-ruang, berapa banyak potensi cahaya serta penghawaan alami yang dapat digunakan.

2. Energy (Energi)

Hemat Energi dalam Arsitektur adalah meminimalkan penggunaan energi tanpa membatasi atau merubah fungsi bangunan, kenyamanan, maupun produktivitas penghuninya.

Standar efisiensi energi tertinggi yaitu;

- a. Sumber energi terbarukan
- b. Penggunaan ventilasi alami
- c. Penggunaan energi matahari pasif
- d. Sistem manajemen bangunan yang ramah pengguna
- e. Memanfaatkan suhu tanah yang konstan
- f. Penggunaan tanaman untuk peneduh serta penyejuk

Konsep Bangunan Hemat Energi:

- a. Meminimalkan matahari perolehan
- b. Orientasi bangunan utara-selatan panas
- c. Organisasi Ruang : Aktivitas/ruang utama diletakkan di tengah bangunan, diapit oleh ruang ruang penunjang/service di sisi Timur Barat.
- d. Memaksimalkan pelepasan panas bangunan kemudian menghindari radiasi matahari masuk ke dalam bangunan
- e. Memanfaatkan radiasi matahari secara tidak langsung untuk menerangi ruang dalam bangunan
- f. Mengoptimalkan ventilasi silang untuk bangunan non-AC.
- g. Hindari pemanasan permukaan tanah sekitar bangunan.

3. **Water (Air)**

Air dalam arsitektur keberlanjutan memiliki peran penting sebagai elemen vital yang harus dikelola secara efisien, berkelanjutan, dan selaras dengan lingkungan. Berikut adalah penjelasan mengenai strategi penggunaan air dalam Arsitektur berkelanjutan;

a. Peralatan Hemat Air (*Low-Flow Fixtures*)

- 1) Keran air hemat (aerator): Mengurangi aliran air tanpa mengurangi tekanan.
- 2) *Shower low-flow*: Menekan penggunaan air per menit.
- 3) *Toilet dual-flush / vacuum flush*: Mengurangi air yang terbuang untuk setiap siraman.
- 4) *Efek*: Penghematan air domestik bisa mencapai 30–50%.

b. Pemanfaatan Air Hujan (*Rainwater Harvesting*)

- 1) Sistem penampungan air hujan: Air hujan dari atap dialirkan ke tangki penyimpanan untuk kebutuhan *non-potable* seperti:

- Menyiram tanaman
- *Flushing toilet*
- Mencuci kendaraan atau lantai

- 2) Filter air hujan: Menyaring daun, pasir, dan kotoran sebelum masuk tangki.

Manfaat: Mengurangi tekanan pada pasokan air bersih dan mencegah limpasan air hujan ke saluran kota.

c. Daur Ulang Limbah Cair (*Greywater Recycling*)

- 1) Sumber greywater: Air dari wastafel, shower, dan mesin cuci.
- 2) Pengolahan sederhana: Disaring dan digunakan ulang untuk siram toilet atau menyiram taman.

Catatan: Tidak digunakan untuk konsumsi tanpa pengolahan lanjutan.

d. Desain Lanskap Hemat Air (*Xeriscaping*)

- 1) Tanaman lokal atau tahan kering: Tidak perlu penyiraman berlebihan.

2) Irigasi tetes (*drip irrigation*): Mengalirkan air langsung ke akar tanaman, menghindari penguapan.

3) Mulsa: Menahan kelembaban tanah lebih lama.

Manfaat: Menghemat air sekaligus menciptakan taman yang lebih tahan cuaca.

e. Manajemen Air dalam Bangunan

1) Meteran dan monitoring air: Mengidentifikasi kebocoran atau konsumsi tidak normal.

2) Sistem plumbing efisien: Pipa yang pendek dan terinsulasi baik mengurangi limbah air panas.

3) Atap hijau (*green roof*): Menyerap air hujan, mengurangi limpasan, dan menjaga kelembapan.

f. Standar dan Sertifikasi

1) LEED dan GREENSHIP memberikan poin untuk efisiensi air.

2) SNI terkait sanitasi dan plumbing mendukung penggunaan perangkat hemat air.

3) *WELL Building Standard* juga mencakup aspek kualitas dan efisiensi air bagi kesehatan penghuni.

4. **Health (Kesehatan)**

Aspek kesehatan dalam Arsitektur berkelanjutan

a. Kualitas Udara dalam Ruangan (*Indoor Air Quality*)

1) Ventilasi alami: Menjamin pertukaran udara segar, mengurangi CO₂ dan polutan dalam ruangan.

2) Material rendah VOC: Menghindari bahan bangunan atau furnitur yang melepaskan senyawa organik berbahaya (*Volatile Organic Compounds*).

3) Tanaman dalam ruangan: Membantu menyaring udara dan menciptakan suasana alami.

Manfaat: Mencegah masalah pernapasan, alergi, hingga kelelahan kronis akibat udara buruk.

b. Akses Cahaya Alami dan Pencahayaan Sehat

1) Desain pencahayaan alami (*daylighting*): Menempatkan bukaan jendela, skylight, atau ventilasi cahaya secara optimal.

- 2) Cahaya buatan yang ramah ritme sirkadian: Menghindari lampu terlalu terang atau biru di malam hari.
Manfaat: Meningkatkan produktivitas, suasana hati, dan kualitas tidur.
- c. Pengendalian Kebisingan (Akustik Sehat)
 - 1) Insulasi akustik: Mengurangi kebisingan dari luar atau antar ruang.
 - 2) Material penyerap suara: Mengurangi gema di dalam ruangan (terutama di sekolah, rumah sakit, atau perkantoran).
Manfaat: Meningkatkan kenyamanan mental
- d. Akses Air Bersih dan Sistem Sanitasi Sehat
 - 1) Sistem filtrasi air, pemisahan greywater dan blackwater, serta sanitasi berkelanjutan seperti biopori dan septic tank ramah lingkungan.
 - 2) Material pipa dan tangki yang tidak melepaskan zat berbahaya.
Manfaat: Mencegah penyakit akibat air tercemar, menjaga kebersihan.
- e. Kesehatan Mental dan Kesejahteraan Psikologis
 - 1) Desain biofilik: Integrasi elemen alami (taman, kolam, material kayu/batu alami) dalam ruang.
 - 2) Tata ruang terbuka: Ruang sosial dan interaksi komunitas yang sehat.
 - 3) Ruang pribadi: Memberi rasa aman dan ruang untuk pemulihan emosional.
Manfaat: Mengurangi stres, depresi, dan meningkatkan rasa bahagia.
- g. Desain Inklusif dan Ergonomis
 - 1) Ramah difabel, lansia, dan anak-anak: akses tanpa hambatan, pencahayaan yang cukup, tekstur lantai aman, dll.
 - 2) Desain yang mendorong aktivitas fisik: tangga yang menarik, jalur pedestrian, taman aktif.

5. Material

Dalam arsitektur keberlanjutan, material memegang peranan penting karena berdampak langsung pada jejak lingkungan bangunan, mulai dari produksi, transportasi, pemakaian, hingga akhir daur hidupnya. Berikut adalah beberapa jenis material dalam arsitektur keberlanjutan beserta penjelasannya:

a. Material Ramah Lingkungan (*Eco-Friendly Materials*)

1) Bambu

- Tumbuh cepat, dapat dipanen setiap 3–5 tahun.
- Kuat dan fleksibel.
- Dapat digunakan untuk struktur, lantai, dan dinding.

2) Kayu Bersertifikasi (FSC / SVLK)

- Ditebang secara legal dan berkelanjutan.
- Kayu memiliki karbon embodied yang lebih rendah dibanding beton dan baja.

3) Tanah yang Dipadatkan (*Rammed Earth*)

- Memiliki kemampuan termal tinggi.
- Minim pemrosesan industri, rendah emisi karbon.

b. Material Daur Ulang (*Recycled/Reclaimed Materials*)

1) Baja Daur Ulang

- Dapat didaur ulang berulang kali tanpa kehilangan kualitas.
- Cocok untuk struktur bangunan.

2) Kayu Bekas (*Reclaimed Wood*)

- Mengurangi kebutuhan akan kayu baru.
- Menambah karakter dan estetika rustic.

3) Batu Bata Bekas

- Dapat digunakan kembali dari bangunan lama.
- Mengurangi limbah konstruksi.

c. Material Efisien Energi (*Energy-Efficient Materials*)

1) Insulasi dari Bahan Alami

- Contoh: wol domba, serat selulosa, atau gabus.
- Mengurangi kebutuhan pendingin dan pemanas.

- 2) Kaca Low-E (*Low Emissivity*)
 - Mengurangi panas yang masuk dan keluar.
 - Membantu efisiensi energi pada jendela.
- d. Material Penyerapan dan Pengelolaan Air
 - 1) Paving Permeabel
 - Membantu penyerapan air hujan.
 - Mengurangi limpasan air dan risiko banjir.
 - 2) Atap Hijau (*Green Roof*)
 - Meningkatkan insulasi dan menyerap air hujan.
 - Menyediakan habitat mikro bagi flora/fauna.
- e. Material Lokal (*Locally Sourced Materials*)
 - 1) Mengurangi jejak karbon dari transportasi.
 - 2) Biasanya lebih sesuai dengan iklim lokal.
 - 3) Contoh: batu lokal, pasir lokal, bambu lokal.
- f. Material Non-Toksik dan Aman untuk Penghuni
 - 1) Bebas VOC (*Volatile Organic Compounds*).
 - 2) Contoh: cat berbahan dasar air, perekat organik.
 - 3) Meningkatkan kualitas udara dalam ruangan.

Prinsip Pemilihan Material Berkelanjutan:

Dalam era perubahan iklim dan krisis lingkungan global, dunia arsitektur dituntut untuk tidak hanya menciptakan bangunan yang estetik dan fungsional, tetapi juga yang bertanggung jawab terhadap lingkungan. Salah satu aspek krusial dalam upaya ini adalah pemilihan material bangunan yang berkelanjutan. Material bukan hanya soal tampilan atau kekuatan, tetapi juga jejak ekologis yang ditinggalkannya. Berikut ini merupakan Prinsip-prinsip Material Berkelanjutan;

a. *Renewable* – Dapat Diperbarui

Prinsip pertama dalam memilih material berkelanjutan adalah memastikan bahwa material tersebut dapat diperbarui secara alami. Artinya, sumber material bisa tumbuh kembali dalam waktu yang relatif singkat. Contohnya adalah bambu, yang bisa tumbuh dalam

hitungan tahun, jauh lebih cepat dibandingkan pohon kayu keras seperti jati.

b. *Recyclable* – Dapat Didaur Ulang

Material berkelanjutan idealnya juga dapat didaur ulang di akhir masa pakainya. Ini berarti, setelah bangunan dibongkar, material tersebut masih memiliki nilai guna dan tidak langsung menjadi limbah. Contohnya adalah baja dan aluminium, yang dapat dilebur dan digunakan kembali tanpa kehilangan kualitas strukturalnya.

c. *Durable* – Tahan Lama

Kriteria penting lainnya adalah ketahanan material. Semakin lama sebuah material bertahan, semakin sedikit kebutuhan untuk perbaikan atau penggantian, yang pada akhirnya mengurangi penggunaan sumber daya dan emisi karbon. Batu alam, misalnya, terkenal karena daya tahannya yang bisa mencapai ratusan tahun.

d. *Low Embodied Energy* – Energi Terkandung Rendah

Material berkelanjutan harus memiliki energi terkandung (*embodied energy*) yang rendah, yaitu jumlah energi yang dibutuhkan untuk menambang, memproduksi, dan mengangkutnya. Material seperti tanah yang dipadatkan atau bata tanah liat lokal biasanya memiliki jejak energi yang lebih kecil dibanding beton atau baja.

e. *Locally Sourced* – Bersumber dari Lokal

Memilih material yang tersedia secara lokal mengurangi kebutuhan transportasi jarak jauh, sehingga mengurangi emisi karbon. Selain itu, material lokal biasanya lebih sesuai dengan kondisi iklim dan budaya setempat. Contohnya adalah penggunaan batu alam lokal atau kayu dari hutan setempat yang bersertifikat.

f. *Healthy* – Aman bagi Penghuni dan Lingkungan

Material yang sehat adalah material yang tidak mengandung zat berbahaya seperti formaldehida atau VOC (*Volatile Organic Compounds*). Penggunaan cat berbahan dasar air, perekat non-toksik, dan bahan isolasi alami seperti wol domba, menjadi bagian dari

prinsip ini. Udara dalam ruangan pun menjadi lebih bersih dan aman bagi kesehatan.

Sedangkan menurut (Paola Sassy 2006) penggunaan Material dalam Arsitektur keberlanjutan yaitu;

- a. Bahan Material yang adalah bentuk dari sumber konservasi sumber daya alam
- b. Bahan Material dari penggunaan bahan daur ulang
- c. Bahan Material yang memiliki total energi rendah
- d. Bahan Material terbarukan dari sumber yang dapat diverifikasi
- e. Bahan Material yang tidak terdapat kandungan bahan kimia yang merusak ozon
- f. Bahan Material yang tidak terdapat kandungan senyawa organik yang mudah menguap

Efisiensi Penggunaan Material;

Di tengah meningkatnya kebutuhan pembangunan dan keterbatasan sumber daya alam, efisiensi dalam penggunaan material menjadi salah satu pilar utama dalam arsitektur berkelanjutan. Bangunan bukan hanya harus kuat dan estetik, tetapi juga hemat sumber daya dari tahap desain hingga pelaksanaan konstruksi. Efisiensi penggunaan material bukan sekadar soal penghematan biaya, tapi juga tentang tanggung jawab terhadap lingkungan dan generasi mendatang. Berikut ini efisiensi Penggunaan Material dengan menerapkan Arsitektur berkelanjutan.

a. Desain yang Mengoptimalkan Material

Langkah pertama dalam efisiensi material dimulai dari tahap desain. Seorang arsitek harus mampu merancang bangunan yang:

- 1) Meminimalkan limbah potongan (*offcuts*) dengan menyesuaikan modul desain dengan ukuran material standar.
- 2) Memaksimalkan fungsi dalam luas ruang yang minimal, tanpa mengorbankan kenyamanan.

Dengan pendekatan ini, penggunaan material dapat ditekan tanpa mengurangi kualitas bangunan.

b. Gunakan Material Multifungsi

Efisiensi juga dapat dicapai dengan memilih material yang memiliki lebih dari satu fungsi. Misalnya:

- 1) Dinding bata ekspos berfungsi sebagai struktur sekaligus estetika, tanpa perlu finishing tambahan.
- 2) Atap hijau dapat berfungsi sebagai pelindung, insulasi termal, dan area hijau.

Pendekatan ini mengurangi kebutuhan akan lapisan atau elemen tambahan yang memperbanyak material.

c. Manajemen Limbah Konstruksi

Selama proses pembangunan, banyak material terbuang karena kurangnya perencanaan atau kontrol. Untuk itu, penting menerapkan prinsip:

- 1) *Just-in-time delivery*, agar material tidak menumpuk dan rusak.
- 2) *Reuse* dan *recycle onsite*, seperti memanfaatkan puing beton sebagai agregat atau sisa kayu untuk pelapis.
- 3) Penerapan sistem modular atau prefabrikasi, yang mengurangi potensi kesalahan dan limbah konstruksi.

d. Prioritaskan Material Lokal dan Mudah Diakses

Material lokal tidak hanya ramah lingkungan karena mengurangi emisi transportasi, tetapi juga lebih mudah didapatkan kembali saat dibutuhkan. Hal ini membantu dalam efisiensi logistik, waktu, dan biaya.

Selain itu, penggunaan material lokal sering kali lebih sesuai dengan karakter iklim dan budaya setempat, sehingga memperpanjang usia guna bangunan.

e. Pemeliharaan dan Kemudahan Perbaikan

Efisiensi tidak berhenti pada saat pembangunan selesai. Material yang mudah dirawat, tahan lama, dan mudah diperbaiki atau diganti akan lebih efisien dalam jangka panjang. Artinya, kita tidak perlu mengganti seluruh sistem hanya karena satu komponen rusak.

Contoh: penggunaan panel fasad modular yang bisa dilepas pasang, atau lantai parket yang bisa diamplas dan disegel ulang.

6. Community (Komunitas)

Peran komunitas dalam arsitektur berkelanjutan sangat penting karena keberlanjutan bukan hanya soal bangunan, tetapi juga tentang bagaimana bangunan itu digunakan, dirawat, dan memberi dampak sosial jangka panjang.

Menurut Pola sassi (2006) interaksi Komunitas yang baik dalam Arsitektur keberlanjutan yaitu;

- a. Konsultasi dengan masyarakat setempat
- b. Pengembangan pembangunan mix building
- c. Kontribusi terhadap kesejahteraan ekonomi serta sosial
- d. Fasilitas area yang lebih luas
- e. Ruang fasilitas visual
- f. Keunggulan estetika
- g. Perusahaan berkolaboratif dengan melibatkan semua Pakar berdasarkan tema desain perancangan.

Peran komunitas dalam arsitektur berkelanjutan;

- a. Partisipasi dalam Perencanaan
 - 1) Perencanaan partisipatif: Komunitas dilibatkan sejak tahap awal untuk menyuarakan kebutuhan, budaya, dan nilai lokal.
 - 2) Pemanfaatan pengetahuan lokal: Penduduk biasanya punya pengetahuan tradisional tentang iklim, material, dan tata ruang yang relevan secara ekologis.
- b. Pemanfaatan dan Perawatan Bangunan
 - 1) Penggunaan yang bertanggung jawab: Komunitas yang merasa memiliki akan lebih peduli terhadap pemeliharaan dan efisiensi bangunan.
 - 2) Adaptasi berkelanjutan: Komunitas bisa menyesuaikan bangunan seiring perubahan kebutuhan tanpa merusak prinsip berkelanjutan.

- c. Pendidikan dan Kesadaran Lingkungan
 - 1) Edukasi berkelanjutan: Program pelatihan atau kampanye komunitas tentang hemat energi, daur ulang, dan pengelolaan air.
 - 2) Percontohan perubahan perilaku: Komunitas bisa menjadi agen perubahan budaya menuju gaya hidup ramah lingkungan.
- d. Mendorong Ekonomi Lokal
 - 1) Penggunaan tenaga kerja lokal: Menciptakan pekerjaan saat pembangunan.
 - 2) Pemanfaatan produk lokal: Meningkatkan ekonomi sirkular dan mengurangi jejak karbon.
- e. Ketahanan Sosial dan Iklim
 - 1) Bangunan sebagai pusat komunitas: Desain ruang publik atau komunitas yang inklusif memperkuat kohesi sosial.
 - 2) Ketahanan terhadap bencana: Komunitas yang terlibat dalam desain tanggap bencana lebih siap dalam menghadapi perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Hande Eyüboğlu. 2024. "Tracing the Evolution of Sustainable Architecture AnAnalysis Spanning Five Decades."
- Kurniasih, Sri. 2010. "Evaluasi Tentang Penerapan Prinsip Arsitektur Berkelanjutan (*Sustainable Architecture*) Studi Kasus : Gedung Engineering Center & Perpustakaan Ftui." *Arsitron* 1(1): 11–26. <http://ft.budiluhur.ac.id/wp-content/uploads/2018/01/010105-011026-SKurniasih.pdf>.
- Lewis, Elizabeth, Olivier Chamel, Mahsan Mohsenin, Enn Ots, and Edward T. White.2018. "Hannover Principles." *Sustainaspeak*: 141–141. doi:10.4324/9781315270326-100.
- Obinna Iwuanyanwu, Ifechukwu Gil-Ozoudeh, Azubuike Chukwudi Okwandu, and Chidiebere Somadina Ike.2024. "Cultural and Social Dimensions of Green Architecture: Designing for Sustainability and Community Well-Being." *International Journal of Applied Research in Social Sciences* 6(8): 1951–68. doi:10.51594/ijarss.v6i8.1477.
- Paola Sassy. 2006. "Strategies for Sustainable Architecture." *Sustainability (Switzerland)* 11(1): 1–14. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI.
- Williamson, Terry, Antony Radford, and Helen Bennetts.2004. *Understanding Sustainable Architecture Understanding Sustainable Architecture Is a Review of the Assumptions*.

BIODATA PENULIS



Muhammad Sega Sufia Purnama S.T., M. Ars.

Dosen Program Studi Arsitektur
Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Indraprasta PGRI

Penulis menyelesaikan Pendidikan S1 Arsitektur Universitas Indraprasta PGRI tahun 2013, sempat terjun di dunia praktisi dan mendesain bangunan tempat tinggal. Dilanjutkan dengan jenjang S2 magister Arsitektur konsentrasi Arsitektur dan Sustainabilitas di Universitas Indonesia yang diselesaikan pada tahun 2018. Setelah lulus lebih fokus ke penelitian pada bidang Teknologi Bangunan. Pernah mengikuti beberapa konferensi baik nasional maupun internasional. Tulisan yang dibuat sudah dimuat di jurnal bereputasi nasional. Saat ini aktif mengajar mata kuliah struktur, teknologi bangunan dan fisika bangunan.

BIODATA PENULIS



Wahyu Saputra, S.Pd., M.Arch.

Dosen Teknik Arsitektur
Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo

Penulis lahir di Pinrang tanggal 09 Januari 1993. Penulis adalah dosen pada Program Studi Teknik Arsitektur Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar pada Tahun 2015 dan melanjutkan S2 pada Jurusan Magister Arsitektur Fakultas Teknik di Universitas Gadjah Mada pada Tahun 2017. Penulis berperan aktif dalam mengelola jurnal terakreditasi. Penulis aktif dalam melakukan penelitian kolaboratif. Alamat email wahyusaputra@ung.ac.id

BIODATA PENULIS



Asri Afriliany Surbakti, S.T., M.T.

Dosen Program Studi DIV Manajemen dan Rekayasa Konstruksi
Bangunan (MRKG)
Fakultas Teknik Sipil Politeknik Negeri Medan

Penulis lahir di Medan tanggal 23 April 1990. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi DIV Manajemen dan Rekayasa Konstruksi Bangunan (MRKG) Fakultas Teknik Sipil Politeknik Negeri Medan. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Arsitektur dan melanjutkan S2 pada Program Studi Manajemen Konstruksi Fakultas Teknik. Penulis menekuni bidang manajemen konstruksi yang berfokus pada pembangunan berkelanjutan, sehingga pada kegiatan penelitian dan pengabdian, penulis banyak mengarahkan perhatian pada isu-isu terkait keberlanjutan dalam sektor konstruksi. Saat ini, penulis juga tengah memperluas lingkup kajiannya dengan mengintegrasikan prinsip pembangunan berkelanjutan ke dalam pengembangan infrastruktur desa, sebagai upaya mendukung pembangunan wilayah secara inklusif dan ramah lingkungan.

BIODATA PENULIS



Abdi Gunawan Djafar, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Arsitektur
Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo

Penulis lahir di Gorontalo tanggal 23 Maret 1987. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi S1 Teknik Arsitektur, Universitas Negeri Gorontalo. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Arsitektur Institut Teknologi Nasional Malang dan melanjutkan S2 pada Jurusan Arsitektur Institut Teknologi Bandung. Penulis menekuni bidang sains bangunan, penerapan energi terbarukan pada bangunan, desain parametris, dan juga bidang arsitektur lokal.

BIODATA PENULIS



Wakyudi,SP,.MSi

Dosen Program Studi Arsitektur

Fakultas Sains dan Teknik Universitas Faletehan Serang

Penulis lahir di Cikeusik, Kabupaten Pandeglang Provinsi Banten pada tanggal 14 Maret 1987. Penulis menyelesaikan pendidikan Sarjana Jurusan Agroteknologi Universitas Sultang Ageng Tirtayasa Serang pada Tahun 2013 dan menamatkan jenjang Magister Arsitektur Lanskap di Institut Pertanian Bogor pada Tahun 2016. Penulis memulai karir di dunia pendidikan sejak Tahun 2020 sebagai pengajar pada Program Studi Arsitektur di Institut Teknologi dan Bisnis Ahmad Dahlan Jakarta dan pada Tahun 2023 penulis diterima sebagai Dosen Program Studi Arsitektur Fakultas Sains dan Teknik Universitas Faletehan. Selain mengajar penulis aktif diberbagai kegiatan jasa konsultan kontruksi serta menekuni kegiatan jurnalistik/wartawan dan tergabung pada media lokal di Banten. Selain itu, Penulis aktif diberbagai kegiatan menulis di media lokal dan hadir diberbagai forum diskusi sebagai pengamat Tata Ruang dan Kota.

BIODATA PENULIS



Rahmayanti, S.T.,M.T

Dosen Program Studi Teknik Arsitektur
Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo

Penulis lahir di Bone tanggal 23 Agustus 1987. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Arsitektur Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Arsitektur Universitas Sam Ratulangi dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Arsitektur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis menekuni bidang Sains Bangunan.

BIODATA PENULIS



Ir. Nova Purnama Lisa, S.T., M.Sc

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Samudra

Penulis lahir di di Langsa tanggal 22 Nov 1980. Menyelesaikan Program Pascasarjana Program Studi Arsitektur Universitas Gadjah Mada (UGM). Menempuh studi Strata-1 pada Jurusan Arsitektur Universitas Syiah Kuala (USK), Sejak tahun 2008-2019 aktif sebagai dosen pada Prodi Arsitektur Universitas Malikussaleh (UNIMAL). Saat ini bertugas pada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Samudra (UNSAM). Berperan aktif sebagai pengurus Ikatan Peneliti Lingkungan Binaan Indonesia (IPLBI).

BIODATA PENULIS



Ar. Mercyana Trianne Zebua, ST., M.Si, IAI, GP

Dosen Program Studi Arsitektur
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Sains dan Teknologi Jayapura

Penulis lahir di Jayapura tanggal 7 Februari 1973. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Arsitektur Universitas Sains dan Teknologi Jayapura. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Arsitektur Universitas Indonesia dan pendidikan S2 pada Jurusan Magister Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan Universitas Cenderawasih. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: mercyanatrianne.zebua@gmail.com

BIODATA PENULIS



Niniek Pratiwi, S.T., M.T.

Dosen Program Studi D4 Arsitektur Bangunan Gedung
Program Vokasi Universitas Negeri Gorontalo

Merupakan alumni S1 dan S2 dari Universitas Hasanuddin, dan saat ini tercatat sebagai dosen jurusan arsitektur Universitas Negeri Gorontalo. Penulis mempunyai keahlian di bidang Sains dan Teknologi Bangunan dan memiliki ketertarikan di bidang Material Maju dan saat ini sudah memiliki penelitian-penelitian terkait Sains dan Teknologi Bangunan. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: niniek@ung.ac.id

BIODATA PENULIS



Gusniyati Buhari, S.T., M. Arch.

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Sains dan Teknologi

Penulis lahir di Pepuro tanggal 17 Agustus 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Enrekang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Arsitektur dan S2 pada Jurusan Arsitektur dan Perencanaan. Sementara ini melanjutkan S3 pada Ilmu Arsitektur di Universitas Hasanuddin.

BIODATA PENULIS



DR. Anton Kaharu, A.Ma.T.S, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo

Dr. H. Anton Kaharu, A.Ma.T.S., S.T., M.T. Associate Professor Departement of Civil Engineering, State University of Gorontalo. Lahir di Gorontalo Tahun 1968. Bidang keahlian yang ditekuni Rekayasa Transportasi, Geografi Transportasi, Pengindraan Jauh (Remote Sensing), Perencanaan & Pengembangan Wilayah, serta Filsafat Teknologi. Mengampu mata kuliah; Perancangan Transportasi, Perancangan Geometrik Jalan, Jalan Rel, Teknik Jembatan, Bandar Udara, Pelabuhan, Metode Numerik, Algoritma & Pemrograman dan Kerja Praktek. Capaian Karya Buku yang pernah ditulis 14 (empatbelas) buku referensi dan book chapter. Buku terbaru yang telah ditulis berjudul; Geometrik Jalan (2025); Dasar-Dasar Pengeloaan Hasil Pertanian (2025); Implementasi Sistem Transportasi Cerdas (2025); Eksplorasi Beton dalam Aristektur dan Teknik Sipil (2025); Pencemaran Udara dan Mitigasi Lingkungan (2025); Perencanaan & Pemodelan Transportasi (2025); dan Transportasi Perkerasan Jalan (2025). Selain sebagai akademisi, juga berkecimpung sebagai Konsultan Teknis dalam bidang Rekayasa Transportasi, Perencanaan Wilayah & Kota, Sistem Informasi Geografis dan AMDAL. Proyek-proyek yang pernah

ditangani sebagai ketua tim ahli konsultan dalam kurun waktu tahun 2020-2023, antara lain proyek; “Penyusunan Sistem Informasi/Data Base Jalan”; “Penyusunan Dokumen Upaya Pengelolaan Lingkungan dan Upaya Pemantawan Lingkungan (UKL & UPL)”; “Penyusunan Detail Engineering Design (DED) Renovasi Lapangan Sepak Bola, Tribun Stadion Merdeka, Pelataran Parkir Stadion Merdeka dan Gedung Olah Raga (GOR) Nani Wartabone”; dan “Penyusunan Studi Jaringan Trayek AKDP” di Provinsi Gorontalo. Di bidang organisasi profesional, selama ini aktif sebagai Pengurus Persatuan Insinyur Indonesia (PII); Ikatan Nasional Tenaga Ahli Konsultan Indonesia (INTAKINDO); Perkumpulan Ahli Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Indonesia (PAPTEKINDO); dan Pengurus Wilayah Ikatan Geograf Indonesia (IGI) di Provinsi Gorontalo.

E-mail: anton.kaharu@ung.ac.id/ antonkaharu68@gmail.com

BIODATA PENULIS



Nunik Hasriyanti, ST., MT.

Dosen Program Studi Rancang Kota (DKB)
Politeknik Negeri Pontianak

Penulis lahir di Pontianak tanggal 13 Mei 1976. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Desain Kawasan Binaan Jurusan Teknik Arsitektur, Politeknik Negeri Pontianak. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Arsitektur Universitas Islam Indonesai dan melanjutkan S2 pada Jurusan Rancang Kota ITB. Pengalaman dan karya di bidang penelitian dan pengabdian sudah banyak dilakukan oleh penulis terutama yang berkaitan dengan bidang arsitektur dan perancangan kota / kawasan sejak tahun 2007. Riset yang diperoleh merupakan riset dari Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan dan LPDP. Riset yang dilakukan 5 tahun terakhir adalah Rancang Kawasan Konservasi Pesisir Randayan sebagai Desa Wisata Bahari yang Digitalized berbasis Ekonomi Kreatif dengan SIG-GIS di Desa Pulau Lemukutan (LPDP, 2022), Studi Pola Arah Tata Ruang Berbasis Mitigasi Bencana Akibat Kenaikan Muka Air Laut Pada Kawasan Pesisir Kalimantan Barat (Simlitabmas Ristek BRIN, 2019-2021), Rancang Bangun Spasial Koridor WPU Ambawang Yang Berkelanjutan Menuju Pembangunan Kota Ekologis (Simlitabmas Ristek BRIN, 2018-2019), Perancangan Pengelolaan Air Pada Permukiman Tepian Sungai Kapuas

Pontianak Dengan Pendekatan Konsep Water Sensitive Urban Design (Simlitabmas Ristek BRIN, 2017-2018), Rancang Bangun Pemekaran Fisik Kota Pada Koridor Ambawang Dengan Metode AHP (Simlitabmas Ristek BRIN, 2016-2017). Selain itu beberapa judul buku sudah dihasilkan oleh penulis yaitu Ekowisata Sungai Kapuas (2014), Telaah Arsitektur Berlanggam Melayu pada Rumah Tradisional Melayu di Koridor Sungai Kapuas (2008), Citra Arsitektur dan Elemen Estetika Bentuk Rumah Tradisional Melayu di Tepian Sungai Kapuas Pontianak (2008). Analysis Disaster Vulnerability Capacity in Mempawah Hilir Subdistricts (2019). Jurnal dan artikel ilmiah juga sudah banyak ditulis, bisa dilihat dalam googlescholar Nunik Hasriyanti (<https://scholar.google.com/citations?user=uGGSONYAAAAJ&hl=en&oi=ao>). Email untuk korepondensi : nayla_koe@yahoo.com atau nunikhasriyanti@polnep.ac.id

BIODATA PENULIS



Ghina Rizqandi Qurrota Aýun,ST.,M.Arch

Dosen Program Studi Arsitektur
Fakultas Fakultas Sains dan Teknik
Universitas Faletehan

Penulis lahir di Serang tanggal 19 September 1986. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Arsitektur Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Faletehan.

Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Arsitektur, Universitas Islam Indonesia dan melanjutkan S2 pada Jurusan Arsitektur, Universitas Gadjah Mada.

Sebelumnya Penulis bekerja di Biro Konsultan Arsitektur serta Biro Konsultan Pariwisata.

Saat ini, selain menjadi Dosen tetap, Penulis juga menekuni bidang Menulis dengan Minat penelitiannya meliputi topik Perencanaan Arsitektur, Arsitektur Berkelanjutan, dan Perencanaan Arsitektur Pariwisata di Indonesia.

Penulis dapat dihubungi melalui email: ghinar1909@gmail.com