

FISIKA BANGUNAN

Muhammad Syarif, Andiyan,
Muhammad Segi Sufia Purnama, Retno Puspaningtyas,
Christy Gery Buyang, Fauzan A. Sangadji,
Apridus Kefas Lapenangga, Vita Fajriani Ridwan



FISIKA BANGUNAN

**Muhammad Syarif
Andiyan
Muhammad Sega Sufia Purnama
Retno Puspaningtyas
Christy Gery Buyang
Fauzan A. Sangadji
Apridus Kefas Lapenangga
Vita Fajriani Ridwan**



GETPRESS INDONESIA

FISIKA BANGUNAN

Penulis :

Muhammad Syarif
Andiyan
Muhammad Segi Sufia Purnama
Retno Puspaningtyas
Christy Gery Buyang
Fauzan A. Sangadji
Apridus Kefas Lapenangga
Vita Fajriani Ridwan

ISBN : 978-623-125-279-1

Editor : Mila Sari, M.Si.

Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

Penyunting: Yuliatrini Novita, M.Hum.

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

Penerbit: CVGETPRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi:

Jl. Palarik RT 01 RW 06, Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tengah, Padang, Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id

email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Juli 2024

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

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul Fisika Bangunan dapat diselesaikan dengan kerjasama tim penulis. Fisika Bangunan merupakan buku yang membahas mengenai konsep dasar fisika bangunan, rambatan bunyi pada bangunan, akustik lingkungan interior dan eksterior, radiasi matahari, pencahayaan alami dan buatan, penghawaan bangunan, ventilasi bangunan, dan *green building*.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Padang, Juli 2024
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR..... i

DAFTAR ISI ii

DAFTAR GAMBAR..... v

DAFTAR TABEL vii

BAB 1 KONSEP DASAR FISIKA BANGUNAN..... 1

1.1 Pendahuluan..... 1

1.2 Tahap Perancangan Bangunan..... 3

1.3 Kesimpulan 14

DAFTAR PUSTAKA 15

BAB 2 RAMBATAN BUNYI PADA BANGUNAN 17

2.1 Pemantulan Bunyi 17

2.2 Penyerapan Bunyi 19

2.2.1 Pengertian Penyerapan Bunyi 19

2.2.2 Konstituen Penyerapan Suara 20

2.3 Bahan Akustik dan Teknik Bangunan..... 20

2.3.1 Zat yang Dapat Ditembus..... 20

2.3.2 Ada Tiga Kategori Berbeda yang Dapat Diklasifikasikan
Sebagai Bahan Berpori Komersial 20

2.4 Panel Penyerap atau Membran Penyerap..... 21

2.5 Resonator Rongga atau Helmholtz 21

2.6 Isolasi Bunyi 23

2.6.1 Pengertian Isolasi Bunyi 23

2.7 Getaran pada Bangunan..... 23

2.7.1 Pengertian getaran..... 23

2.7.2 Penyebab Getaran pada Bangunan 23

2.8 Dampak Getaran pada Bangunan..... 24

2.9 Strategi untuk Mengurangi Gangguan Getaran Suara..... 25

2.10 Kebisingan pada Bangunan..... 25

2.11 Pengendalian Kebising..... 27

2.11.1 *Airborne Sound*..... 27

2.11.2 *Structureborne Sound*..... 27

DAFTAR PUSTAKA 29

BAB 3 AKUSTIK LINGKUNGAN INTERIOR DAN EKSTERIOR..... 31

3.1 Pendahuluan..... 31

3.2 Akustik Lingkungan Eksterior 33

3.3 Akustik Lingkungan Interior 36

3.4 Ruang Akustik Ideal..... 38

3.5 Cacat Akustik..... 44

3.3 Strategi Penanganan Kebisingan..... 45

DAFTAR PUSTAKA 47

BAB 4 RADIASI MATAHARI..... 49

4.1 Pendahuluan..... 49

4.2 *Solar Shading*..... 52

4.3 Vegetasi Sebagai Peneduh	54
4.4 Material dan Warna pada Material.....	56
DAFTAR PUSTAKA	62
BAB 5 PENCAHAYAAN ALAMI DAN BUATAN	65
5.1 Pengertian Pencahayaan	65
5.2 Sumber Pencahayaan	65
5.2.1 Pencahayaan Alami (<i>Natural lighting</i>).....	66
5.2.2 Pencahayaan Buatan (<i>Artificial lighting</i>)	67
5.3 Perhitungan Pencahayaan	72
5.3.1 Perhitungan Tingkat Pencahayaan Buatan	72
DAFTAR PUSTAKA	77
BAB 6 PENGHAWAAN BANGUNAN.....	79
6.1 Penghawaan Alami.....	79
6.1.1 Manfaat Penghawaan Alami.....	85
6.1.2 Keuntungan Penghawaan Alami	85
6.1.3 Kerugian Penghawaan Alami.....	86
6.1.4 Contoh Penghawaan Alami.....	87
6.2 Penghawaan Buatan.....	89
6.2.1 Manfaat.....	91
6.2.2 Keuntungan	92
6.2.3 Kerugian.....	92
6.2.4 Contoh Penghawaan Buatan	93
DAFTAR PUSTAKA	98
BAB 7 VENTILASI BANGUNAN.....	99
7.1 Pendahuluan	99
7.2 Manfaat Ventilasi Pada Bangunan	101
7.3 Kenyamanan Termal.....	103
7.4 IAQ (<i>Indoor Air Quality</i>).....	103
7.5 Ventilasi Alami	104
7.6 Ventilasi Lantai dan Dinding.....	105
7.7 <i>Cross Ventilation</i> (Ventilasi Silang).....	108
7.8 Ventilasi Atap.....	109
7.9 <i>Stack Effect</i> (Efek Tumpukan)	111
7.10 Ventilasi Buatan	112
7.10.1 HVAC (<i>Heating Ventilation and Air-Conditioning</i>)	113
7.10.2 <i>Cooling System</i>	114
7.10.3 <i>Hybrid Ventilation System</i>	115
DAFTAR PUSTAKA	117
BAB 8 GREEN BUILDING.....	123
8.1 Pendahuluan	123
8.2 Konsep <i>Green Building</i>	124
8.3 Desain <i>Green Building</i>	127
8.4 Penerapan <i>Green Building</i> pada Arsitektur Vernakular.....	130
8.5 Aplikasi Perangkat Lunak dalam <i>Green Building</i>	132
8.6 Tantangan dalam Penerapan <i>Green Building</i>	135

8.7 Penutup	136
DAFTAR PUSTAKA	137
BIODATA PENULIS	139

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Temperatur Warna	8
Gambar 1. 2 Intensitas Cahaya Lampu	9
Gambar 1. 3 Bentuk Pencahayaan Langsung Berfungsi Umum	10
Gambar 1. 4 Bentuk Pencahayaan Langsung	10
Gambar 1. 5 Bentuk Pencahayaan Tidak Langsung Sebagai Dekoratif Ruangan	11
Gambar 1. 6 Rambatan Gelombang Transversal	13
Gambar 1. 7 Rambatan Gelombang Longitudinal dari Sumber Bunyi	14
Gambar 2. 1 Plafon Reflektif yang Diposisikan Secara Strategis, Pemantulan Suara yang Disempurnakan Ke Lokasi Yang Jauh	18
Gambar 2. 2 Penyerapan Bunyi	19
Gambar 2. 3 Resonator Rongga	22
Gambar 2. 4 Lapisan Galar/Irisan Kayu Di Auditorium Serbaguna Montreal, +Liasoph Dan /Erkowitz Karya Arsitek L.L. Doelle.	22
Gambar 2. 5 Penyebab Utama Kebisingan dalam Sistem Konservasi Udara ...	24
Gambar 3. 1 Susunan Molekul Udara yang Berubah Akibat Getaran	31
Gambar 3. 2 Rentang Frekuensi yang Dapat Didengar Oleh Manusia	32
Gambar 3. 3 Tiga Aspek Terkait Bunyi	33
Gambar 3. 4 Skema Penyebaran Bunyi pada Ruang Terbuka	33
Gambar 3. 5 Skema Penyebaran Bunyi pada Ruang Terbuka dengan Memiringkan Tempat Duduk	34
Gambar 3. 6 Skema Peletakan Reflektor Dibelakang Panggung Sekaligus Penutup Membuat Suara Mengarah Ke Audien	34
Gambar 3. 7 Ampiteater Di Pompeii Italia. Dibangun Tahun 70 Sm	35
Gambar 3. 8 Ampiteater Masa Modern, Bali	36
Gambar 3. 9 Peristiwa Akustik dalam Ruang	37
Gambar 3. 11 Bentuk Denah Auditorium untuk Minimalisasi Kehilangan Tansmisi Bunyi	40
Gambar 3. 12 Bentuk Denah Dibuat Trapesium dan Ditambahkan Balkon ...	40
Gambar 3. 13 Pengkondisian Ruang Auditorium untuk Memaksimal -kan Penerimaan	41
Gambar 3. 14 Bentuk Reflektor Dan Karakter Pemantulan Yang Terjadi	42
Gambar 3. 15 Contoh Difuser pada dinding dan plafon auditorium	42
Gambar 3. 16 Diagram Waktu Dengung	43
Gambar 4. 1 Overhang Sebagai Solar Shading Sebagai Peneduh Eksterior Pada Jendela	52
Gambar 4. 2 Berbagai Tipe Desain <i>Solar Shading</i> Pada <i>Lawrence Berkeley Lab's "Tips For Daylighting With Windows"</i>	53
Gambar 4. 3 Ilustrasi Penggunaan Pepohonan, Taman Vertikal Dan Atap Hijau Sebagai Metode Untuk Mengurangi Panas Radiasi Matahari	54

Gambar 5. 1 Pergerakan Matahari di Indonesia.....67

Gambar 5. 2 *Indirect Lighting*68

Gambar 5. 3 *Semi Indirect Lighting*69

Gambar 5. 4 *Semi Direct Lighting*69

Gambar 5. 5 *Direct Lighting*70

Gambar 5. 6 General Diffused Lighting.....71

Gambar 5. 7 Indeks Ruangan.....74

Gambar 5. 8 Tipikal Rasio Reflektansi Permukaan Ruang.....75

Gambar 5. 9 Tingkat Pencahayaan Minimum yang Direkomendasikan76

Gambar 6. 1 Posisi Bukan yang Benar84

Gambar 6. 2 Denah Bukan dan Pergerakan Angin84

Gambar 6. 3 Jenis Bukan Jendela.....87

Gambar 6. 4 Jenis Bukan Jendela.....88

Gambar 6. 5 Jenis Bukan Jendela.....89

Gambar 6. 6 *AC Window*93

Gambar 6. 7 *AC Split*.....94

Gambar 6. 8 *AC Centarl*95

Gambar 6. 9 *Air Cooler*.....95

Gambar 6. 10 *Exhaust Fan*96

Gambar 6. 11 Kipas Angin.....97

Gambar 7. 1 Ventilasi Sebagai Kontrol Asap dan Polusi102

Gambar 7. 2 Dinding Berpori Sebagai Ventilasi Alami105

Gambar 7. 3 Ilustrasi Pergerakan Udara Pada Amu Rukoko.....106

Gambar 7. 4 Aliran Udara Konveksi.....107

Gambar 7. 5 Tipe Jendela dan Aliran Udara.....108

Gambar 7. 6 Ventilasi Silang Pada Unit Apartemen.....109

Gambar 7. 7 Ventilasi Atap109

Gambar 7. 8 Simulasi Pola Pergerakan Udara Dengan Ventilasi Atap110

Gambar 7. 9 Stack Effect Dengan Penambahan Ventilasi Atap112

Gambar 7. 10 Perangkat Ventilasi Ahu Dengan Saluran Pasokan
Pada Rongga Langit-Langit115

Gambar 7. 11 Sistem Ventilasi Campuran116

Gambar 8. 1 Konsep *Green Building*.....125

Gambar 8. 2 Alternatif Sistem *Recycle Air Bersih*.....126

Gambar 8. 3 Pendekatan Perencanaan *Green Building*.....128

Gambar 8. 4 Konsep Arsitektur Vernakular di Indonesia130

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Nilai Koefisien Absortan Radiasi Matahari 58

Tabel 4. 2 Nilai Absortan Radiasi Matahari Berdasarkan Warna Cat..... 58

Tabel 8. 1 Aplikasi Perangkat Lunak Dalam *Green Building*133

BAB 1

KONSEP DASAR FISIKA BANGUNAN

Oleh Muhammad Syarif

1.1 Pendahuluan

Pesatnya pembangunan gedung, perumahan/ permukiman dan infrastruktur adalah merupakan realisasi kepedulian dan kebutuhan masyarakat dunia saat ini, dimana pertumbuhan penduduk Indonesia saja dalam kurung waktu 5 (lima) tahun terakhir menurut data Statistik Indonesia tahun 2018 dan 2023 (*Statistical Yearbook of Indonesia*, tahun 2018 dan 2023), jumlah penduduk pada tahun 2017 mencapai 261 juta jiwa dan pada tahun 2022 mencapai 275 juta jiwa. Hal ini menandakan lonjakan pertumbuhan penduduk Indonesia yang sangat signifikan dalam rentang waktu lima tahun.

Pertumbuhan jumlah penduduk Indonesia yang begitu pesat tersebut sudah selayaknya disikapi dengan pertumbuhan dan pemenuhan jumlah sandang, pangan dan perumahan/ permukiman yang berbanding lurus dengan pertumbuhan jumlah penduduk. Dewasa ini Pemerintah Indonesia bersama pihak swasta telah melakukan pembangunan infrastruktur, perumahan/permukiman, gedung-gedung dan apartemen pada berbagai pelosok tanah air. Namun terkhusus untuk bangunan perumahan/permukiman yang menjadi pertanyaannya adalah sejauhmana kelayakan bangunan tersebut untuk dapat dihuni oleh manusia sebagai rumah tinggal. Demikian pula halnya terhadap bangunan gedung, seperti apartemen dan bangunan-bangunan gedung lainnya.

Dalam perencanaan bangunan permukiman dan bangunan gedung baik yang berlantai satu maupun yang berlantai banyak maka berbagai hal yang perlu menjadi tinjauan seorang perencana. Hal ini dimaksudkan agar kenyamanan bagi pemilik, pemakai/pengguna bangunan setelah bangunan tersebut didirikan dapat tercapai sesuai rencana awal.

Indonesia sebagai negara yang berada didaerah garis khatulistiwa yang memiliki iklim tropis dimana dalam sepanjang tahunnya memiliki musim kemarau dan musim hujan yang relatif tinggi. Oleh karenanya dalam membuat perencanaan bangunan maka tinjauan terhadap iklim sangat perlu menjadi perhatian utama pihak perencana.

Kenyamanan termal sangat dibutuhkan oleh manusia untuk menjalankan aktifitas secara optimal. Hal ini sebagai dampak atas peningkatan suhu bumi, yang telah mendorong manusia untuk mengurangi aktivitas di luar ruangan dan lebih banyak menghabiskan waktu di dalam ruangan (Silfiyana dkk, 2021). Kenyamanan termal adalah unsur krusial karena berkaitan dengan suhu ruangan yang nyaman. Manusia merasakan panas atau dingin melalui sensor perasaan pada kulit sebagai tanggapan terhadap suhu sekitarnya (james, 2008). Karakteristik fisik permukaan kota, seperti konfigurasi bangunan, bahan bangunan, dan ukuran bangunan, dapat memengaruhi kualitas lingkungan termal, (Rendy dkk, 2010).

Ilmu fisika bangunan dapat dinyatakan sebagai serangkaian ilmu pengetahuan yang berorientasi mempelajari dan menganalisis segala bentuk pengendalian fenomena fisika terkait perancangan bangunan dan pembangunan hasil perancangan yang berhubungan erat dengan sistem pengkondisian ruang, sistem pencahayaan, sistem akustik, energi bangunan, bahan bangunan dan keamanan terhadap dampak bencana.

1.2 Tahap Perancangan Bangunan

Ketika perencana ingin merancang dan mendesain bangunan maka dipandang perlu agar memiliki pemahaman agar bagaimana menciptakan suatu desain yang ketika selesai dilakukan pembangunannya maka hasil rancangan tersebut memberikan nilai kenyamanan, estetik dan kekokohan.

Dengan mempelajari, memahami dan memanfaatkan ilmu fisika bangunan maka diharapkan seorang perencana akan mampu mengaplikasikan metode-metode perancangan kenyamanan bangunan. Dengan ilmu fisika bangunan akan menuntun perencana maupun calon perencana agar dapat memahami beberapa hal terkait fisibilitas bangunan yang antara lain meliputi pengkondisian ruang, Pencahayaan bangunan (*building lighting*), kebisingan bangunan (*building noise*) dan beberapa hal lain terkait kelayakan pemanfaatan bangunan dan ruang.

a. Pengkondisian ruang

Pengkondisian ruang bertujuan untuk memperoleh kenyamanan termal. Kenyamanan termal disebut juga sebagai ungkapan psikologis kepuasan fisiologi manusia terhadap temperatur lingkungan sekitarnya. Secara empiris indikator pengukuran kenyamanan termal lingkungan adalah keseimbangan antara suhu udara dengan suhu tubuh manusia. Kondisi lingkungan dapat berupa lingkungan diluar bangunan (*outdoor*) dan lingkungan didalam bangunan (*indoor*).

Lingkungan luar bangunan cenderung dipengaruhi oleh kondisi alam dan kondisi mekanis peralatan/mesin ataupun suhu dari kendaraan. Sedang kondisi dalam bangunan cenderung dipengaruhi oleh dua faktor yaitu yang berasal dari luar bangunan (*factors outside the building*) yang terperangkap didalam bangunan dan faktor yang murni berasal dari dalam bangunan itu sendiri (*factors within the*

building). Faktor dari luar bangunan dapat berupa terperangkapnya suhu panas dari luar bangunan atau suhu dingin secara alami sebagai akibat tidak adanya atau tidak maksimalnya bukaan udara untuk menyalurkan pertukaran udara (*cross ventilation*). Terperangkapnya suhu panas didalam ruang akan mengakibatkan meningkatnya atau menurunnya kelembaban ruang.

Pengkondisian ruang yang baik adalah tercapainya keseimbangan antara suhu udara ruang dengan kelembaban ruang yang relatif serta kecepatan pengaliran udara dan perpindahan panas ruang. Pengkondisian ruang disebut juga pengendalian ruang. Secara umum pengkondisian ruang dapat dicapai melalui dua cara yaitu pengendalian suhu ruang dan pengendalian kelembaban ruang.

- Pengendalian suhu ruang

Pengendalian suhu ruang dapat dicapai secara alami dan secara buatan. Secara alami adalah dengan memanfaatkan penghawaan udara alami melalui penempatan bukaan jendela/ventilasi pada posisi yang tepat beserta jumlah luasan bukaan yang sesuai dengan volume ruang. Apabila suatu bangunan direncanakan menggunakan sistem penghawaan alami maka penempatan bukaan agar dibuat secara silang (*cross*), hal ini untuk memudahkan terjadinya pertukaran udara dari luar ruangan terhadap udara didalam ruangan. Selain itu dapat ditunjang dengan penempatan plafond (*ceiling*) yang lebih tinggi agar radiasi suhu panas yang bersumber dari atas plafond (dibawah atap) lebih jauh dari permukaan lantai ruang sehingga memungkinkan suhu panas dapat tereduksi dengan hembusan angin melalui *cross ventilation*. Pemilihan bahan plafond agar menggunakan bahan yang tidak bersifat memantulkan

kalor (energi panas) pada ruang tetapi sebaiknya yang berbahan menyerap

Pengendalian suhu ruang secara buatan dapat dicapai dengan mengkondisikan suhu ruang melalui perangkat penyebar udara ruang yaitu AC (*air condition*). Suatu bangunan yang suhu udaranya dikondisikan dengan AC maka sedapat mungkin mengurangi bukaan jendela/ventilasi, hal ini dimaksudkan agar udara yang dikondisikan yang berasal dari perangkat AC tidak berhembus keluar ruangan, demikian pula suhu/udara panas dari luar ruangan tidak berhembus masuk kedalam ruangan. Adapun terhadap plafond (*ceiling*) agar sedapat mungkin dibuat lebih rendah agar volume hembusan udara dari AC dapat dimaksimalkan serta untuk mengurangi beban AC atas ketidaksesuaian besaran volume ruangan.

- Kelembaban ruang

Tingginya kelembaban udara dalam ruang dapat mengakibatkan terbentuknya jamur dan bau yang kurang sedap di dalam ruang, hal ini diakibatkan karena tingginya kandungan molekul air didalam ruangan tersebut yang berinteraksi dengan benda-benda dalam ruangan. Oleh karenanya kualitas bangunan akan berkurang apabila dalam bangunan tersebut terbentuk kelembaban udara yang tinggi.

Secara terminologi, dikenal ada dua kelembaban udara yang sering digunakan yaitu :

- Kelembaban spesifik (*specific humidity*), yaitu kelembaban udara yang diperoleh dari massa uap yang terkandung dalam setiap massa udara yang bervariasi.

- Kelembaban relatif (*relatif humidity*), yaitu kelembaban udara yang diperoleh dari perbandingan nilai tekanan uap saturasi dengan nilai tekanan uap dimana tekanan total sama besarnya dengan suhu yang terbentuk.

b. Pencahayaan bangunan (*building lighting*)

Pencahayaan bangunan merupakan indikator penting kelayakan fungsi bangunan. Pencahayaan tidak hanya sebagai penerang semata, tetapi lebih dari itu dalam menunjang pengkondisian ruang dan kelembaban ruang. Bangunan yang tidak memaksimalkan pencahayaannya khususnya pencahayaan alami maka sangat menunjang tumbuh dan berkembangnya jamur serta bakteri dalam ruang bahkan membentuk ruang terasa pengab sehingga kenyamanan ruanganpun tidak akan tercapai.

Untuk mendapatkan kualitas dan distribusi cahaya yang masuk melalui jendela dan ventilasi sangat dipengaruhi oleh besaran bukaan. Semakin besar orientasi arah bukaan maka semakin besar jumlah cahayanya, (Nurhaiza dkk, 2016). Pencahayaan bangunan dapat ditempuh melalui dua cara yaitu pencahayaan alami dan pencahayaan buatan.

- Pencahayaan alami

Secara umum pencahayaan alami pada bangunan adalah sistem penerangan yang menggunakan cahaya sinar matahari sebagai sumber utamanya. Pencahayaan alami dapat dicapai melalui penerapan jendela dan ventilasi ruang. Efektifnya luas jendela dan ventilasi sebagai sumber utama memasukkan cahaya sinar matahari kedalam ruang adalah diukur dari besaran luas lantai yang digunakan. Luas bukaan jendela dan ventilasi selayaknya mencapai $\frac{1}{6}$ dari luas total lantai ruang yang ingin disinari secara alami. Tentunya bukaan jendela dan ventilasi tersebut dalam

rancangannya tetap memperhatikan faktor-faktor lain yang menunjang termasuk untuk mencapai kesegaran udara ruang dan faktor keamanan. Bukaannya jendela dan ventilasi umumnya menggunakan kaca sebagai bidang masifnya. Dalam mencapai sasaran yang diinginkan terhadap penggunaan matahari sebagai sumber pencahayaan alami, maka sebagai perencana perlu memahami beberapa indikator yang perlu dilakukan oleh perencana yaitu :

- Melakukan variasi intensitas penerangan sesuai kebutuhan jenis ruang.
- Memahami efek yang terbentuk atas arah datangnya sinar matahari .
- Memahami efek pembiasan cahaya dan pemantulan cahaya (*refraksi dan refleksi*) terhadap bangunan
- Menempatkan posisi bangunan pada site sesuai manfaat cahaya yang dibutuhkan.

Perlu juga dipahami bahwa pencahayaan dengan sinar matahari memiliki keterbatasan karena hanya dapat digunakan saat pagi hingga siang hari.

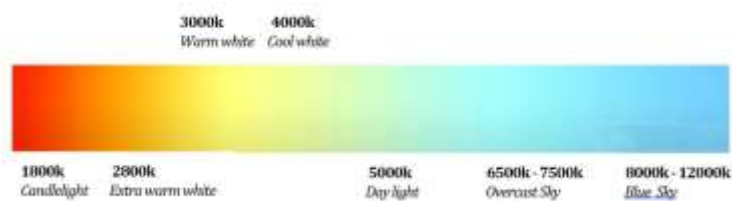
- Pencahayaan buatan

Dalam memaksimalkan fungsi bangunan maka sistem pencahayaan juga dibantu dengan sistem pencahayaan buatan. Telah diketahui bersama bahwa pencahayaan buatan secara nyata merujuk pada penggunaan lampu sebagai sumber utamanya. Namun perlu dipahami bahwa dalam mencapai nilai estetika dan fungsi bangunan yang ingin dicapai maka pengaturan tata letak lampu, jenis lampu, jumlah lumen dan warna lampu sangat besar pengaruhnya pada ruangan dan pada bangunan. Bahkan secara psikologis penggunaan lampu sebagai sumber pencahayaan buatan akan

berpengaruh besar kepada manusia dimana penggunaan lampu yang tepat akan meningkatkan produktifitas, efektifitas dan kesehatan pengguna ruang.

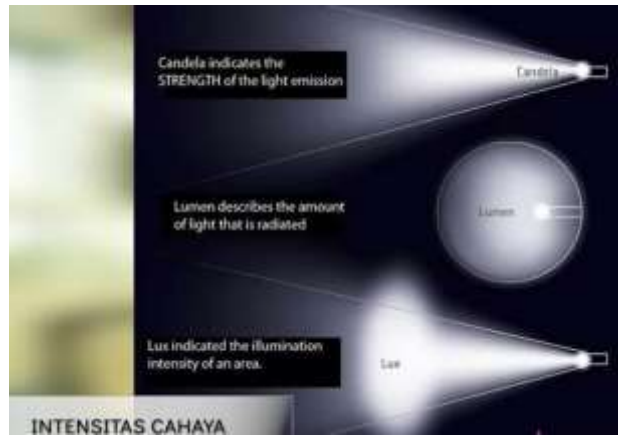
Cahaya buatan penting untuk kenyamanan visual dan produktivitas kerja, terutama saat sore hingga malam. Penerapan standar yang direkomendasikan dapat berdampak pada respons pengguna. Selain membantu aktivitas, cahaya buatan juga menciptakan kesan tertentu (Andika, 2016).

Gambar 1.1 berikut ini menunjukkan grafik temperatur warna dalam satuan Kelvin (k) yang dimulai dari warna kemerahan (1800 k) hingga warna kebiruan (12000 k). Pewarnaan pada bangunan ataupun ruang sangat erat kaitannya dengan warna cahaya lampu yang digunakan. Sebagai contoh penggunaan warna tembok ruang beserta warna cahaya lampu untuk ruang tidur dengan ruang operasi di rumah sakit tentunya akan sangat berbeda karena fungsi dan sasaran yang ingin dicapai juga sangat jauh berbeda.



Gambar 1. 1 Grafik Temperatur Warna

Terdapat beberapa satuan intensitas cahaya lampu yang sering digunakan diantaranya *Candela*, *Lumen*, *Lux* namun secara umum digunakan di Indonesia digunakan satuan watt. Gambar 1.2 berikut ini adalah bentuk intensitas pencahayaan lampu.



Gambar 1. 2 Intensitas Cahaya Lampu

Penggunaan lampu sebagai bentuk pencahayaan buatan maka dipandang perlu untuk diketahui tipe pencahayaan buatan berdasarkan fungsinya yaitu :

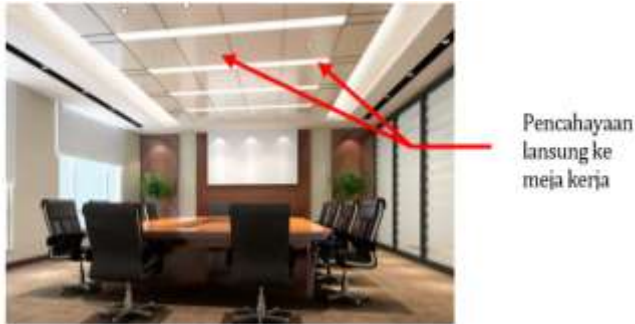
- Pencahayaan umum (*general lighting*)
- Pencahayaan tambahan (*task lighting*)
- Pencahayaan dekoratif (*decorative lighting*)

Pencahayaan buatan terbagi atas dua metode yaitu :

- Metode pencahayaan langsung (*direct lighting*)

Yaitu pencahayaan yang menggunakan cahaya lampu langsung menyinari objek atau bidang yang ingin disinari. Pencahayaan seperti ini umumnya ditempatkan pada objek ruang yang memiliki aktifitas tinggi dan secara langsung memiliki keterkaitan erat dengan sumber cahaya. Penggunaan metode ini misalnya pada ruang operasi di rumah sakit, ruang belajar, ruang kerja, penerangan jalan dan lain-lain. Fungsi pencahayaan ini bersifat pencahayaan umum (*general lighting*).

Gambar 1.3 dibawah ini sebagai contoh penggunaan metode pencahayaan langsung bersifat umum.



Gambar 1. 3 Bentuk Pencahayaannya Langsung Berfungsi Umum

Metode pencahayaannya langsung selain berfungsi umum (*general lighting*) juga dapat berfungsi pencahayaannya tambahan (*task lighting*). Gambar 1.4 berikut ini adalah contoh penggunaan metode pencahayaannya langsung bersifat tambahan pada ruang operasi di rumah sakit.



Gambar 1. 4 Bentuk Pencahayaannya Langsung

- Metode pencahayaannya tidak langsung (*indirect lighting*).

Yaitu metode yang menggunakan sumber cahaya buatan yang peninarannya tidak secara langsung tertuju pada objek yang membutuhkan cahaya buatan tersebut. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari silau yang ditimbulkan oleh cahaya buatan tersebut.

Metode ini biasanya digunakan untuk permukaan bidang secara merata yang kurang terkonsentrasi dengan hanya memanfaatkan bias cahanya yang timbul. Umumnya pencahayaan tidak langsung berfungsi sebagai pemberi efek terhadap suatu benda atau bidang yang ingin di tonjolkan yang misalnya digunakan pada dekoratif dalam ruangan/interior, badrop, efek *lighting ceiling*, lampu rg tidur dan lain-lain, sehingga fungsi pencahayaan jenis ini adalah sebagai pencahayaan dekoratif (*decorative lighting*). Gambar 1.5 dibawah ini sebagai contoh penggunaan metode pencahayaan tidak langsung dengan fungsi dekoratif ruangan.



Gambar 1. 5 Bentuk Pencahayaan Tidak Langsung Sebagai Dekoratif Ruangan

Penggunaan lampu sebagai penerangan buatan, sumber energinya dapat diperoleh melalui 2 cara yaitu melalui daya listrik dan melalui energi matahari atau sering juga disebut *energi solar cell*. Adapun energi listrik dapat diperoleh dari arus daya dari PLN ataupun dari Genset (*generator set*)

Secara prinsip dapat dikatakan bahwa dengan pemahaman ilmu fisika bangunan dalam kaitannya dengan perencanaan bangunan maka akan membantu perencana dalam menciptakan hasil perancangan yang efektif dan efisien. Melalui ilmu fisika bangunan gedung maka penggunaan energi listrik dapat dimaksimalkan

sehingga menekan biaya operasional (*operational cost*) yang harus dikeluarkan oleh pihak pemilik/pengguna bangunan.

c. Kebisingan bangunan (*building noise*)

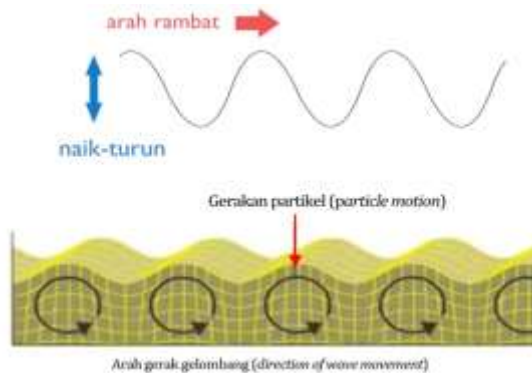
Kebisingan bangunan (*building noise*) dimaksudkan sebagai langkah mereduksi bangunan atau ruang dari pengaruh kebisingan yang dapat bersumber dari luar bangunan berupa faktor suara kendaraan, suara mesin dan suara bising lainnya serta pengaruh kebisingan yang bersumber dari internal bangunan. Dalam penataan interior bangunan, perencana perlu memahami tingkat privasi antar ruang yang satu dengan ruang lainnya dan mampu menganalisis sumber kebisingan dan solusi pengendaliannya.. Penanganan kebisingan (*noise*) perlu disikapi dengan penggunaan penghalang (*barier*) ataupun panel-panel akustik.

Perencana dalam membuat rancangannya haruslah mampu mengetahui tingkat intensitas kebisingan yang terjadi. Akustik ruang pada bangunan merupakan salah satu bentuk pengendalian kebisingan. Penggunaan akustik cenderung bersentuhan dengan penggunaan material/ bahan yang mampu meredam atau memeperkecil *noise* yang terjadi. Secara ilmu fisika, suara terbentuk melalui serangkaian gelombang rekatan dan regangan. Dalam ilmu fisika bangunan dikenal ada dua macam gelombang yaitu :

- Gelombang transversal

Yaitu spektrum gelombang yang arah rambatnya tegak lurus terhadap arah gelombangnya, sehingga dapat dikatakan sebagai gelombang yang naik dan turun serta kiri dan kanan terhadap arah energinya. Secara empiris jenis gelombang ini tidaklah bersinggungan dengan faktor kebisingan sehingga

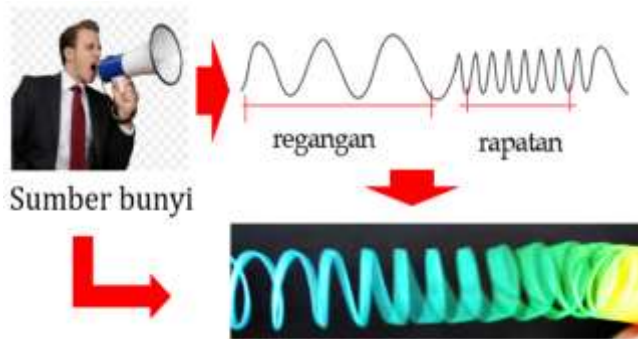
penerapan jenis gelombang transversal tidak relevan jika dilakukan analisis sumber suara datang terhadap bidang suara tiba. Gelombang transversal lebih bersinggungan dengan kekuatan bangunan terhadap bahaya gempa karena gerakan gempa cenderung menciptakan energi yang tegak lurus yang naik dan turun serta ke kiri dan kanan terhadap arah rambatnya, sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 1.6 dibawah ini.



Gambar 1. 6 Rambatan Gelombang Transversal

- Gelombang longitudinal

Yaitu spektrum gelombang yang arah rambatannya sejajar atau berhimpit dengan arah rambatannya. Jenis gelombang longitudinal adalah jenis spektrum gelombang yang lebih cenderung bersinggungan dengan faktor kebisingan (*noice*). Gambar 1.7 berikut ini menunjukkan pendekatan model gelombang longitudinal dari sumber bunyi.



Gambar 1. 7 Rambatan Gelombang Longitudinal dari Sumber Bunyi

1.3 Kesimpulan

Dari urain tersebut diatas telah memberikan pandangan bahwa demikian pentingnya perencana untuk memahami konsep dasar fisika bangunan dalam melakukan perancangan bangunan. Keberhasilan suatu pembangunan gedung, rumah tinggal ataupun bangunan secara umum maupun bangunan khusus yang orientasinya akan digunakan atau ditinggali oleh manusia maka selalu berawal dari tahap perancangan. Melalui konsep perancangan akan memberikan kajian analisis tentang azas manfaat yang akan diperoleh setelah bangunan yang didesain telah didirikan. Melalui fisika bangunan akan memberikan konsep analitis mengenai tata cara pengkondisian ruang, Pencahayaan bangunan (*building lighting*), kebisingan bangunan (*building noice*) dan beberapa hal lain terkait kelayakan pemanfaatan bangunan dan ruang.

DAFTAR PUSTAKA

- Andika Putri Pertiwi dan Ahmad Nursheha Gunawan, 2016. Pengaruh Kenyamanan Visual Melalui Pencahayaan Buatan Pada Masjid Syamsul Ulum Universitas Telkom, Bandung. Jurnal I D E A L O G Jurnal Desain Interior & Desain Produk Vol.1 No.2. ISSN 2477 – 0566
- James Rilatupa, 2008. Aspek Kenyamanan Termal Pada Pengkondisian Ruang Dalam. Jurnal Sains Dan Teknologi Emas, Vol. 18, No. 3 ISSN 0853-9723.
- Nurhaiza dan Nova Purnama Lisa, 2016. Optimalisasi Pencahayaan Alami pada Ruang. *Jurnal Arsitekno*, vol.7, no. 7, ISSN 2301 945X.
- Rendy Kurnia, Dkk 2010. Identifikasi Kenyamanan Termal Bangunan (Studi Kasus: Ruang Kuliah Kampus Ipb Baranangsiang Dan Darmaga Bogor) . Jurnal Agromet Vol 24 Nomor 1. ISSN: 0126-3633
- Silfiyana Rohman dkk, 2021. ANALISIS KENYAMANAN SUHU. *Enviro Scienteae* Vol. 17 No. ISSN 2302-3708.

BAB 2

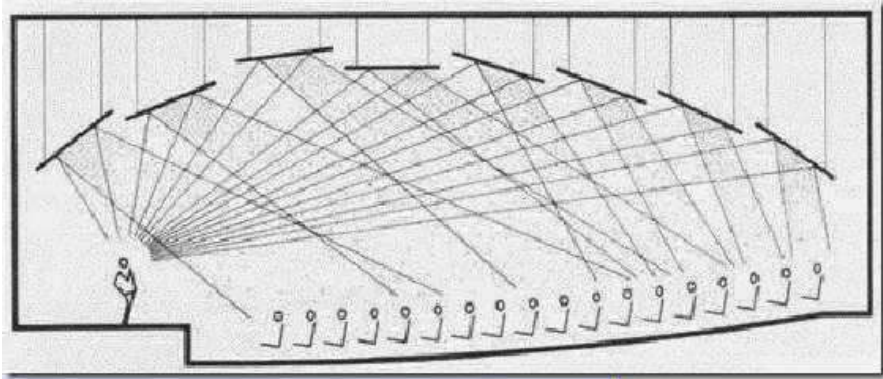
RAMBATAN BUNYI PADA BANGUNAN

Oleh Andiyan

2.1 Pemantulan Bunyi

Konsep pemantulan suara dapat didefinisikan sebagai Fenomena pemantulan suara memiliki kemiripan dengan pemantulan cahaya karena lokasi yang sama antara sinar suara yang datang dan yang dipantulkan di dalam bidang datar, serta kesamaan sudut antara gelombang suara yang datang dan yang dipantulkan, seperti yang ditentukan oleh hukum pemantulan. Namun, penting untuk dicatat bahwa panjang gelombang suara jauh lebih besar daripada panjang gelombang sinar cahaya. Selain itu, prinsip pemantulan suara hanya berlaku jika panjang gelombang suara relatif kecil dibandingkan dengan ukuran permukaan pemantul.

Asal mula pantulan suara Beton, batu bata, batu, plester, kaca, dan bahan lain yang serupa adalah contoh permukaan yang keras, padat, dan datar.



Gambar 2. 1 Plafon Reflektif yang Diposisikan Secara Strategis, Menghasilkan Pemantulan Suara yang Disempurnakan Ke Lokasi Yang Jauh.
(Sumber : (Ernst, 1996))

Gelombang suara, seperti halnya gelombang lainnya, dapat diukur berdasarkan panjang gelombang, frekuensi, dan kecepatan rambatnya. Pengukuran panjang gelombang, frekuensi, dan kecepatan rambat. Panjang gelombang, diukur dalam meter (m), adalah parameter yang mengukur intensitas suara. Ketika panjang gelombang meningkat, intensitas suara juga meningkat, yang menunjukkan bahwa suara dapat mencapai jarak yang lebih jauh. Selain panjang gelombang, ada komponen lain dari suara. Frekuensi adalah komponen tambahan dari suara. Frekuensi mengacu pada jumlah atau frekuensi getaran yang terjadi selama satu detik. Sesuai dengan nama penemunya. Pengukuran frekuensi dinyatakan dalam satuan Hertz (Hz).

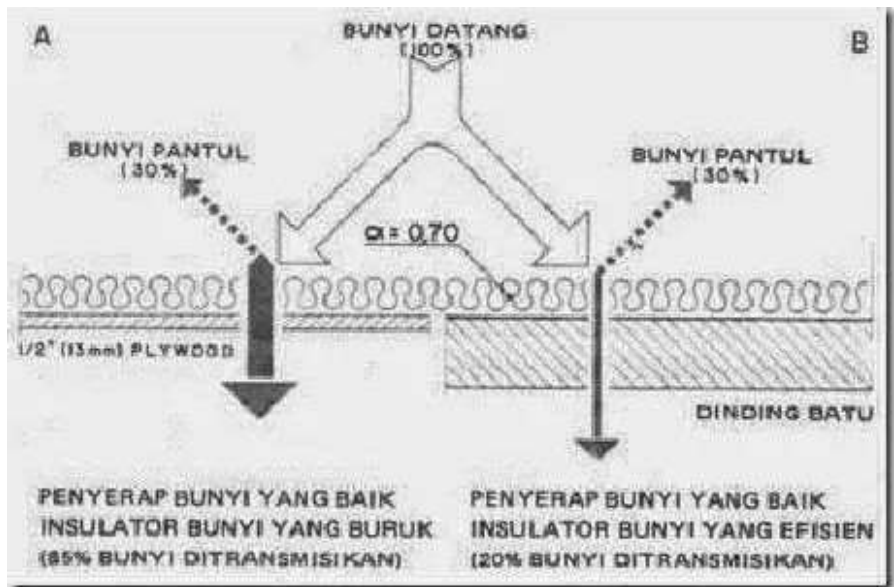
Komponen lain dari suara adalah kecepatan transmisi, dilambangkan sebagai v . Kecepatan suara mengacu pada kecepatan suara bergerak melalui media tertentu. Saya terlibat dalam media tertentu. Kecepatan rambat, yang diwakili oleh simbol (v), mengacu pada jarak yang dapat dilalui oleh gelombang suara ke arah tertentu selama durasi satu detik. Kecepatan gelombang suara yang bergerak ke arah tertentu selama jangka waktu satu detik diukur dalam meter per detik

(m/s). Kecepatan gelombang suara yang merambat ke arah tertentu selama jangka waktu satu detik diukur dalam meter per detik (m/detik). Kecepatan perambatan suara bergantung pada densitas partikel di dalam medium yang dilaluinya.

2.2 Penyerapan Bunyi

2.2.1 Pengertian Penyerapan Bunyi

Penyerapan suara mengacu pada proses di mana energi suara diubah menjadi bentuk yang berbeda, sering kali dalam bentuk panas, ketika melintasi suatu zat atau berinteraksi dengan permukaan. Besarnya energi panas yang dihasilkan selama konversi energi ini minimal, sementara kecepatan transmisi gelombang suara tetap tidak terpengaruh oleh penyerapan.



Gambar 2. 2 Penyerapan Bunyi

(Sumber : (Ernst, 1996))

2.2.2 Konstituen Penyerapan Suara

1. Lapisan permukaan dinding, lantai, dan atap
2. Elemen-elemen yang ada di dalam ruangan adalah penonton, bahan tirai, kursi mewah, dan karpet.
3. Kualitas udara dalam ruangan

2.3 Bahan Akustik dan Teknik Bangunan

2.3.1 Zat yang Dapat Ditembus

Bahan berpori seperti papan serat, plester lunak, wol mineral, dan selimut isolasi memiliki sifat akustik yang ditandai dengan jaringan seluler pori-pori yang terhubung.

1. Efisiensi penyerapan suara lebih besar pada frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan frekuensi yang lebih rendah.
2. Efisiensi akustik dari teknologi ini menunjukkan peningkatan pada rentang frekuensi rendah seiring dengan bertambahnya ketebalan lapisan penghalang yang padat dan bertambahnya jarak dari lapisan penghalang ini.

2.3.2 Ada Tiga Kategori Berbeda yang Dapat Diklasifikasikan Sebagai Bahan Berpori Komersial

1. Perangkat akustik yang telah dirakit sebelumnya.
2. Bahan yang digunakan untuk plesteran dan penyemprotan akustik.
3. Selimut insulasi akustik

2.4 Panel Penyerap atau Membran Penyerap

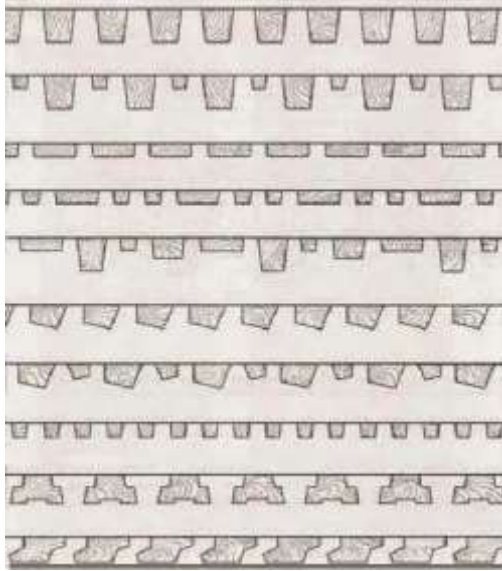
Pada bangunan auditorium, peredam panel digunakan untuk memfasilitasi penyerapan frekuensi rendah (Hananto, 2017):

1. Panel kayu dan *hardboard*
2. *Gypsum boards*
3. Langit-langit plesteran yang digantung
4. Plesteran berbulu *Plastic board* tegar Jendela
5. Kaca
6. Pintu
7. Lantai kayu dan panggung
8. Pelat-pelat logam (*radiator*)

2.5 Resonator Rongga atau Helmholtz

Volume udara yang terkandung, yang dibatasi oleh dinding yang tidak fleksibel dan dihubungkan ke area sekitarnya oleh sebuah lubang kecil yang dikenal sebagai leher, berfungsi sebagai media untuk perambatan gelombang suara, resonator ini dapat digunakan untuk:

1. Dalam konteks entitas individu
2. Sebagai resonator dengan panel berlubang
3. Sebagai resonator celah



Gambar 2. 3 Resonator Rongga
(Sumber : (Ernst, 1996))



**Gambar 2. 4 Lapisan Galar/Irisan Kayu Di Auditorium
Serbaguna Montreal, +Liasoph Dan /Erkowitz Karya Arsitek
L.L. Doelle.**

2.6 Isolasi Bunyi

2.6.1 Pengertian Isolasi Bunyi

Isolasi bunyi adalah Insulasi suara mengacu pada tindakan menghalangi transmisi suara ke lokasi yang tidak diinginkan. Ruang kedap udara akan secara efektif menghalangi masuk atau keluarnya suara, dalam ambang batas tertentu.

2.7 Getaran pada Bangunan

2.7.1 Pengertian getaran

Meskipun peralatan dan mesin mekanis telah meningkatkan kenyamanan, kesenangan, dan produktivitas penghuni gedung, namun tidak mungkin, tidak hemat biaya, atau tidak perlu untuk sepenuhnya menghilangkannya. Sebaliknya, penting untuk mengurangi kebisingan mekanis ke tingkat yang dapat diterima, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti aktivitas yang diantisipasi di area tersebut dan tingkat prioritas yang diinginkan.

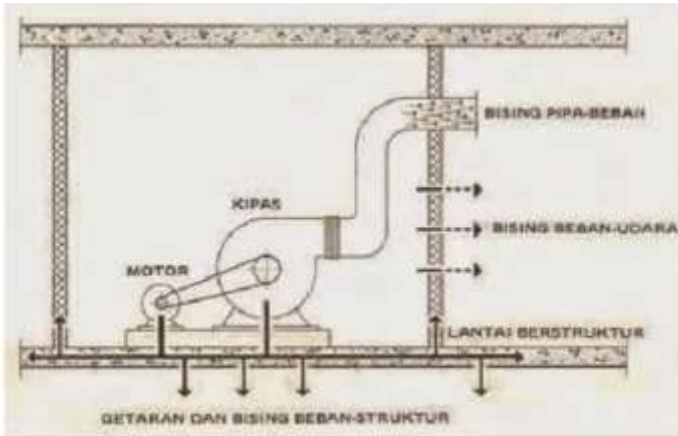
2.7.2 Penyebab Getaran pada Bangunan

Kebisingan yang terkait dengan sistem mekanis dapat dikategorikan ke dalam kelompok berikut:

1. Kebisingan yang dihasilkan oleh peralatan mekanis, seperti unit ventilasi dan AC, kipas angin, motor, kompresor, pompa, dan sebagainya.
2. Kebisingan sendiri yang disebabkan oleh pergerakan udara yang cepat.
3. *Crosstalk* mengacu pada transmisi suara dari satu lokasi ke lokasi lain. Misalnya, ketika percakapan memasuki kisi pengadaan udara atau udara balik di satu ruangan, percakapan tersebut berjalan melalui

saluran atau pleno dan mencapai ruangan yang berdekatan melalui kisi lain.

4. Bangunan ini terpapar kebisingan yang ditransfer dari sumber eksternal melalui bagian saluran yang tidak memiliki perlindungan yang memadai.



Gambar 2. 5 Penyebab Utama Kebisingan dalam Sistem Konservasi Udara

2.8 Dampak Getaran pada Bangunan

Getaran dapat menimbulkan konsekuensi berikut ini:

1. Kerusakan bangunan
2. Mengganggu penghuni
3. Mengganggu produktivitas dan merusak keakuratan instrumen
4. Adanya noise dalam spektrum frekuensi pendengaran yang diakibatkan oleh getaran sebelumnya.

2.9 Strategi untuk Mengurangi Gangguan Getaran Suara

Pencegahan transmisi getaran antar bangunan dapat dicapai dengan penerapan perangkat yang tahan banting, yang sering disebut sebagai isolator getaran, yang ditempatkan di antara dua bangunan. Berbagai jenis isolator getaran dapat diidentifikasi, termasuk:

1. Berbagai jenis alas lantai elastis dapat digunakan, seperti pegas baja, pegas udara, karet, gabus, laken, neoprena, elastomer, dan fiber glass.
2. Elastomer, pegas, dan neoprena adalah contoh gantungan plafon elastis.
3. Klip isolasi, sering dikenal sebagai klip dinding kenyal, adalah isolator dinding yang elastis.
4. Pipa/selang air fleksibel dibuat dengan menggunakan berbagai bahan seperti baja tahan karat, karet yang diperkuat, telepon yang dicetak, dan butil fleksibel.

2.10 Kebisingan pada Bangunan

Kebisingan yang terjadi pada bangunan dapat berasal dari beberapa sumber. Namun, kebisingan yang berasal dari dalam lahan atau dari struktur itu sendiri lebih mudah dikelola dibandingkan dengan kebisingan yang berasal dari luar lokasi. Di luar wilayah. Kebisingan di jalan raya mengacu pada gangguan pendengaran yang berada di luar wilayah yurisdiksi pemilik bangunan. Kepemilikan bangunan. Oleh karena itu, sangat penting bagi kita untuk memiliki kemampuan untuk mengetahui potensi transmisi atau transfer kebisingan dari luar ke dalam bangunan (E. Mediastika, 2005).

Kategorisasi perambatan suara dapat dibedakan berdasarkan medium di mana gelombang suara merambat, khususnya:

1. *Airborne sound* adalah Transmisi akustik mengacu pada transmisi gelombang suara melalui medium udara. Mengingat bahwa lingkungan sekitar sering kali diselubungi oleh udara, prinsip yang sama berlaku untuk kebisingan yang muncul di jalan raya. Kebisingan di jalan sering kali menyebar ke arah gedung melalui media udara. Melalui media udara. Jika ada lubang, celah, atau retakan pada komponen konstruksi, model perambatan semacam ini akan dengan mudah menembus struktur. Terutama dalam konteks komponen vertikal, seperti dinding. Selain itu, perambatan juga dapat terjadi melalui komponen vertikal yang lebih tinggi, yaitu atap dan/atau langit-langit. Perambatan suara juga dapat disebabkan oleh posisi jendela dan bukaan ventilasi, serta penggunaan bagian penutup atap yang terbuat dari bahan yang longgar seperti rumbia atau genteng dengan pengait yang tidak sempurna. Menyebarkan suara.
2. *Structureborne sound* adalah Frasa "perambatan suara melalui benda padat" sering digunakan untuk menggambarkan fenomena ini. Dalam konteks khusus ini, istilah "suara yang ditularkan melalui struktur" digunakan untuk merujuk pada hubungan antara benda padat dan bagian bangunan itu sendiri. Transmisi gelombang suara melalui komponen bangunan sering kali terjadi ketika sumber suara terhubung ke atau dekat dengan elemen, seperti menempel pada atau dekat dengan struktur. Misalnya, ditempelkan pada atau dekat dengan dinding. Namun demikian, karena pemisahan yang sering kali memadaai antara struktur dan jalan, transmisi langsung kebisingan melalui dinding sangat jarang terjadi.

Dalam beberapa situasi, getaran yang kuat dapat dirasakan pada komponen struktur bangunan, terutama yang tipis, seperti kaca jendela, saat kendaraan melintas di sekitarnya. Yang terjadi adalah transmisi suara melalui udara, yang

kemudian berubah menjadi suara yang dibawa oleh struktur.

2.11 Pengendalian Kebising

2.11.1 *Airborne Sound*

Perambatan suara melalui medium udara dapat dibatasi oleh adanya benda-benda yang memiliki kemampuan untuk menghalangi perambatannya. Mekanisme operasional penghalang dapat bermanifestasi sebagai pantulan gelombang suara baik ke arah sumber atau ke arah yang berlawanan dengan penghalang. Pendekatan alternatif melibatkan penggunaan item material yang memiliki kemampuan untuk menyerap gelombang suara yang merambat. Keampuhan pendekatan alternatif ini sering dikompromikan dalam kasus-kasus ketika material menunjukkan getaran yang bertahan di luar penghalang.

Terletak di luar penghalang. Benda penghalang yang terdiri dari bahan dengan kelembutan yang cukup dan sifat tidak licin, serta ketebalan dan berat yang sesuai, akan secara efektif menjalankan fungsi yang dimaksudkan.

2.11.2 *Structureborne Sound*

Struktur suara meningkatkan area permukaan emisi suara. Transmisi suara dari ruang sumber ke ruang penerima melintasi partisi disebut sebagai reproduksi suara, yang terjadi melalui permukaan batas atau partisi. Perambatan suara melalui permukaan batas atau partisi. Konsep batas atau partisi. Peredaman kebisingan struktural dan getaran idealnya harus terjadi pada sumber atau di dekatnya. Misalnya, dengan cara berikut ini:

1. Perambatan gelombang suara melalui teknik transmisi *flanking* dapat diatasi secara efektif dengan menggunakan sistem struktur terputus-putus atau struktur terputus-putus. atau sistem dengan struktur yang tidak kontinu. Pendekatan struktur terputus sering digunakan pada persimpangan atau persimpangan bidang, di mana bahan yang berbeda diposisikan di tengah bahan yang ada. Sangat disarankan untuk menggunakan material yang memiliki kemampuan untuk berfungsi sebagai selimut akustik, yang menunjukkan karakteristik seperti kelembutan, penyerapan, dan ketahanan terhadap getaran.
2. Menyediakan penutup yang lengkap atau sebagian untuk sumber, yang secara khusus terbuat dari bahan dengan sifat isolasi tinggi itu sangat penting.
3. Membangun partisi antara sumber dan penerima.
4. Tempatkan selapis bahan penyerap di sekitar sumber.

DAFTAR PUSTAKA

- E.Mediastika, C., 2005. Akustik Bangunan Prinnsip-prinsip Penerapannya di Indonesia, 1st ed. Erlangga, jakarta.
- Ernst, N., 1996. Data arsitek jilid 1. Erlanga, Jakarta.
- Hananto, S., 2017. Handout Perkuliahan Fisbang D3. Bandung.

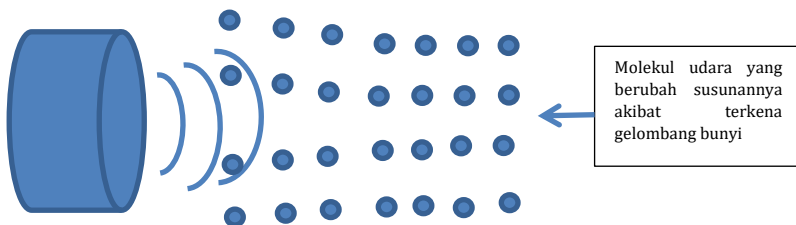
BAB 3

AKUSTIK LINGKUNGAN INTERIOR DAN EKSTERIOR

Oleh Muhammad Segi Sufia Purnama

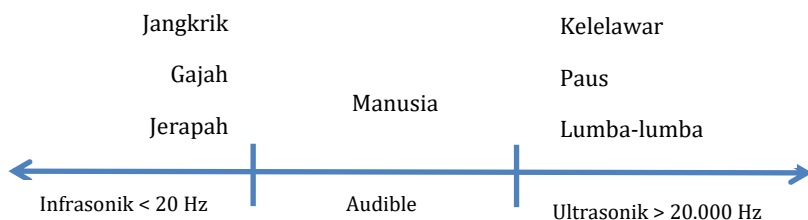
3.1 Pendahuluan

Akustik adalah ilmu yang berkaitan dengan mendengar atau bunyi. Dalam bidang arsitektur, akustik dipelajari untuk memahami bagaimana bunyi dapat didengar dengan jelas oleh penerima. Hal ini mutlak diperlukan agar bangunan tersebut dapat berfungsi dengan baik. Bila membahas akustik dalam konteks arsitektur maka pertama kali yang harus dipahami adalah bunyi itu sendiri. Bunyi adalah sebuah perubahan pada media rambat akibat bergetarnya suatu benda. Media rambat tersebut adalah udara. Dipukulnya gendang berarti menggetarkan kulit gendang tersebut sehingga akan mengubah susunan udara atau menggetarkan udara.



Gambar 3. 1 Susunan Molekul Udara yang Berubah Akibat Getaran

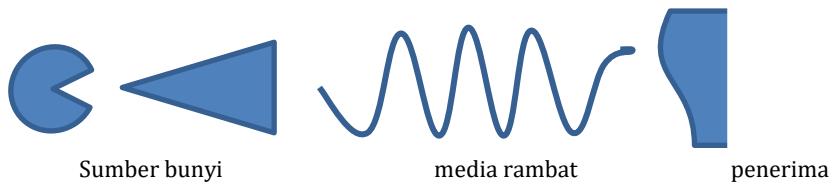
Definisi ini terkesan sulit dicerna. Untuk memudahkan maka definisi bunyi dapat dilihat secara subjektif yaitu, tergantung penerimanya. Bunyi hanya dapat didengar oleh makhluk hidup. Hampir semua makhluk hidup mempunyai indra pendengaran. Manusia mempunyai telinga sebagai alat pendengaran. Dilihat dari sudut pandang manusia, maka definisi bunyi adalah sesuatu yang masih dapat didengar oleh manusia. Sesuatu di sini adalah getaran udara seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya. Getaran ini dilihat sebagai frekuensi dengan satuan Hertz. Manusia akan mampu mendengar udara yang bergetar minimal 20 Hz (20 kali) dan maksimal 20.000 Hz. Bila dikaitkan dengan definisi awal maka bunyi merupakan bergetarnya medium rambat(udara) dengan frekuensi yang masih dapat ditangkap oleh indera pendengaran manusia. Jadi, bila ada seorang anak menyentuh gendang dengan sangat pelan dan temannya tidak dapat mendengarnya maka bisa dikatakan tidak ada bunyi. Mungkin bunyi tersebut ada tetapi dibawah ambang batas pendengaran manusia.



Gambar 3. 2 Rentang Frekuensi yang Dapat Didengar Oleh Manusia

Dari pengertian di atas maka dapat dilihat ada beberapa aspek yang terkait dengan bunyi. Pertama adalah sumber bunyi. Kedua adalah medium rambat. Ketiga adalah penerima bunyi. Sumber bunyi adalah benda yang menggetarkan medium rambat. Medium rambat tidak hanya udara. Bisa berupa benda cair bahkan padat. Semakin rapat molekulnya maka semakin

cepat bunyi bergerak. Penerima bunyi tentu telinga manusia atau bisa juga alat pengukur kuat bunyi.



Gambar 3. 3 Tiga Aspek Terkait Bunyi

3.2 Akustik Lingkungan Eksterior

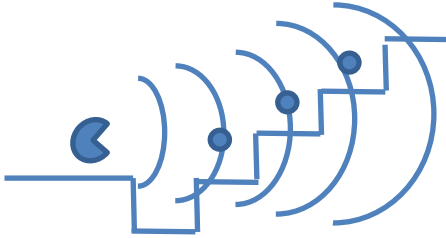
Terjadi penyampaian bunyi secara langsung di ruang terbuka. Bunyi yang merambat tidak mendapatkan pengaruh dari bidang-bidang seperti dalam ruangan. Hal ini mengakibatkan pengurangan intensitas bunyi seiring jarak. Saat penerima sumber bunyi berada pada dua kali jarak awal maka intensitas bunyi berkurang 6dB.



Gambar 3. 4 Skema Penyebaran Bunyi pada Ruang Terbuka

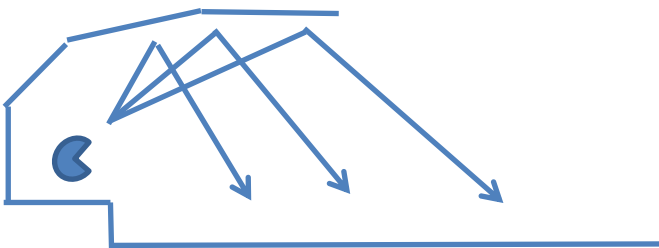
Untuk menangkap suara dengan lebih baik maka diperlukan rekayasa terhadap kondisi luar tersebut. Pertama berkenaan dengan penerima sumber bunyi, maka peletakan kursi audien dapat dibuat miring atau dibuat berundak.

Fungsinya adalah untuk menangkap suara yang tersebar. Suara yang keluar dari sumber bunyi tidak merambat hanya secara linier tetapi juga ke segala arah seperti bola. Karena hal ini, desain tempat duduk untuk audien dibuat miring dengan sudut tertentu.



Gambar 3. 5 Skema Penyebaran Bunyi pada Ruang Terbuka Dengan Memiringkan Tempat Duduk

Dari sisi sumber bunyi, hal yang dapat dilakukan adalah dengan membuat bidang latar belakang sebagai reflektor. Biasanya di belakang pembicara, ada latar panggung. Material pembentuk bidang tersebut dibuat reflektif agar suara yang dikeluarkan memantul dan dapat mencapai audien. Tambahan berupa penutup di bagian atas panggung selain untuk menutupi panggung dari cuaca panas atau hujan bisa juga digunakan untuk reflektor tambahan sehingga dapat mengarahkan gelombang bunyi ke arah audien.



Gambar 3. 6 Skema Peletakan Reflektor Dibelakang Panggung Sekaligus Penutup Membuat Suara Mengarah Ke Audien

Salah satu contoh desain untuk akustik ruang luar adalah ampiteater. Ampiteater merupakan ruang pertunjukan untuk hiburan pada masa zaman dahulu. Secara fungsi, ampiteater menggunakan prinsip memiringkan bangku penonton agar dapat melihat dengan lebih baik. Tetapi jenis hiburan yang disuguhkan memang tidak menuntut adanya kualitas akustik yang baik. Misalnya, pertarungan gladiator, balap kereta, parade dan lain-lain. Kebalikan dengan masa sekarang, ampiteater dituntut untuk bisa mempunyai kualitas akustik yang baik.



Gambar 3. 7 Ampiteater Di Pompeii Italia. Dibangun Tahun 70 SM

Sumber : <https://www.tripsavvy.com/roman-ampiteaters-in-italy-1547483>

Hal-hal yang mempengaruhi kualitas suara pada ampiteater adalah cuaca. Cuaca yang berangin akan menurunkan kualitas bunyi yang terdengar. Terbukanya ruang ampiteater juga akan membuat suara dari luar dapat mempengaruhi kualitas akustik. Misalnya, adanya ampiteater di pinggir jalan atau di taman terbuka. Hal ini akan membuat polusi suara bagi pendengar di ampiteater.

Acara yang digelar di ampiteater harus diperhatikan. Tidak semua jenis pertunjukan dapat dilakukan di sana. Beberapa hal terkait jenis acara yang dapat dilakukan di ampiteater adalah tidak rentan cuaca, bersifat publik, tidak berbayar, untuk latihan dan lain-lain.



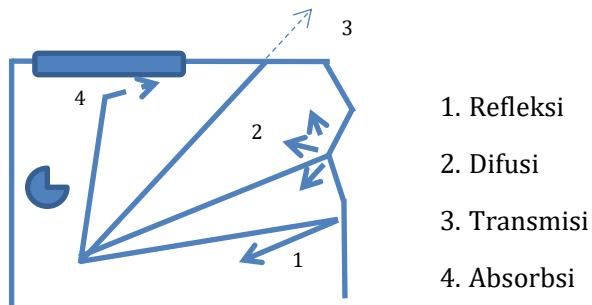
Gambar 3. 8 Ampiteater Masa Modern, Bali

Sumber : <https://bali.idntimes.com/travel/destination/ari-budiadnyana/mal-ngabuburit-di-bali-c1c2>

Lain hal bila sebuah ampiteater ingin digunakan untuk pertunjukan yang menuntut akustik yang baik maka perlu dilakukan beberapa hal yaitu, desain harus semi tertutup, terutama di bagian panggung, mengelompokkan kegiatan yang berpotensi sebagai polusi suara bagi ampiteater, menerapkan penghalang berupa *buffer* untuk meredam bunyi dari luar dan melakukan penjadwalan pertunjukan agar berada di waktu yang polusi suara paling sedikit.

3.3 Akustik Lingkungan Interior

Pada sebuah ruang, bunyi merambat dengan lebih kompleks. Bunyi yang merambat akan mengalami berbagai macam hal seperti refleksi, absorpsi, transmisi, reverbasi, difusi dan lain-lain.



Gambar 3. 9 Peristiwa Akustik dalam Ruang

Ragam peristiwa yang terjadi diakibatkan oleh adanya lantai, dinding dan plafon untuk bunyi merambat. Hal ini yang menjadi perhatian saat seorang arsitek mendesain ruang untuk akustik yang baik. Elemen ruang akan mempengaruhi bunyi yang sampai ke telinga pendengar. Bunyi tersebut akan lebih jelas atau lebih samar. Saat perencanaan ruang tidak tepat maka akan muncul cacat akustik. Hal ini terjadi bila bunyi mengalami reduksi kualitas saat sampai ke pendengar.

Dengan memahami peristiwa akustik yang terjadi, cacat akustik dapat dihindari. Misal, sebuah ruang pertunjukan musik. Untuk menambah kuantitas dan kualitas bunyi memasang papan reflektor di bagian plafon. Disusun sedemikian bentuk dan posisinya untuk memantulkan suara agar sampai kepada pendengar. Solusi ini terkesan sederhana tetapi secara arsitektural, posisi dan bentuk panel ini dapat menjadi elemen desain. Jadi, kehadiran panel reflektor bukan lagi hanya untuk fungsi akustik tetapi juga fungsi estetika.

Sebuah ruangan yang tertutup untuk fungsi akustik biasanya disebut auditorium. Bentuk auditorium bisa berupa ruangan ataupun sebuah gedung. Fungsi dari auditorium adalah untuk pertunjukan, konferensi, konser dan lain-lain. Fungsi ini membutuhkan kualitas akustik yang baik. Sulit melakukan kegiatan ini bila tidak ada insulasi akustik yang baik. Sehingga

mutlak harus dilakukan di dalam ruang tertutup dengan insulasi maksimal.

Auditorium Universitas Indonesia



Gambar 3. 10 Auditorium Universitas Indonesia

Sumber : <https://www.stramm.co.id/5-desain-auditorium-modern-dan-spektakuler/>

3.4 Ruangan Akustik Ideal

Menurut Doelle, ada beberapa persyaratan ruang akustik yang ideal. Yaitu :

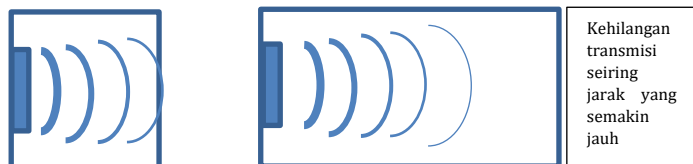
1. Tingkat kekerasan bunyi harus mencukupi agar seluruh ruang mendapatkan intensitas bunyi yang sama
2. Energi bunyi harus terdistribusi dengan baik ke seluruh ruangan. Hal ini diperlukan agar suara yang terdengar sama di seluruh ruangan.
3. Waktu dengung harus sesuai dengan fungsi ruang.
4. Tidak terjadi cacat akustik yang mengakibatkan penurunan kualitas distribusi suara dalam ruang
5. Bebas dari bising dan getaran yang punya potensi menurunkan kualitas akustik di dalam ruangan.

Kelima syarat ini harus dipenuhi oleh sebuah ruangan untuk fungsi akustik. Satu dengan yang lain saling melengkapi untuk menunjang kualitas suara yang dihasilkan. Bila dilihat lebih lanjut persyaratan nomor tiga sangat spesifik sesuai fungsi ruang tersebut. Adanya angka yang menunjukkan waktu dengung secara tidak langsung akan menentukan nomor 1, 2 dan 4. No 5 berhubungan dengan insulasi terhadap gangguan luar ruang.

Tingkat kekerasan bunyi mengindikasikan sebuah proses transmisi suara di dalam ruang. Pertama, semakin jauh pendengar semakin lemah bunyi diterima. Maka tingkat kekerasan bunyi ditentukan oleh jarak penerima dari sumber bunyi. Kedua, kekerasan bunyi dalam ruang juga dipengaruhi oleh bidang absorpsi. Semakin banyak bidang yang kondisikan menjadi penyerap suara maka semakin mudah suara akan kehilangan energi saat transmisi. Hal ini lah yang perlu diperhatikan saat meletakkan bidang absorpsi dalam ruang akustik.

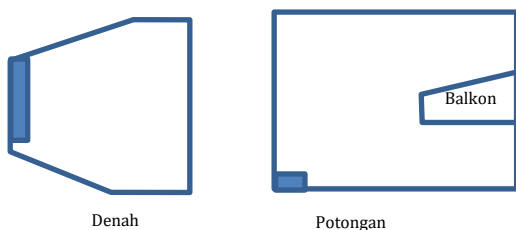
Kehilangan energi suara dapat diminimalkan dengan beberapa cara, yaitu :

1. Membuat ruangan benar-benar tertutup. Mengupayakan bidang bukaan seminimal mungkin. Dusahakan pertukaran udara luar dan dalam ruangan seminim mungkin agar tidak terjadi kebocoran suara.
2. Dari sisi desain, membuat peletakan penonton sedekat mungkin dengan sumber suara atau panggung agar kehilangan transmisi bisa diminimalkan. Bentuk denah persegi lebih dianjurkan dibanding bentuk persegi panjang untuk menghindari jarak sumber bunyi menjadi jauh ke penerima.



Gambar 3. 11 Bentuk Denah Auditorium untuk Minimalisasi Kehilangan Tansmisi Bunyi

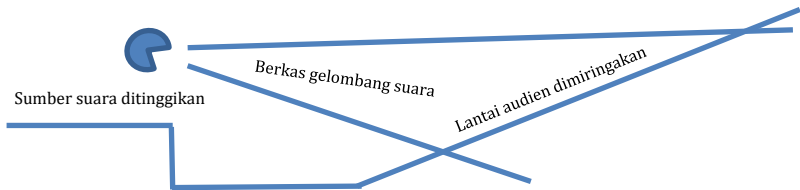
Bentuk trapesium atau setengah lingkaran(kipas) dapat digunakan untuk membantu efek penyebaran suara melalui refleksi suara dari panggung. Bila ingin menambah kapasitas penonton penambahan balkon dapat dilakukan. Penambahan balkon mempunyai dua keuntungan Pertama yaitu, dari sisi transmisi bunyi, audien yang berada di atas balkon tetap dapat mendengar kekerasan suara yang sama karena jarak yang tidak berbeda dengan audien di bawah. Lalu di sisi kapasitas, penambahan audien terjadi tanpa menambah luas ruang sehingga lebih efisien.



Gambar 3. 12 Bentuk Denah Dibuat Trapesium dan Ditambahkan Balkon

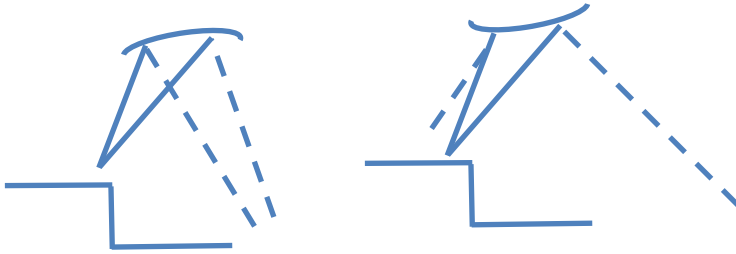
3. Sumber bunyi diletakan pada posisi yang lebih tinggi dibanding audien. Hal ini dilakukan agar bunyi yang merambat tidak terhalang. Solusinya adalah dengan cara menaikkan ketinggian lantai, mendirikan panggung dan meletakan sumber bunyi di atas podium atau bangku.
4. Lantai tempat duduk audien didesain memiliki kemiringan. Hal ini bertujuan untuk dapat menangkap rambatan bunyi

dengan lebih baik. Gelombang bunyi merambat dengan pola penyebaran ke segala arah seperti setengah bola. Lantai tanpa kemiringan tidak bisa menangkap gelombang bunyi dengan baik sehingga perlu dimiringkan. Untuk kenyamanan dalam bersirkulasi, maka perbandingan tinggi dan panjang koridor tempat duduk audien adalah 1 : 8.



Gambar 3. 13 Pengkondisian Ruang Auditorium untuk Memaksimalkan Penerimaan

5. Sumber suara harus dikelilingi oleh permukaan pemantul bunyi agar dapat memberikan energi pantul tambahan pada tiap bagian ruangan. Bagian plafon adalah bagian yang paling krusial untuk diletakan papan reflektor karena posisinya berada di atas untuk memantulkan ke bawah gelombang bunyi yang tersebar. Bentuk dari papan reflektor akan menentukan bagaimana bunyi memantul. Bila bentuknya cekung maka gelombang bunyi akan dipantulkan secara terpusat. Efeknya adalah adanya pemusatan suara. Tidak meratanya suara yang didapatkan oleh audien. Bila menggunakan reflektor berbentuk cembung maka suara yang datang akan dipantulkan secara menyebar sehingga cakupan suara ke arah audien lebih besar dan merata.



Gambar 3. 14 Bentuk Reflektor dan Karakter Pemantulan yang Terjadi

Bunyi dalam sebuah ruang harus terdistribusi dengan baik. Keadaan ini perlu dalam fungsi ruang seperti ruang konser, orkestra dan ruang musik lainnya karena setiap titik pada ruangan harus mendapatkan bunyi yang merata. Pendifusian bunyi dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu pertama membuat permukaan yang tidak beraturan dalam jumlah cukup banyak. Misal, tonjolan-tonjolan pada dinding ruang. Kedua, membuat permukaan dengan sifat refleksi dan absorpsi secara selang seling atau bergantian. Dan ketiga, memasang lapisan akustik dengan tingkat penyerapan suara yang berbeda.

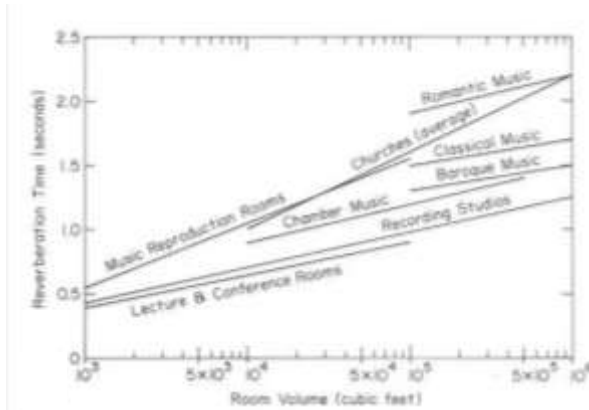


Gambar 3. 15 Contoh Difuser pada dinding dan plafon auditorium

Sumber : <https://www.partitions-walls.com>

Berkaitan dengan fungsi ruang, maka waktu dengung menjadi hal yang harus diperhatikan. Waktu dengung adalah waktu yang dibutuhkan bunyi untuk menurunkan intensitasnya

sebesar 60dB dihitung sejak sumber suara berhenti. Bila sumber suara berhenti di tingkat kekerasan 70 dB lalu setelah 1 detik tingkat kekerasan menjadi 10 dB maka dapat dikatakan waktu dengung ruang tersebut adalah 1 detik. Waktu dengung dipengaruhi oleh volum ruang, luas permukaan bidang ruang dan koefisien absorpsi dalam ruang.



Gambar 3. 16 Diagram Waktu Dengung

Sumber :

<https://duniaakustik.wordpress.com/2009/04/10/waktu-dengung-reverberation-time/>

Secara matematis, dengan volum ruang dan luas bidang yang sama maka perubahan koefisien absorpsi akan mempengaruhi waktu dengung. Semakin banyak permukaan absorpsi nya maka semakin kecil waktu dengung dan sebaliknya. Bila ambil kasus sebuah bangunan atau ruang untuk pertemuan, maka kita akan lebih nyaman mendengar pidato tanpa adanya dengung karena kejelasan yang kita inginkan. Sebaliknya, bila menonton sebuah konser di sebuah ruangan, dengung diperlukan untuk menambah hidup suasana. Suara alat musik juga memerlukan dengung agar lebih dramatis. Jadi waktu dengung akan berbeda sesuai dengan fungsi ruang.

3.5 Cacat Akustik

Dalam sebuah ruang akustik, tidak dipungkiri akan ada cacat akustik. Cacat ini diakibatkan oleh kesalahan dalam mendesain ruang tersebut. Gema adalah pengulangan bunyi secara berkepanjangan. Hal ini karena volum ruang yang besar dan kurangnya lapisan absorpsi. Bayangan bunyi adalah fenomena berkurangnya intensitas bunyi yang dirasakan oleh audien yang berada di bawah tonjolan-tonjolan di dalam ruang. Tonjolan ini dapat berupa balkon, kolom struktur ataupun bidang-bidang dinding. Pemusatan bunyi adalah pemantulan bunyi oleh bidang berbentuk lengkung ke dalam. Efeknya adalah terpusatnya bunyi hanya pada beberapa titik di dalam ruangan. Hal ini mengakibatkan tidak meratanya pendistribusian suara.

Pengendalian bising menjadi hal yang tidak boleh dilupakan. Bising adalah suara yang tidak diinginkan. Keberadaannya akan merusak suara asli yang ingin didengar. Gangguan kebisingan akan menimbulkan efek buruk bagi pendengar. Efek ini tidak hanya fisik tetapi juga fisiologis. Misal, saat orang bekerja di pabrik dengan mesin yang bunyinya nyaring secara terus menerus maka efek jangka panjangnya adalah bisa kehilangan pendengaran atau tuli. Bising juga bisa membuat efek pada emosi seperti misal, sedang berjalan di trotoar tiba-tiba motor dengan knalpot kencang lewat maka akan terasa kesal atau tidak nyaman. Ini adalah contoh bising yang ada di luar ruang.

Dikaitkan dengan keadaan dalam sebuah ruang. Keberadaan bising juga mampu mengurangi distribusi bunyi. Contoh sederhana adalah bunyi orang berjalan di tangga koridor bangku audien. Suara langkah kaki akan terasa mengganggu bila terjadi berkali-kali. Maka dari itu, biasanya lantai untuk tangga pada ruang akustik dilapisi karpet agar mampu meredam suara langkah kaki.

Batas bising manusia berbeda-beda. Tetapi umumnya kekerasan suara di atas 80 dB akan mulai mengganggu. Durasi terpapar bising juga berkorelasi dengan tingkat kekerasan bunyi. Bila tingkat kekerasan bunyinya tinggi maka dalam waktu singkat pun bisa menimbulkan gangguan. Bising dipengaruhi oleh tiga hal. Pertama adalah sumber bunyi, kedua adalah media rambat, ketiga penerima bunyi.

Pengontrolan bising dapat dimulai dengan memperhatikan ketiga hal tersebut. Sumber bunyi yang berpotensi mengakibatkan bising dapat dicari alternatif pengganti yang lebih rendah kekerasan bunyinya. Media rambat dihalangi dengan adanya insulasi berupa pembuatan ruang tersendiri bagi sumber bunyi, bisa juga dengan menjauhkan penerima dari sumber bunyi atau menerapkan lapisan absorpsi agar meredam getaran pembuat bising. Penerima bunyi dikondisikan memakai pelindung telinga agar dapat terhindar dari kebisingan yang berlebih dalam waktu lama.

3.3 Strategi Penanganan Kebisingan

Strategi untuk mengurangi kebisingan dibagi menjadi 2 yaitu penanganan kebisingan interior dan eksterior. Dalam lingkungan akustik yang tertutup(interior) beberapa strategi dapat dilakukan, yaitu :

1. Pengelompokan ruang berdasarkan toleransi terhadap bising.
2. Membuat ruang antara untuk menjauhkan ruang akustik dari sumber bunyi.
3. Memakai material *finishing* yang menyerap bunyi di sekitar ruang akustik untuk meredam bising.

Strategi penanganan kebisingan eksterior diantaranya adalah :

1. Penggandaan jarak antara sumber bunyi dengan bangunan. Hal ini sesuai sifat transmisi bunyi yang menyatakan bahwa intensitas bunyi akan berkurang 6 dB bila jarak digandakan.
2. Mengatur tata letak bangunan sesuai aktivitas dan kebisingan.
3. Mengusahakan bukaan ruang atau gedung tidak menghadap sumber bunyi.
4. Menggunakan elemen lansekap sebagai tabir atau penghalang
5. Mengolah kontur tanah agar bangunan yang membutuhkan ketenangan berada di lahan yang lebih tinggi sehingga bunyi bisa tertahan oleh undakan atau kemiringan tanah.
6. Membuat daerah bayangan bunyi untuk mereduksi bising.

DAFTAR PUSTAKA

- Doelle, Leslie. L. 1985. *Akustik Lingkungan*. Terjemahan Oleh Lea Prasetya dari *Environmetal Acoustic* (1975). Jakarta: Erlangga.
- Egan, M.D., 1988, *Architectural Acoustics*, J. Ross Publishing, New York.
- Frick, Heinz, 2008, *Ilmu Fisika Bangunan*, kanisius, Yogyakarta
- Latifah, Nur Laela 2015. *Fisika Bangunan 2*. Jakarta: Griya Kreasi
- Mehta, Mahdan; Jim Johnson & Jorge Rocafort. 1999. *Architectural Acoustics, Principles & Design*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Satwiko, P., 2009, *Fisika Bangunan*. Yogyakarta : C.V Andi Offset
- Sutanto, Handoko. 2015. *Prinsip – prinsip Akustik dalam Arsitektur*. Daerah Istimewa Yogyakarta : PT KANISIUS.

BAB 4

RADIASI MATAHARI

Oleh Retno Puspaningtyas

4.1 Pendahuluan

Radiasi matahari mengacu pada energi radiasi yang dipancarkan oleh matahari. Radiasi matahari sampai ke bumi dengan melewati atmosfer bumi yang terdiri dari debu dan uap air sehingga mempengaruhi tingkat energi radiasi yang sampai ke bumi. Radiasi matahari merupakan faktor penting untuk dipertimbangkan ketika menangani kenyamanan termal pada bangunan gedung, karena hal ini berdampak langsung pada suhu dan tingkat cahaya di lingkungan dalam atau luar ruangan. Secara umum, radiasi matahari dapat dibagi menjadi tiga kategori berdasarkan panjang gelombangnya :

1. Radiasi UV (Ultraviolet). Radiasi UV adalah radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang yang lebih pendek dari cahaya tampak, sehingga manusia tidak dapat melihatnya secara langsung. Terdapat tiga jenis Radiasi Ultraviolet, yaitu UV-A, UV-B, dan UV-C. Paparan berlebihan terhadap sinar UV-B, misalnya, dapat menyebabkan kerusakan kulit dan kanker kulit.
2. Radiasi cahaya terlihat. Radiasi ini merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik yang terlihat oleh mata manusia. Radiasi cahaya terlihat mencakup berbagai warna, mulai dari merah hingga ungu, dengan panjang gelombang yang bervariasi. Cahaya matahari yang terlihat adalah yang

paling terang dan dominan dalam pengalaman visual manusia.

3. Radiasi inframerah. Radiasi inframerah gelombangnya lebih panjang dari warna merah dan tidak terlihat oleh mata manusia. Radiasi ini berkontribusi pada pemanasan atmosfer Bumi dan merupakan komponen penting dalam transfer panas, terutama dalam konteks kenyamanan termal dan pemanasan global.

Dengan mengkaji radiasi matahari terhadap kenyamanan termal, kita dapat memperoleh wawasan berharga tentang cara menciptakan ruang yang dapat meningkatkan kesejahteraan dan produktivitas sekaligus meminimalkan potensi dampak negatif radiasi matahari. Hal ini penting karena sebagian besar kegiatan manusia berada di dalam ruangan, sehingga kualitas lingkungan dalam ruangan penting bagi kesehatan kita (Raheem et al., 2014).

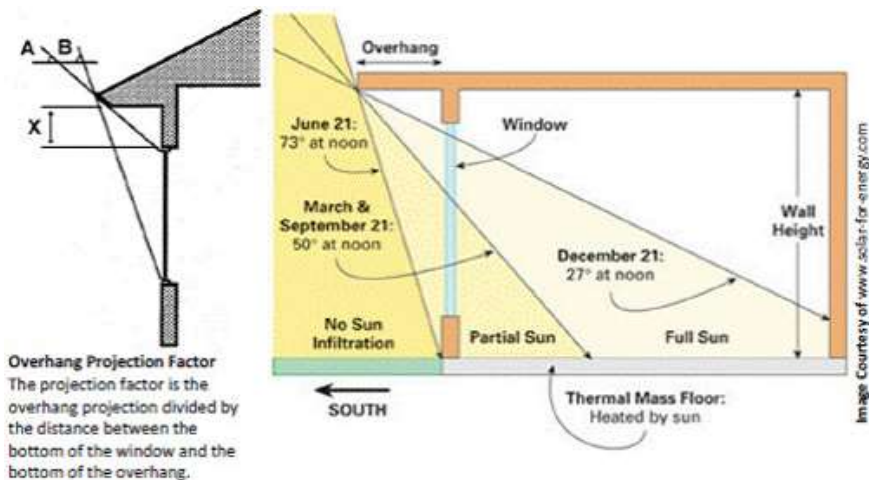
Adanya perbedaan suhu antara dua objek yang menyebabkan panas mengalir dari objek yang lebih panas ke objek yang lebih dingin disebut dengan perpindahan kalor/panas. Perpindahan kalor/panas terdiri dari 3 (tiga) jenis, yaitu :

1. Konduksi merupakan perpindahan kalor yang terjadi melalui kontak langsung antar partikel-partikel benda tersebut.
2. Konveksi merupakan perpindahan kalor yang terjadi dengan melibatkan pergerakan massa fluida (gas atau cairan) yang mengalir, menghantarkan panas dari satu tempat ke tempat yang lain. Pada bangunan, konveksi panas dapat terjadi pada bukaan jendela dan ventilasi.
3. Radiasi adalah proses transfer kalor melalui gelombang elektromagnetik yang merambat melalui medium transparan tanpa memerlukan medium materi untuk bergerak.

Selanjutnya, kita akan mempelajari dampak spesifik setiap komponen radiasi matahari terhadap kenyamanan termal dan mengeksplorasi strategi untuk memitigasi dampak negatif, yang pada akhirnya bertujuan untuk menciptakan lingkungan yang kondusif bagi kesejahteraan dan produktivitas manusia. Sebagian sinar matahari yang mencapai permukaan bumi dipantulkan, sedangkan sisanya diserap dan diubah menjadi panas. Penyerapan energi matahari ini berkontribusi terhadap variasi suhu yang dialami permukaan terbuka, baik secara horizontal maupun vertikal. Untuk mengurangi dampak negatif radiasi matahari dan memastikan kenyamanan termal, beberapa prinsip arsitektur surya pasif dapat diterapkan. Ini termasuk peneduh eksterior, zonasi termal, dan penggunaan massa termal. Peneduh eksterior sangat efektif dalam mengurangi radiasi matahari, karena mencegah pelepasan panas yang diserap ke dalam bangunan (Alaydrus dkk., 2021).

Menurut Givoni (1994) dalam bukunya yang berjudul *Passive Low Energy Cooling of Building*, radiasi matahari pada bangunan dapat dikontrol melalui peneduh pada jendela/bukaannya dan warna pada dinding. Dinding berwarna putih atau dinding yang dinaungi oleh tumbuh-tumbuhan secara efektif terkena radiasi yang lebih rendah meskipun menghadap ke timur atau barat. Hampir sama halnya dengan bukaan timur dan barat, jika dilengkapi dengan daun jendela maka dapat terlindung dari radiasi sinar matahari sekaligus memanfaatkan angin timur atau barat sebagai ventilasi.

4.2 Solar Shading



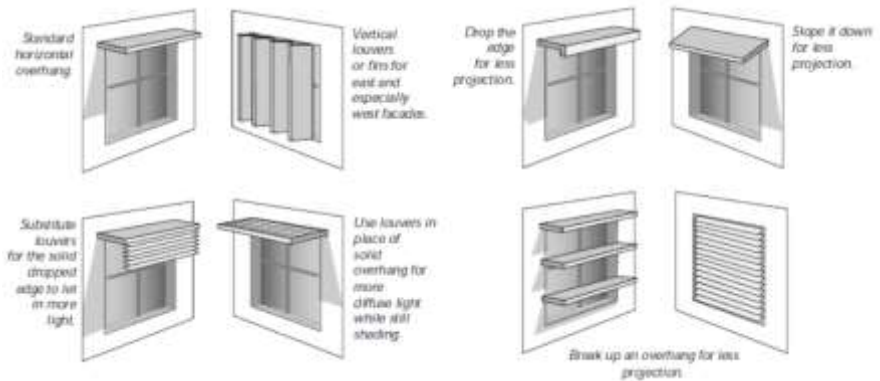
Gambar 4. 1 Overhang Sebagai Solar Shading Sebagai Peneduh Eksterior Pada Jendela

(sumber : <https://www.wbdg.org/resources/sun-control-and-shading-devices>, diakses 30 April 2024)

Solar shading merupakan peneduh matahari di luar jendela yang fungsinya sangat efektif untuk menaungi bukaan bangunan dan menghalangi masuknya radiasi matahari ke dalam bangunan. Peneduh yang efektif didesain berdasarkan orientasi matahari pada fasad bangunan. Contohnya pada bangunan di Washington DC, peneduh yang desainnya sederhana tetap efektif memberikan pembayangan pada jendela yang menghadap ke selatan di musim panas ketika sudut matahari sedang tinggi. Namun, tipe peneduh yang sama tidak akan efektif dalam menghalangi sinar matahari sore yang masuk melalui jendela yang menghadap ke barat selama musim panas (Prowler, 2016).

Bentuk peneduh yang paling umum adalah *fixed overhang horizontal exterior* (peneduh eksternal tetap) seperti pada gambar di atas. Ini digunakan pada sisi bangunan yang menghadap jalur matahari, terkadang termasuk menghadap timur dan barat. Namun, sisi timur dan barat seringkali lebih membutuhkan sirip vertikal untuk menghindari sinar matahari dengan sudut rendah.

Sisi bangunan yang menghadap jauh dari garis khatulistiwa tidak memerlukan naungan, kecuali di dekat garis khatulistiwa dimana matahari mungkin berada di sisi utara atau selatan tergantung musim. Ada banyak variasi pada *fixed overhang horizontal exterior*, variasi jumlah profil agar lebih banyak cahaya menyebar masuk ke dalam ruangan.



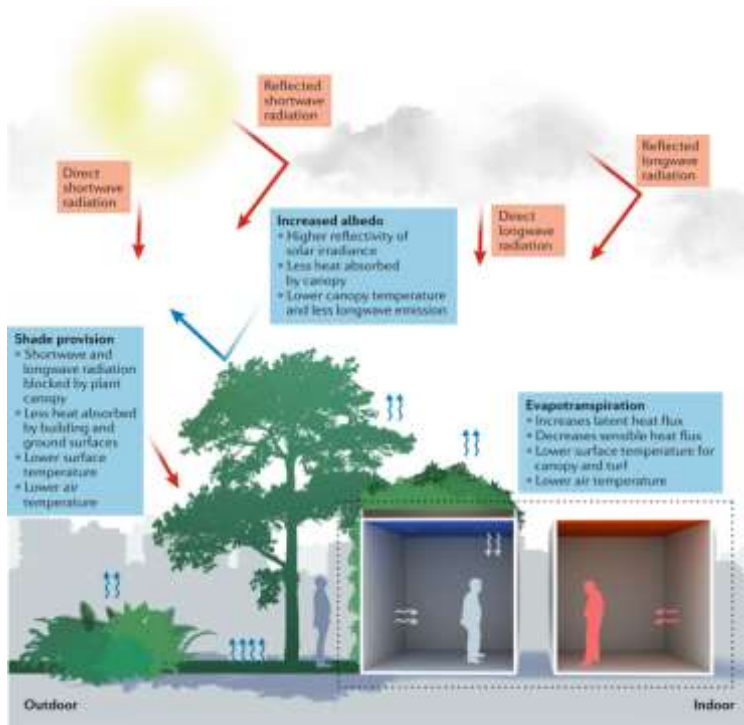
Gambar 4. 2 Berbagai Tipe Desain Solar Shading Pada Lawrence Berkeley Lab's "Tips For Daylighting With Windows"

(sumber :

<https://sustainabilityworkshop.venturewell.org/buildings/shading-solar-heat-gain.html>, diakses 30 April 2024)

Selain overhang pada exterior jendela, solar shading juga bisa dilakukan dengan menambahkan komponen tanaman hijau yang letaknya didepan bukaan bangunan.

4.3 Vegetasi Sebagai Peneduh



Gambar 4. 3 Ilustrasi Penggunaan Pepohonan, Taman Vertikal Dan Atap Hijau Sebagai Metode Untuk Mengurangi Panas Radiasi Matahari

(sumber : Wong, N.H, 2021)

Vegetasi, terutama pohon-pohon, memiliki dampak signifikan pada iklim mikro di suatu wilayah. Pohon memiliki kemampuan untuk menyerap radiasi matahari, memberikan bayangan sebagai peneduh, dan melakukan transpirasi yang bisa mengurangi temperatur udara dan melembapkan udara (Sapariyanto et al., 2016). Sebagai bagian dari vegetasi, pohon dianggap sebagai faktor yang efektif dalam menciptakan kenyamanan di sekitar bangunan. Kemampuan pohon dalam menurunkan suhu dan memantulkan radiasi matahari telah diakui sebagai kontributor positif terhadap kenyamanan termal (Gunawan & Ananda, 2017). Keberadaan lingkungan yang masih

alami, dengan banyaknya vegetasi, terbukti dapat memengaruhi kenyamanan iklim mikro. Pohon tersedia dalam berbagai ukuran, kepadatan daun, dan bentuk yang bermacam-macam yang berfungsi sebagai peneduh.

Di wilayah perkotaan, dimana efek pulau panas perkotaan (*urban heat island*) memperburuk suhu tinggi, penerapan infrastruktur ramah lingkungan dapat memberikan perbedaan yang signifikan. Dengan menggabungkan atap hijau, taman vertikal, dan jalan dengan deretan pepohonan, kota dapat mengurangi dampak radiasi matahari dan menciptakan lingkungan hidup yang lebih nyaman dan berkelanjutan bagi penduduknya. Selain itu, penggunaan pepohonan dan vegetasi dalam lansekap dapat mengurangi suhu permukaan, meminimalkan limpasan air hujan, dan meningkatkan ketahanan ruang perkotaan secara keseluruhan terhadap perubahan iklim.

Selain itu, manfaat penggunaan pepohonan dan tumbuh-tumbuhan untuk menghalangi radiasi matahari tidak hanya berdampak pada lingkungan saja. Kehadiran ruang hijau banyak dikaitkan dengan berbagai manfaat kesehatan, termasuk dapat mereduksi tekanan psikologis, meningkatkan kesehatan mental, dan menyebabkan peningkatan aktivitas fisik. Oleh karena itu, mengintegrasikan elemen alam ke dalam desain perkotaan tidak hanya mengatasi tantangan radiasi matahari yang berlebihan namun juga meningkatkan kesejahteraan penduduk perkotaan secara keseluruhan. Kesimpulannya, pemanfaatan pepohonan dan tumbuh-tumbuhan secara strategis untuk mengurangi radiasi matahari menawarkan solusi beragam terhadap tantangan lingkungan, sosial, dan ekonomi yang terkait dengan kenaikan suhu. Dengan menyadari nilai infrastruktur ramah lingkungan dan memasukkannya ke dalam perencanaan dan perancangan kota, masyarakat dapat menciptakan ruang yang lebih berkelanjutan, berketahanan, dan layak huni untuk generasi sekarang dan masa depan.

4.4 Material dan Warna pada Material

Penggunaan material dengan warna terang dapat membantu mengurangi penyerapan radiasi matahari dan meminimalkan panas yang diserap oleh bangunan atau permukaan lainnya. Warna terang, seperti putih atau warna pastel, memiliki kemampuan yang lebih baik untuk memantulkan cahaya matahari daripada warna gelap. Ketika permukaan yang cerah memantulkan cahaya, lebih sedikit energi panas yang diserap oleh bahan tersebut. Penggunaan material dengan warna terang dapat membantu menjaga suhu interior bangunan tetap sejuk, mengurangi kebutuhan akan pendinginan buatan seperti AC, sehingga dapat mereduksi penggunaan energi dan emisi gas rumah kaca. Hal ini adalah salah satu strategi yang umum digunakan dalam desain bangunan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Menurut teori warna yang dijelaskan oleh Daniel (1997), warna-warna terang cenderung memantulkan cahaya, sementara warna-warna gelap lebih banyak menyerap cahaya. Daya serap dan daya pantul suatu bahan ditentukan oleh koefisien penyerapan bahan (α), yang menggambarkan kemampuan bahan dalam menyerap cahaya. Setiap bahan memiliki koefisien penyerapan yang berbeda, bergantung pada sifat-sifatnya, termasuk warna permukaan bahan (Mangunwijaya, 1980). Tingkat daya serap dan daya pantul suatu bahan dapat mempengaruhi kenyamanan termal di dalam maupun di luar bangunan.

Overall Thermal Transfer Value (OTTV) merupakan perhitungan yang digunakan dalam penilaian performa termal bangunan, khususnya dalam kaitannya dengan potensi panas yang masuk ke dalam gedung melalui pencahayaan matahari dan panas yang masuk melalui konduksi, konveksi, dan radiasi. Menurut SNI-03-0689-2011, pengertian OTTV adalah nilai yang diterapkan sebagai syarat desain untuk tembok dan kaca eksterior bangunan gedung pada kondisi tertentu. Semakin kecil

nilai OTTV maka perpindahan panas yang terjadi dalam bangunan semakin kecil. Besaran nilai perpindahan termal menyeluruh untuk tembok dan atap tidak diizinkan lebih dari 35 W/m². Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai OTTV, diantaranya adalah material fasad bangunan serta desain bukaan yang digunakan. Nilai perpindahan termal secara keseluruhan atau OTTV untuk setiap bidang tembok eksterior gedung pada orientasi tertentu, dapat diperoleh melalui persamaan (SNI-03-0689-2011) :

$$\text{OTTV} = \alpha [(UW \times (1 - \text{WWR}) \times \text{TDEk}] + (U_f \times \text{WWR} \times \Delta T) + (\text{SC} \times \text{WWR} \times \text{SF})$$

Keterangan :

- OTTV = Nilai perpindahan termal menyeluruh pada dinding luar yang memiliki arah atau orientasi tertentu (W/m²);
- α = Absorbtans radiasi matahari.
- UW = Transmittans termal dinding tidak tembus cahaya (W/m².K);
- WWR = *window to wall ratio* (Perbandingan luas bukaan/jendela dengan luas seluruh dinding eksterior pada orientasi yang ditentukan);
- TDEk = Beda temperatur ekuivalen (K);
- SF = Faktor radiasi matahari (W/m²);
- SC = Koefisien peneduh dari sistem fenestrasi;
- U_f = Transmittans termal fenestrasi (W/m².K);
- ΔT = Beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan bagian dalam (diambil 5K).

Menurut SNI 03-0689-2011 (Konservasi energi selubung bangunan pada bangunan gedung), Semakin tinggi nilai absortan maka akan semakin tinggi panas yang diserap oleh material itu sendiri.

Tabel 4. 1 Nilai Koefisien Absortan Radiasi Matahari

Material Tembok Eksterior	α
Beton berat	0,91
Bata merah	0,89
Bituminous felt	0,88
Batu sabak	0,87
Beton ringan	0,86
Aspal jalan setapak	0,82
Kayu permukaan halus	0,78
Beton ekspos	0,61
Ubin putih	0,58
Batu kuning tua	0,56
Atap putih	0,50
Cat aluminium	0,40
Kerikil	0,29
Seng putih	0,26
Bata glazur putih	0,25
Lembar aluminium yang dikilapkan	0,12

Sumber : SNI-03-0689-2011

Warna juga berpengaruh terhadap penyerapan radiasi matahari. Semakin tinggi nilai absortan suatu material maka akan semakin mudah material tersebut dalam menyerap panas.

Tabel 4. 2 Nilai Absortan Radiasi Matahari Berdasarkan Warna Cat

Warna cat permukaan tembok eksterior	α
Hitam merata	0,95
Pernis hitam	0,92
Abu-abu tua	0,91

Warna cat permukaan tembok eksterior	α
Pernis biru tua	0,91
Cat minyak hitam	0,90
Coklat tua	0,88
Abu-abu/biru tua	0,88
Biru/hijau tua	0,88
Coklat medium	0,84
Pernis hijau	0,79
Hijau medium	0,59
Kuning medium	0,58
Hijau/biru medium	0,57
Hijau muda	0,47
Putih semi kilap	0,30
Putih kilap	0,25
Perak	0,25
Pernis putih	0,21

Sumber : SNI-03-0689-2011

Selain faktor koefisien yang telah disebutkan sebelumnya, dalam perhitungan OTTV juga terdapat variabel yang disebut sebagai Beda Temperatur Ekuivalen (TDEk). TDEk merujuk pada perbedaan antara suhu internal dengan suhu eksternal tembok atau atap bangunan, yang dipengaruhi oleh radiasi matahari dan suhu udara luar. Perbedaan ini dianggap sebagai kondisi quasistatik yang menyebabkan aliran panas melalui tembok atau atap, yang kemudian dianggap setara dengan aliran panas yang sebenarnya. Selisih suhu ekuivalen (TDEk) dipengaruhi oleh :

- Tipe, massa dan kepadatan material.
- Besarnya tingkat radiasi dan lamanya penyinaran.

- Lokasi serta orientasi bangunan terhadap matahari.
- Kondisi perancangan.

Berdasarkan standar SNI 03-0689-2011 mengenai konservasi energi dalam selubung bangunan gedung, ada beberapa strategi yang dapat digunakan untuk menurunkan nilai OTTV guna mencapai efisiensi energi, yaitu :

- Melakukan substitusi warna cat pada tembok eksternal dari yang awalnya berwarna gelap menjadi warna yang lebih terang (modifikasi nilai α).
- Memodifikasi bukaan/jendela dengan pemasangan kaca ganda (Modifikasi U_f).
- Menginstal material insulasi pada tembok serta pada atap (Modifikasi U_w dan U_r).
- Mengurangi rasio antara bukaan/jendela luar dan tembok luar (modifikasi *Window to Wall Ratio*).
- Memasang alat peneduh (*fixed solar shading*) pada bukaan/jendela luar.

Banyak penelitian telah dilakukan di berbagai negara untuk mengeksplorasi penggunaan pengecatan sebagai metode untuk mengurangi panas yang diserap oleh bangunan dari sinar matahari, yang dikenal sebagai "konsep pengecatan dingin" atau "*cool coating concepts*". Menurut Pissello (2017), dalam kurun waktu sepuluh tahun, terdapat 260 publikasi yang menyoroti manfaat beragam dari pendekatan pendinginan pasif dengan menggunakan pengecatan dingin baik untuk kondisi dalam ruangan maupun luar ruangan. Penelitian lebih lanjut dilakukan untuk menginvestigasi aspek-aspek seperti: (i) dampak pengecatan dingin terhadap pejalan kaki, (ii) peran pengecatan dingin dalam meningkatkan efisiensi sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*), dan (iii) integrasi pengecatan dingin dengan teknik penyimpanan energi panas (Pissello, 2017).

Selain itu, terdapat juga cat pemantul panas, juga dikenal sebagai *solar-reflective paint*. *Solar-reflective paint* adalah formulasi cat yang dirancang khusus untuk meningkatkan kemampuannya dalam memantulkan sinar matahari

dibandingkan dengan jenis cat lainnya, yang biasanya disebut juga sebagai *cool paint* atau *cool roof paints*. Secara alami, kemampuan cat untuk memantulkan atau menyerap panas dipengaruhi oleh warna cat tersebut. Standar pengukuran SRI (*Solar Reflective Index*) menggunakan warna putih dan hitam sebagai referensi. Nilai SRI merupakan parameter yang mengindikasikan kemampuan cat dalam merefleksikan panas, sehingga diharapkan bahwa cat ini memiliki nilai SRI yang lebih tinggi daripada cat lain dengan warna yang sama.

Pemanfaatan cat yang memantulkan panas pada bangunan memiliki beberapa kelebihan, seperti mereduksi penggunaan energi untuk mendinginkan ruangan, melindungi material bangunan dari kerusakan karena korosi, dan memiliki nilai estetika. Beberapa produsen cat di Indonesia telah menghasilkan produk cat pemantul panas, yang menyoroti pentingnya adopsi standar spesifikasi produk dan penelitian untuk meningkatkan kualitasnya. Untuk pengembangan cat pemantul panas ini, tentunya penetapan variabel mutu yang akurat sangat krusial untuk menciptakan produk yang berkualitas dan sesuai dengan lingkungan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Adeeba A. Raheem, R. R. A. I. S. O., 2014. *Impacts of Different Window-Shading Assemblies on Energy, Thermal Comfort and Daylighting for a South-Facing, Mid-Rise Office Building in Florida*. Florida, American Society of Civil Engineers.
- Anon., u.d. <https://sustainabilityworkshop.venturewell.org>. [Online] Available at: <https://sustainabilityworkshop.venturewell.org/buildings/shading-solar-heat-gain.html> [Använd 30 April 2024].
- FE Alaydrus, W. W. A. G. P., 2020. *The application of exterior sun shading on an office building*. Banten, Indonesia, IOP Publishing Ltd.
- Givoni, B., 1994. *Passive Low Energy Cooling of Buildings*. New Jersey, USA: Wiley.
- Gunawan, F. A., 2017. Aspek Kenyamanan Termal Ruang Belajar Gedung Sekolah Menengah Umum di Wilayah Kecamatan Mandau. *Jurnal INOVTEK POLBENG*, Volume 7 nomor 2(November), pp. 98-103.
- Hashem Akbari, R. L., 2008. Evolution of Cool-Roof Standards in the US. *Advances in Building Energy Research*, 2(1), pp. 1-32.
- Klaus, D., 1997. *The Technology of Ecological Building*. Berlin: Birkhauser Verlag.
- Mangunwijaya, Y. B., 1980. *Pasal-pasal Penghantar Fisika Bangunan*. Indonesia: Gramedia.
- Nyuk Hien Wong, C. L. T. D. K. H. T., 2021. Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat. *Nature reviews earth and environment*, Issue January, pp. 166-181.

- Pisello, A. L., 2017. State of the art on the development of cool coatings for buildings and cities. *Solar Energy*, 144(March), pp. 660-680.
- Prowler, D., 2016. <https://www.wbdg.org>. [Online] Available at: <https://www.wbdg.org/resources/sun-control-and-shading-devices> [Använd 30 April 2024].
- Sapariyanto, S. B. Y. M. R., 2016. Kajian Iklim Mikro Di Bawah Tegakan Ruang Terbuka Hijau Universitas Lampung. *Jurnal Sylva Lestari*, Volym Volume 4 No.3, pp. 114-123.
- SNI-03-0689-2011, u.d. *Konsevasi energi selubung bangunan pada bangunan gedung*. u.o.:u.n.

BAB 5

PENCAHAYAAN ALAMI DAN BUATAN

Oleh Christy Gery Buyang

5.1 Pengertian Pencahayaan

Dalam perencanaan dan perancangan setiap bangunan, sistem pencahayaan dan penghawaan merupakan hal penting untuk dilihat karena bisa mempengaruhi aktivitas manusia. Dari aspek non fisik, pencahayaan pada bangunan akan mempengaruhi individualitas bangunan, maknanya, dan pandangan pengguna terhadap bangunan (Mandala dan Sheila, 2018). Cahaya adalah bentuk energi elektromagnetik yang terlihat oleh mata manusia. Secara teknis, cahaya adalah gelombang elektromagnetik yang terdiri dari berbagai dimensi gelombang, yang tervisualkan mata manusia dalam rentang spektrum yang disebut sebagai cahaya tampak. Namun, cahaya juga dapat terjadi di luar rentang spektrum tampak, seperti sinar inframerah dan ultraviolet.

5.2 Sumber Pencahayaan

Sumber pencahayaan adalah objek atau perangkat yang menghasilkan cahaya, mulai dari cahaya alami matahari yang penting bagi kehidupan, hingga lampu listrik buatan yang umum digunakan di dalam rumah dan tempat kerja, serta lampu sorot yang memberikan penerangan fokus untuk panggung atau

penerangan eksterior. Setiap sumber pencahayaan memiliki karakteristik dan aplikasi yang berbeda, mempengaruhi cara kita menerangi ruang dan lingkungan sekitarnya.

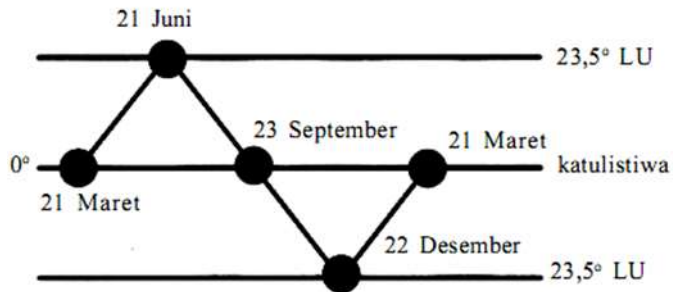
5.2.1 Pencahayaan Alami (*Natural lighting*)

Pencahayaan alami adalah cahaya yang diterima dari sumber alami seperti matahari, memainkan peran penting dalam penciptaan atmosfer ruang dan kualitas visual di dalam bangunan. Pencahayaan alami dapat mempengaruhi suasana ruangan, kesehatan, dan kenyamanan penghuninya, serta membantu mengurangi konsumsi energi dengan meminimalkan ketergantungan pada pencahayaan buatan di siang hari. Pemanfaatan cahaya alami dalam desain arsitektur dapat meningkatkan kualitas hidup manusia dan mempromosikan keberlanjutan

Menurut Sutanto (2018), keuntungan utama dari sinar matahari adalah mengurangi konsumsi energi listrik. Faktor-faktor yang perlu dilihat supaya penggunaan pencahayaan alami dapat memberikan manfaat, yaitu :

1. Variasi intensitas cahaya matahari.
2. Distribusi terangnya cahaya.
3. Efek dari lokasi, pemantulan cahaya, dan jarak bangunan.
4. Letak geografis dan kegunaan Gedung.

Cahaya yang dipancarkan oleh matahari ke permukaan bumi terdiri dari berbagai panjang gelombang yang membentuk spektrum cahaya tampak. Cahaya ini memberikan energi yang diperlukan untuk fotosintesis oleh tanaman dan menyediakan sumber utama pencahayaan alami di Bumi, mempengaruhi iklim, siklus hidrologi, dan pola kehidupan di planet kita. Proses ini terjadi melalui transmisi radiasi elektromagnetik dari matahari, yang mencakup sinar ultraviolet, cahaya tampak, dan sinar inframerah. Satuan waktu hari, tahun, cuaca, polusi dapat mempengaruhi jumlah cahaya matahari yang tersedia.



Gambar 5. 1 Pergerakan Matahari di Indonesia
(Sumber: Lechner, 2001)

Menurut SNI 03-2396-2001 tentang tata cara perancangan pencahayaan alami pada gedung, pencahayaan alami siang hari lebih efektif apabila :

1. Pada jam 08.00 pagi sampai dengan jam 16.00 sore waktu setempat terdapat cahaya yang cukup banyak ke dalam ruangan, dan
2. Distribusi cahaya di dalam ruangan tidak silau yang mengganggu dan cukup merata.

5.2.2 Pencahayaan Buatan (*Artificial lighting*)

Pencahayaan buatan merupakan cahaya yang dihasilkan oleh perangkat buatan seperti lampu, memberikan penerangan di dalam ruangan ketika cahaya alami tidak mencukupi. Berbagai jenis lampu pijar, lampu neon, dan lampu LED, pencahayaan buatan dapat disesuaikan dengan kebutuhan ruang dan aktivitas, menciptakan atmosfer yang diinginkan di dalam ruangan. Penggunaan pencahayaan buatan yang cerdas dan efisien dapat meningkatkan kenyamanan visual, produktivitas, dan efisiensi energi di berbagai lingkungan.

Ada 5 kategori pencahayaan yang dihasilkan oleh penerangan ruang antar lain:

1. Pencahayaan tidak langsung (*indirect lighting*).

Pada sistem pencahayaan ini 90-100% cahaya mengarah langsung ke benda yang perlu diterangi. Pencahayaan ini sangat efektif dalam mengatur pencahayaan. Kelemahan dari sistem pencahayaan ini adalah jika lampu yang digunakan kurang sesuai dapat menimbulkan kesilauan yang tidak nyaman. Pencahayaan ini sangat baik dipadukan dengan objek dengan warna terang.



Gambar 5.2 Indirect Lighting

(Kartikowati, 2005)

2. Pencahayaan semi tidak langsung (*semi indirect lighting*).

Cahaya mengarah ke atas dan sebagian dipancarkan ke arah bawah melalui komponen-komponen tembus cahaya yang terdapat pada sumber cahaya. Sekitar 60-90% cahaya diarahkan ke atas, sedangkan 10-40% diarahkan ke bawah. Dengan demikian dapat dihindarkan adanya perbedaan cahaya yang besar dan terlalu tajam antara bidang langit-langit dengan kesan ruang secara keseluruhan.



Gambar 5.3 *Semi Indirect Lighting*

(Kartikowati, 2005)

3. Pencahayaan semi langsung (*semi direct lighting*).

Pada sistem pencahayaan ini 60-90% cahaya diarahkan langsung ke objek yang perlu diterangi, sisanya dipantulkan ke komponen ruangan. Dengan sistem ini kelemahan sistem pencahayaan langsung dapat dikurangi. Komponen ruangan yang dipilester putih memiliki efisiensi pemantulan hampir 90%.



Gambar 5.4 *Semi Direct Lighting*

(Kartikowati, 2005)

4. Pencahayaan langsung (*direct lighting*).

Semua cahaya dari sumber pencahayaan diarahkan ke bawah, sehingga penerangan atas tergantung pantulan dari bawah. Terkadang ruang dirancang sedemikian, langit-langit sengaja diberi warna lebih gelap dan lampu-lampu digantungkan, dengan maksud :

- a. Memperbaiki pembagian ruangan yang tidak sesuai.
- b. Menyamarka jaringan utilitas pada bidang atas ruangan.



Gambar 5.5 *Direct Lighting*

(Kartikowati, 2005)

5. Pencahayaan menyebar (*general diffuse lighting*).

Cahaya didistribusikan ke segala arah, lampu menjadi sumber cahaya utama, seluruh bidang lain menjadi sumber cahaya pantul.



Gambar 5. 6 General Diffused Lighting

(Kartikowati, 2005)

Tata cara perancangan sistem pencahayaan buatan melibatkan beberapa langkah penting. Pertama, identifikasi kebutuhan pencahayaan ruang, termasuk fungsi ruangan, aktivitas yang dilakukan di dalamnya, dan preferensi pengguna. Kedua, pilih jenis lampu yang sesuai dengan kebutuhan dan preferensi desain, mempertimbangkan faktor seperti efisiensi energi, kualitas cahaya, dan umur lampu. Ketiga, tentukan distribusi pencahayaan yang optimal dengan memperhatikan titik-titik fokus, intensitas, dan distribusi cahaya yang merata di semua ruang. Keempat, integrasikan kontrol pencahayaan yang sesuai, seperti dimmer atau sensor gerak, untuk mengatur tingkat pencahayaan sesuai dengan kondisi dan kebutuhan saat berbeda. Terakhir, lakukan evaluasi dan pengujian sistem pencahayaan untuk memastikan bahwa sistem dapat memenuhi tujuan desain, memberikan kenyamanan visual, efisiensi energi, dan memenuhi standar keamanan yang diperlukan.

5.3 Perhitungan Pencahayaan

Perhitungan pencahayaan melibatkan evaluasi intensitas cahaya yang diterima di suatu area tertentu dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti kebutuhan aktivitas dan standar pencahayaan yang berlaku. Penggunaan rumus-rumus matematika dan perangkat lunak simulasi dapat membantu dalam menghitung distribusi cahaya yang optimal dan memastikan kenyamanan visual di dalam ruang. Hasil perhitungan ini membantu dalam merancang sistem pencahayaan yang efisien dan efektif untuk berbagai keperluan ruang, mulai dari tempat kerja hingga ruang tinggal. Pencahayaan (iluminasi) adalah salah satu elemen perancangan bangunan baik secara eksterior maupun interior.

Besarnya iluminasi (E) bergantung dari jumlah fluks cahaya dari luas bidang kerja yang dinyatakan dalam lux (lx). Persamaan dari iluminasi ditunjukkan pada persamaan :

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

Keterangan :

E = Iluminasi/tingkat pencahayaan (lux)

Φ = Fluks cahaya (lumen)

A = Luas permukaan (m^2)

5.3.1 Perhitungan Tingkat Pencahayaan Buatan

Sistem pencahayaan buatan merupakan pencahayaan yang dihasilkan dari sumber cahaya yang tidak didapat dari pencahayaan sinar matahari. Pencahayaan buatan diperlukan apabila penerangan oleh system pencahayaan alami sulit dicapai. Menghitung tingkat pencahayaan buatan pada Gedung berdasarkan SNI 03-6575-2001, maka perlu diperhatikan beberapa kriteria perencanaan sebagai berikut :

1. Tingkat pencahayaan rata-rata $E_{rata-rata}$ (lux) dapat diketahui dengan perhitungan menggunakan rumus :

$$E_{rata-rata} = \frac{F_{total} \times k_p \times k_d}{A} \text{ (lux)}$$

Keterangan :

F_{total} = Fluks luminus total dari semua lampu yang menerangi bidang kerja (lumen)

A = Luas bidang kerja (m^2)

k_p = koefisien penggunaan

k_d = koefisien depresiasi/penyusutan

2. Fluks total dari semua lampu yang menerangi bidang kerja (F_{total}) dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$F_{\text{total}} = n \times F$$

Keterangan :

n = jumlah lampu yang terpasang pada ruangan

F = fluks cahaya (lumen)

3. Koefisien Penggunaan (K_p).

Diperlukan nilai indeks ruang (IR) untuk mengetahui nilai K_p yaitu nilai angkat yang mewakili geometris suatu ruang. Dijelaskan dengan rumus :

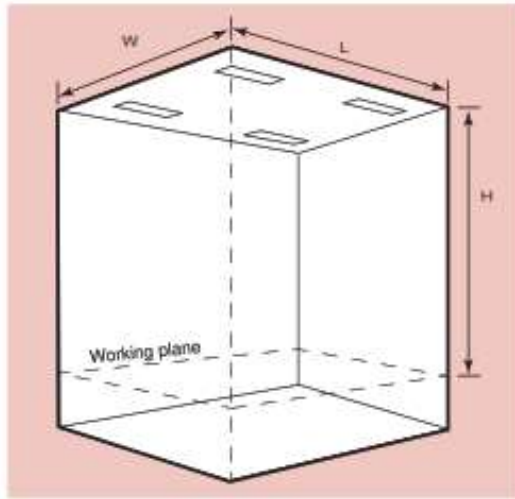
$$IR = \frac{(l \times w)}{h_{\text{eff}}(l + w)}$$

Keterangan :

l = Panjang ruangan (m)

w = lebar ruangan (m)

h_{eff} = tinggi lampu terhadap bidang kerja (m)

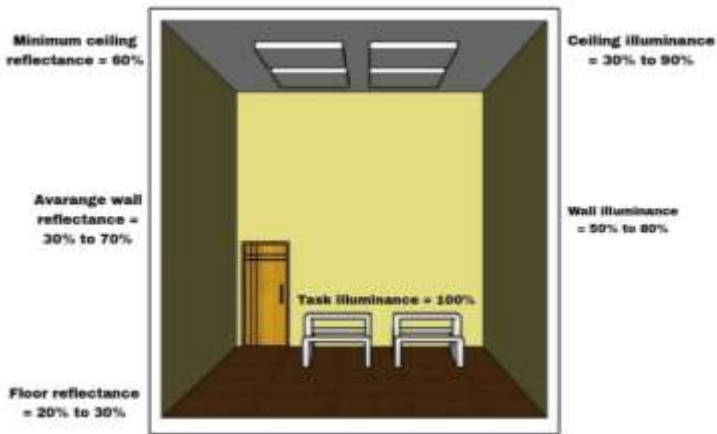


Gambar 5. 7 Indeks Ruangan

(Sumber : Pieter Karunia Deo, 2018)

Didalam buku *IESNA Lighting Handbook* (2000) dinyatakan bahwa dinding dan langit-langit terang, baik netral maupun berwarna, lebih efisien dengan dinding gelap dalam menghemat energi dan mendistribusikan cahaya secara merata. Koefisien pantul dari cahaya ini disebut angka reflektansi, secara matematis ditulis dengan persamaan

$$\text{Angka reflektansi} = \frac{E_{\text{rata-rata cahaya pantul}}}{E_{\text{rata-rata cahaya langsung}}}$$



Gambar 5. 8 Tipikal Rasio Reflektansi Permukaan Ruang

(Sumber : Pieter Karunia Deo, 2018)

Pada umumnya nilai reflektansi untuk tembok digunakan 0,3 sampai 0,7; ceiling bernilai 0,7 atau lebih; dan nilai lantai antara 0,2 sampai 0,3.

Koefisien penggunaan didapatkan dari mencocokkan nilai indeks ruangan (IR) dengan angka reflektansi dari tabel faktor utilitas pada *datasheet* tiap jenis lampu yang digunakan. *Datasheet* lampu biasanya dikeluarkan oleh pihak produsen lampu.

4. Koefisien Depresiasi (K_d).

Koefisien depresiasi atau koefisien rugi cahaya atau koefisien pemeliharaan atau *Light Loss Factor (LLF)*, adalah sebagai perbandingan antara kuat penerangan yang terukur setelah jangka waktu tertentu dari instalasi terhadap kuat penerangan yang terukur saat instalasi baru. Besarnya koefisien depresiasi dipengaruhi oleh :

- Kebersihan dari lampu yang dipakai.
- Kebersihan dari bidang-bidang ruangan.
- Penurunan keluaran cahaya lampu selama waktu penggunaan.
- Penurunan keluaran cahaya lampu karena penurunan tegangan listrik.

Untuk ruangan dengan pemeliharaan yang baik pada umumnya koefisien depresiasi diambil sebesar 0,8.

Gambar 5. 9 Tingkat Pencahayaan Minimum yang Direkomendasikan

Fungsi Ruang	Tingkat Pencahayaan (lux)	Kelompok Rederasi Warna	Keterangan
Perkantoran :			
Ruang Direktur	350	1 atau 2	
Ruang Kerja	350	1 atau 2	
Ruang Komputer	350	1 atau 2	Gunakan armatur berkisi untuk mencegah silau akibat pantulan layar monitor.
Ruang Rapat	300	1 atau 2	
Ruang Gambar	750	1 atau 2	Gunakan pencahayaan setempat pada meja gambar.
Gudang Arsip	150	3 atau 4	
Ruang Arsip Aktif	200	1 atau 2	

(Sumber : SNI 03-6575-2001)

DAFTAR PUSTAKA

- Buyang, C. G., Sangadji, F. A. 2023. *Penilaian Kriteria Green Building pada Fakultas Teknik Universitas Pattimura*. Jurnal Simetrik, vol. 13, no. 1, pp 677-682.
- Deo, P. K. 2018. *Perancangan Pencahayaan Buatan Pada Ruang Seminar Perpustakaan ITS Surabaya*. Tugas Akhir, Departemen Teknik Fisika, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Iksan, A. M., Bintaro, A., Sadli. M. 2018. *Perancangan Dan Perhitungan Ulang Penerangan Buatan Pada Pustaka Gedung A Fakultas Pertanian Universitas Malikussaleh*. Jurnal Energi Elektrik, vol. 7, no. 2, pp. 6-10.
- Kaufman, J. E. 1997. *IES Lighting Handbook*. New York: Illuminating Engineering Society.
- Norbert, L. 2001. *Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects*. Minnesota. Wiley.
- Mandala, A., Sheila, V. 2018. *Kontribusi Pencahayaan Buatan Terhadap Kualitas Visual Bangunan Pada Malam Hari, Objek Studi: Bangunan-Bangunan Bersejarah di Kawasan Simpang Lima, Semarang*. Jurnal Lingkungan Binaan, vol. 5, no. 1, pp. 25-36.
- Rea, Mark Stanley. 2000. *Iesna Lighting Handbook*. New York: Illuminating Engineering Society of North America
- Sangadji, F. A., Buyang, C. G., & Soplanit, S. N. 2024. *Penilaian Kriteria Green Building pada Fakultas FISIP Universitas Pattimura*, Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Padang, vol. 11, no. 1, pp. 33-39.
- Susanto, H. 2018. *Desain Pencahayaan Buatan Dalam Arsitektur*. Yogyakarta: Kanisius.
- SNI 03-5767-2001 Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Buatan Pada Bangunan Gedung.
- SNI 6197-2020 Konservasi Energi Sistem Pencahayaan.

BAB 6

PENGHAWAAN BANGUNAN

Oleh Fauzan A. Sangadji

6.1 Penghawaan Alami

Penghawaan alami, juga dikenal sebagai ventilasi alami, adalah proses pertukaran udara di dalam bangunan dengan udara dari luar melalui bukaan bangunan. Proses ini akan menghasilkan udara bersih yang lebih banyak mengandung oksigen sebagai pengganti udara kotor (mengandung CO_2) yang dihasilkan oleh aktivitas di dalam bangunan. Aktivitas yang dapat dilakukan di dalam bangunan termasuk diantaranya bernafas, menyalakan rokok, memasak, dan lain-lain. Agar penghuni di dalam ruangan tetap sehat dan nyaman, pergeseran udara ini penting dan sangat dianjurkan. Sistem perubahan air per jam (ach), yaitu angka yang menunjukkan tingkat ventilasi ideal bangunan, digunakan untuk menghitung suplai udara bersih ruangan atau bangunan. Meskipun tidak memiliki satuan tertentu, angka ini berkaitan dengan volume ruang. Menurut tujuan dibuatnya ventilasi yang ingin diraih, udara bersih dalam ruang dibedakan tingkatnya antara lain untuk fungsi kesehatan (ach 0,5 s.d 1), untuk fungsi kenyamanan (ach 1 s.d. 5) dan fungsi kenyamanan serta pendinginan (ach 5 s.d. 30). (Rizani, M. D. 2007)

Penghawaan alami berperan penting, baik untuk bangunan maupun orang yang menggunakannya membutuhkan ventilasi alami. Dengan menggunakan penghawaan alami dan system ventilasi udara yang baik

akan berdampak pada kenyamanan termal di dalam ruang berjalan dengan baik. Salah satu faktor penting untuk kenyamanan termal sebuah bangunan adalah penghawaan alami; penggunaan penghawaan alami yang lebih besar dipengaruhi oleh bukaan ventilasi dan lubang ventilasi yang lebih besar. Pasti juga dipengaruhi oleh lokasi bangunan dan iklim lokal. (Amin, A. R. Z. 2018).

Kenyamanan termal adalah kondisi di mana seseorang merasakan nyaman dalam kondisi tertentu dalam kata lain tidak merasa panas ataupun dingin, serta dapat dicapai dengan aliran udara yang baik dan cukup serta membawa udara panas ke luar dari bangunan, mengurangi panas yang masuk dan dapat mencegah radiasi dari permukaan bangunan. Untuk memberikan kenyamanan kepada penghuni bangunan, ventilasi harus dirancang dengan baik. Besar dan posisi bukaan harus dapat menampung angin. Selain itu bukaan outlet harus digunakan untuk mengeluarkan udara panas dari bangunan. (Syafira, F. H., Mufida, E., & Hady, M. 2022)

Ventilasi alami dapat memasukkan udara segar ke dalam bangunan. Ventilasi alami contohnya adalah jendela, pintu, atau sarana bukaan lainnya. Hal ini terjadi karena perbedaan tekanan udara di luar dan dalam bangunan sehingga menyebabkan perbedaan suhu, serta membawa panas ke langit-langit. (Syafira, F. H., Mufida, E., & Hady, M. 2022)

Angin dan udara adalah salah satu komponen yang memengaruhi iklim. Angin adalah udara yang bergerak. Ini bisa bergerak vertikal atau horizontal. Faktor pendorong, yaitu perbedaan tekanan udara, menyebabkan massa udara bergerak. Aliran udara yang baik dapat mempercepat proses penguapan permukaan kulit, membuat tinggal di bangunan lebih nyaman. (Syafira, F. H., Mufida, E., & Hady, M. 2022). Adapun faktor yang berpengaruh pada kenyamanan termal suatu bangunan antara lain :

a. Temperatur Kering Udara

Besar kecil panas yang dihasilkan melalui proses penguapan dan proses konveksi sangat bergantung oleh temperatur udara, tingkat kenyamanan pada daerah tropis dapat dibagi menjadi:

- 1) Sejuk nyaman, antara $20,5^{\circ}\text{C}$ - $22,8^{\circ}\text{C}$
- 2) Nyaman optimal, antara $22,8^{\circ}\text{C}$ - $25,8^{\circ}\text{C}$
- 3) Hangat nyaman, antara $25,8^{\circ}\text{C}$ - $29,5^{\circ}\text{C}$

Sedangkan batas kenyamanan termal di sekitar garis khatulistiwa yakni $22,5^{\circ}\text{C}$ - $29,5^{\circ}\text{C}$

b. Kelembaban Relatif Udara

Kandungan air di dalam udara disebut juga dengan kelembaban udara. Kelembaban udara yang ideal untuk daerah beriklim tropis adalah 40% sampai 50%. Sedangkan kelembaban udaranya antara 55% sampai 60% pada kondisi ruang jumlah orang yang cukup banyak.

c. Kecepatan Udara

Kecepatan udara yang ideal untuk yakni diantara 0,2 m/detik sampai 2m/detik.

d. Pakaian

e. Radiasi Permukaan

f. Kegiatan (Rahmawati, R. F., & Suharyani, S. 2021)

Penghawaan alami dilihat dari bentuk bangunan yaitu :

a. Orientasi Bangunan

Suatu posisi suatu bentuk terhadap bidang dasar, arah mata angin, atau pandangan orang adalah orientasi bangunan. Aliran udara di sekitar lokasi adalah udara yang masuk ke setiap bangunan. Tujuan dari melakukan perencanaan orientasi adalah agar memastikan aliran udara yang masuk ke untuk ruangan melalui mekanisme arah datang angin. Penataan bentuk bangunan berdampak pada pola pergerakan aliran dan kecepatan udara di lokasi bangunan.

b. Bentuk Bangunan

Bentuk serta dimensi suatu bangunan merupakan komponen penting yang mempengaruhi jalan masuknya angin dan jumlah udara yang masuk ke dalam bangunan. Dalam merencanakan desain bangunan harus memperhatikan sisi sekitarnya yang menjadi area muka angin (*windward*) tidak mendapat bayangan angin (*leeward*) dimana kecepatan angin yang cukup untuk kenyamanan termal. Atap berfungsi mengontrol aliran udara. Ketika kemiringan atap tinggi maka volume udara yang mengalir dari atas bangunan menjadi lebih besar, sehingga pergerakan udara kurang tersedia untuk digunakan.

c. Ruang dalam Bangunan

Selain denah dan peletakan ruang suatu bangunan, peletakan dari ruang juga mempengaruhi masuknya udara. Selain hal itu desain dan posisi bukaan ruang juga berpengaruh. Pembagian ruang yang optimal dapat meningkatkan jumlah udara serta dinding di dalam bangunan juga membantu mengarahkan aliran udara dalam bangunan.

Desain bangunan di area tropis lembab harus mengedepankan jumlah aliran dan pergerakan udara yang menembus seluruh ruangan dan sebisa mungkin secara terus menerus, untuk itu harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

a. Peletakan dan Orientasi Bukaan

Idealnya, ventilasi silang diizinkan selama 1 haru penuh tanpa peralatan mekanis. Jenis, posisi, dan ukuran lubang jendela di atas dan bawah bangunan dapat meningkatkan efek ventilasi silang, jadi cara terbaik untuk mencapai keseimbangan ini harus ditemukan agar arah angin dapat diubah karena aliran udara di dalam dan di luar bangunan dapat dibelokkan.

b. Lokasi Bukaannya

Salah satu cara efektif adalah dengan meletakkan bukaan secara bersilangan, yang juga disebut dengan ventilasi silang.

c. Dimensi Bukaannya

Untuk ruangan dengan ventilasi alami, seperti ruang makan, keluarga, tidur, dan lain lain, dimensi bukaan minimal adalah 20% dari luas lantai.

d. Tipe Bukaannya Udara

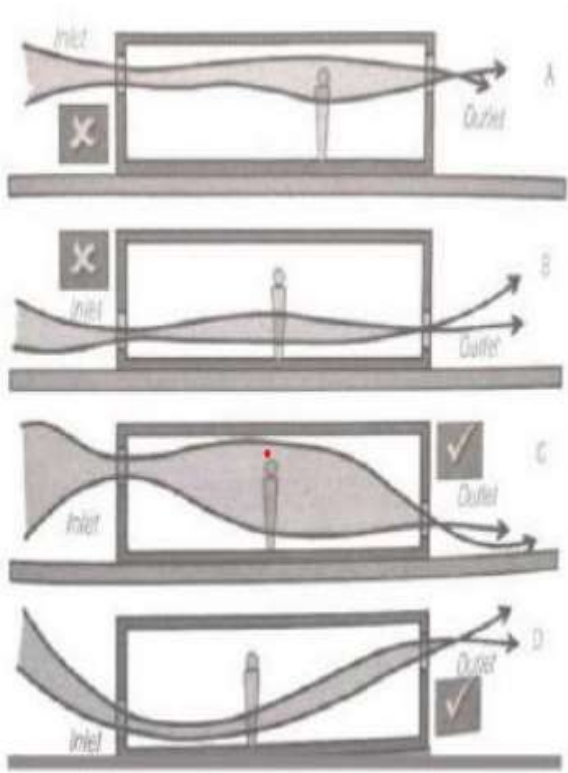
Aliran udara akan banyak masuk ke dalam bangunan apabila memiliki bukaan yang cukup luas. Tipe bukaan udara mempengaruhi banyaknya udara yang akan masuk ke dalam rumah, diantaranya:

1) Jendela

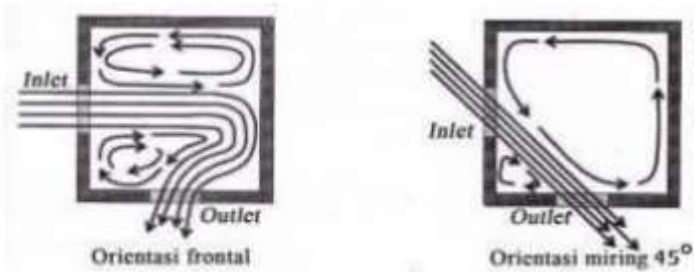
Rumah harus memiliki bukaan yang cukup untuk mengalirkan udara jika ingin memiliki penghawaan alami. Dalam hal aliran udara, bukaan jendela adalah komponen penting dari bangunan. Sudut pengarah bukaan jendela bervariasi tergantung pada jenis bukaan. Hal ini menyangkut pergerakan udara di dalam ruang serta seberapa besar udara yang dapat masuk ke dalam ruangan.

2) Pintu

Pintu dapat mengalirkan udara ketika dibuka. Jika pintu tidak memiliki daun pintu, hanya kusen segi empat yang menghubungkannya. (Hendrarto, T., Naftaria, A. N., Chaerina, Y., & Disaina, D. 2014)



Gambar 6. 1 Posisi Bukan yang Benar
(Sumber : Kartika, V. V., & Iswanto, D. 2020)



Gambar 6. 2 Denah Bukan dan Pergerakan Angin
(Sumber : Kartika, V. V., & Iswanto, D. 2020)

6.1.1 Manfaat Penghawaan Alami

Penghawaan alami bergantung pada sirkulasi udara alami melalui desain bangunan yang terencana dengan baik, seperti jendela yang dapat dibuka, ventilasi silang, dan desain yang memperhatikan arah angin. Desain bangunan yang menggabungkan penghawaan alami dapat bermanfaat bagi penghuni yaitu untuk kesehatan dan kenyamanan. Beberapa manfaat dari penghawaan alami adalah sebagai berikut:

1. Memenuhi Kualifikasi Kesehatan

Sirkulasi udara yang baik dan pencahayaan yang cukup akan mengurangi kelembaban udara yang tinggi, yang memudahkan pertumbuhan bakteri dan virus berbahaya. Pertukaran udara kotor dengan udara bersih memastikan bahwa ruangan tetap bersih dan sehat.

2. Menghasilkan kenyamanan termal

Ketidaknyamanan disebabkan oleh kelembaban udara dan panas matahari yang tinggi, ketidaknyamanan dalam suatu ruang menyebabkan kulit terasa lengket. Membuat ruang terbuka untuk aliran udara dapat mempercepat proses penguapan kulit.

3. Pendinginan ruangan

Dengan adanya ventilasi di dalam suatu ruangan memungkinkan udara yang lebih segar dan suhu yang lebih rendah. Radiasi matahari dan pemanasan alat listrik dan mekanik mencegah suhu ruangan meningkat terlalu tinggi. (Rahmawati, R. F., & Suharyani, S. 2021)

6.1.2 Keuntungan Penghawaan Alami

Penghawaan alami pada bangunan membawa banyak keuntungan, terutama dalam hal desain dan kenyamanan dalam bangunan. Penghawaan alami membuat lingkungan lebih sehat dan nyaman bagi orang-orang di dalamnya.

Bangunan dapat memanfaatkan sirkulasi udara alami dengan menggabungkan seperti jendela yang dibuka, ventilasi silang, dan desain yang memperhatikan arah angin. Beberapa keuntungan dari penggunaan penghawaan alami pada bangunan yaitu:

1. Mengurangi penggunaan energi
2. Menciptakan suasana alami dengan menjembatani iklim di dalam dan di luar ruangan
3. Memerlukan sedikit ruang mesin
4. Memiliki biaya produksi dan perawatan yang minimal

6.1.3 Kerugian Penghawaan Alami

Meskipun penghawaan alami memiliki banyak manfaat, perlu diperhatikan penghawaan alami juga memiliki kerugian. Meskipun desain yang mengandalkan penghawaan alami dapat mengurangi ketergantungan pada sistem ventilasi mekanis dan mengurangi konsumsi energi, terdapat beberapa kerugian yang perlu diperhatikan pada penghawaan alami yaitu sebagai berikut:

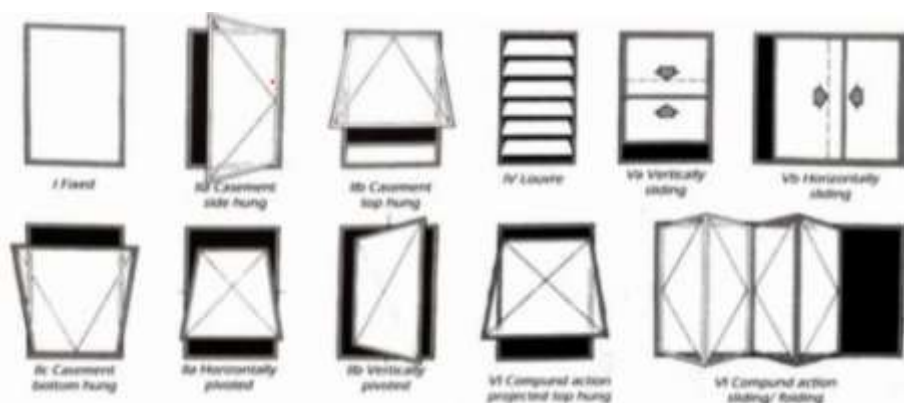
1. Suhu tidak bisa diatur
2. Kecepatan angin tidak bisa diatur
3. Kelembaban tidak bisa diatur
4. Kualitas udara tidak bisa diatur
5. Gangguan hewan
6. Kebisingan
7. Bangunan yang luas menyebabkan angin sulit menjangkau bagian tengah ruang.
8. Ketergantungan pada faktor cuaca

6.1.4 Contoh Penghawaan Alami

Penghawaan alami pada bangunan dapat dicapai melalui sirkulasi udara alami yang masuk melalui bukaan tanpa bergantung pada peralatan mekanis. Berikut merupakan beberapa contoh bukaan yang dimanfaatkan sebagai penghawaan alami pada bangunan:

1. Jendela

Jendela merupakan salah satu jalur masuk angin ke dalam ruangan melalui bukaannya, jendela juga disesuaikan untuk memberikan tingkat aliran udara. Jendela memiliki banyak manfaat bagi kehidupan penghuninya. Jendela sangat penting untuk keamanan, kesehatan, dan estetika bangunan. Rumah harus memiliki ventilasi sebesar 5% dari luas lantai bangunan serta luas jendela sebesar 10% dari luas lantai bangunan. Berikut ini adalah jenis-jenis jendela berdasarkan arah bukaan: (Asyrafi, H., & Indrawati, I. 2022, August).



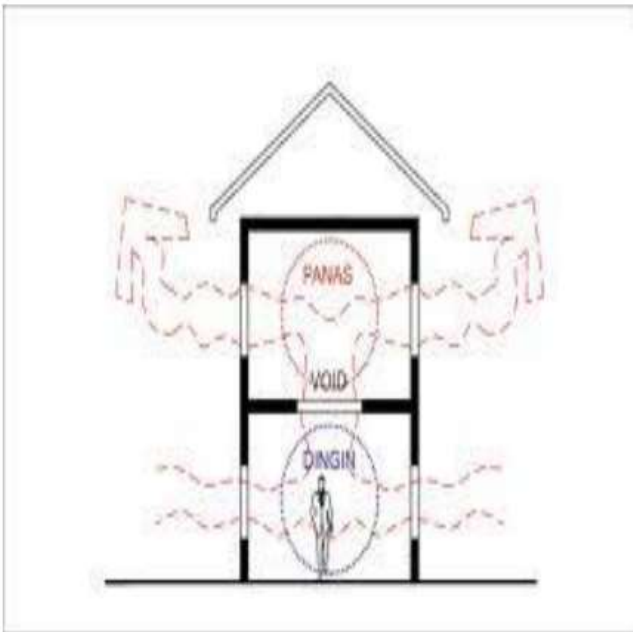
Gambar 6. 3 Jenis Bukaan Jendela

(Sumber: Asyrafi, H., & Indrawati, I. 2022, August)

2. Ventilasi. Sistem ventilasi alami terbagi menjadi 3, yaitu:

a. Sistem ventilasi silang (*cross ventilation*)

Direkomendasikan digunakan di lingkungan tropis yang lembab yaitu lintasan angin yang bebas melalui bagian dalam bangunan digambarkan sebagai sistem ventilasi silang. Angin dari luar memasuki atau melewati suatu area, kemudian segera keluar lagi dari area tersebut.

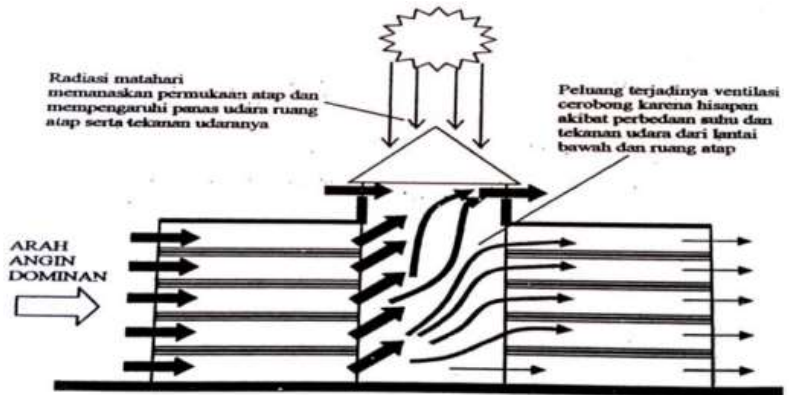


Gambar 6. 4 (Jenis Bukan Jendela)

(Sumber: Ishak, M. F. (2013)).

b. Ventilasi cerobong (*stack effect*)

Sistem ini menghasilkan perbedaan tekanan udara yang besar antara atas dan bawah. Sistem ventilasi ini mengalirkan udara secara vertikal melintasi atap bangunan.



Gambar 6. 5 (Jenis Bukan Jendela)

(Sumber: Ishak, M. F. (2013).

c. Ventilasi bolak balik

Sistem ini diterapkan pada ruangan yang memiliki yang hanya memiliki satu sisi bukaan karena prinsipnya adalah bahwa hanya ada satu sistem sisi yang dapat digunakan untuk menempatkan bukaan. Satu bukaan atau lebih di sisi yang bersangkutan dapat digunakan untuk sirkulasi angin di dalam ruangan. Pada dasarnya kualitas udara lingkungan sangat bergantung pada kualitas ventilasi alami. (Ishak, M. F. 2013).

6.2 Penghawaan Buatan

Penghawaan buatan bekerja dengan mengganti udara ruangan dengan udara segar dari luar melalui peralatan mekanis. Sistem ini bekerja dengan mendorong aliran udara melalui bangunan dengan kipas. Sistem penghawaan buatan dapat mencakup berbagai komponen dan teknologi untuk mengontrol suhu, kelembaban, dan kualitas udara di dalam ruangan. (Kartika, V. V., & Iswanto, D. 2020)

Memenuhi kebutuhan akan kenyamanan termal di dalam ruangan adalah salah satu penyebab utama konsumsi energi bangunan. Hal ini disebabkan karena tingginya suhu udara di perkotaan dan tuntutan oleh pengguna bangunan akan suhu udara dalam ruangan yang selalu sejuk. Untuk memenuhi kebutuhan itulah sebagian besar bangunan akan mengandalkan penghawaan buatan yang membutuhkan banyak energi. Beban pendingin udara merupakan energi yang dibutuhkan untuk mengontrol kondisi ruangan agar memperoleh temperatur dan kelembaban udara sesuai kondisi ruangan dan orang yang beraktivitas di dalamnya. Sistem penghawaan buatan biasanya menggunakan kipas angin dan AC (*Air Conditioner*), alat pendingin ruangan ini bekerja saat ruangan tersebut dihuni. *Air Conditioner* berfungsi sebagai alat untuk menyejukkan dan mengatur udara ruangan, di mana penggunaannya dimaksudkan untuk memperoleh suhu udara yang nyaman bagi tubuh. (Saleh, M. F., Helen, Y., & Anita, F. 2022)

Kondisi suhu berlebih terjadi apabila daerah luar bangunan tidak nyaman secara termal (udara luar yang tidak sehat, suhu udara luar mencapai 28°C, bangunan di sekitar yang menghalangi aliran udara serta kebisingan sekitar), cara agar meningkatkan kenyamanan udara dan kualitas udara ruang adalah dengan menggunakan penghawaan buatan. (Bahantwelu, M. (2021)

Beban pendingin ruangan bekerja dengan menghantarkan aliran panas yang harus diambil dari dalam ruangan untuk mempertahankan temperatur dan kelembaban udara pada kondisi yang diharapkan. Beban pendingin ruangan terdiri dari :

1. Beban Pendinginan Luar (Eksternal)

Beban pendingin ini terjadi akibat penambahan suhu panas di dalam ruang yang dikondisikan karena sumber panas dari luar yang masuk melalui bukaan bangunan atau dinding bangunan. Sumber panas yang termasuk beban pendingin adalah:

- a. Penambahan panas melalui kaca
- b. Penambahan panas melalui dinding dan atap

- c. Penambahan panas melalui langit-langit
 - d. Masuknya udara luar ke dalam bangunan.
 - e. Ventilasi udara luar yang masuk ke dalam bangunan.
2. Beban pendinginan Dalam (Internal)

Beban pendingin ini diakibatkan pelepasan panas laten dan sensibel dari sumber yang ada di bangunan. Sumber panas yang termasuk beban pendingin ini adalah:

- a. Penambahan panas karena aktifitas manusia.
 - b. Penambahan panas karena penerangan
 - c. Penambahan panas karena adanya alat mekanis
 - d. Penambahan panas yang adanya peralatan listrik.
- (Susanto, A., Arnas, Y., & Hidayat, Z. 2017)

Dengan memperhatikan hal tersebut, maka dalam mendesain bangunan yang menerapkan penghawaan buatan, harus memperhatikan pertimbangan hal berikut:

- a. Bentuk bangunan cenderung beraturan.
- b. Bentuk bangunan disejajarkan dengan arah angin.
- c. Plafon dibuat rendah untuk mengurangi ukuran area

6.2.1 Manfaat

Dengan menggunakan sistem ventilasi mekanis, penghawaan buatan pada bangunan memberikan banyak manfaat, terutama dalam menciptakan dan menjaga kondisi lingkungan dalam ruangan yang ideal. Penghawaan buatan mengoptimalkan sirkulasi udara dengan menggunakan alat pendingin seperti kipas angin, *air conditioner*, sistem penyaring udara, dan kontrol suhu otomatis. Secara umum manfaat dari sistem pengkondisian udara ruangan yaitu sebagai berikut:

- 1. Menyediakan kenyamanan dengan menyejukkan atau menghangatkan ruang.
- 2. Mengkondisikan udara seperti memurnikan dan membersihkan.
- 3. Mendistribusikan udara yang telah diurai dari luar bangunan ke dalam ruang.

4. Mengontrol kondisi ruang supaya tetap seperti yang diinginkan baik suhu dan kelembapan.

6.2.2 Keuntungan

Dengan menggunakan ventilasi mekanis, penghawaan buatan pada bangunan memberikan banyak keuntungan, terutama dalam menciptakan dan menjaga kondisi lingkungan, mengatur suhu di dalam ruangan, dan mampu menciptakan lingkungan dalam ruangan yang lebih teratur dan terkendali. Penghawaan buatan mengoptimalkan sirkulasi udara dengan menggunakan alat pendingin seperti kipas angin, *air conditioner*, sistem penyaring udara, dan kontrol suhu otomatis. Keuntungan dari penggunaan penghawaan buatan adalah sebagai berikut:

1. Suhu udara mudah diatur.
2. Beberapa sistem terdapat filter udara yang dapat menyaring debu dan bau
3. Kecepatan dan arah angin bisa diatur
4. Kelembaban udara bisa diatur
5. Kebersihan udara terjaga
6. Bau di dalam ruangan mudah untuk diatur dan dipertahankan menggunakan pengharum ruangan

6.2.3 Kerugian

Penghawaan buatan memiliki beberapa kekurangan, salah satunya adalah ketergantungannya pada sumber daya energi. Sistem ventilasi mekanis sangat menghabiskan lebih banyak energi, terutama ketika digunakan secara terus-menerus, sehingga dapat meningkatkan biaya operasional dan berdampak buruk pada lingkungan. Selain itu, kegagalan mekanis dapat mengganggu kenyamanan penghuni dan memerlukan perbaikan yang mahal. Berikut merupakan beberapa kerugian dari penggunaan penghawaan buatan pada bangunan:

1. Penggunaan energi listrik yang berlebihan sehingga dapat meningkatkan biaya operasional

2. Menghirup debu dari alat pendingin ruangan jika tidak dibersihkan
3. Biaya perawatan relatif mahal
4. Terlalu lama menggunakan alat penghawaan buatan sehingga menyebabkan kulit dan mata kering

6.2.4 Contoh Penghawaan Buatan

Penggunaan penghawaan buatan biasanya pada bangunan yang ruangnya tertutup sehingga sulit untuk mendapatkan udara alami dari luar. Berikut ini adalah jenis-jenis alat pendingin penghawaan buatan pada bangunan:

1. AC (*Air Conditioner*)
 - a. Tipe *Window (AC Window)*

AC windows terdiri dari filter udara, *evaporator*, *blower*, kompresor, *condenser*, *expansion valve*, *refrigerant* filter, dan kontrol unit yang dipasang pada *base plate*. Kemudian *base plate* dan semua komponen AC ditempatkan ke dalam kotak plat, yang membuat unit kompak. Salah satu jenis unit AC seperti AC Window ini, memungkinkan pengaturan udara di ruangan kecil. Unit AC ini sangat kecil dan sebanding dengan jendela, sehingga mudah dipasang. Suhu di dalam ruangan turun dengan cepat setelah AC dipasang ke stop kontak dan dinyalakan.



Gambar 6. 6 AC Window

(Sumber : Susanto, A., Arnas, Y., & Hidayat, Z. 2017)

b. Tipe *Split (AC Split)*

AC Split adalah alat yang dapat mengubah suhu ruangan sesuai keinginan kita, terutama menurunkannya lebih rendah daripada suhu lingkungan sekitarnya. AC Split terdiri dari dua bagian: bagian *in door* dan *out door*. Bagian *in door* terdiri dari: evaporator, blower, saringan udara, panel, listrik, dan sensor suhu. Bagian *out door* terdiri dari : kompresor, kondensor, *fan*, pipa kapiler, saringan udara dan sistem kelistrikan. Refrigerant dipompa dari kompresor dan dialirkan ke dalam kondensor, pipa kapiler, dan evaporator, komponen AC utama. Baik hotel maupun apartemen sering menggunakan AC jenis ini.



Gambar 6. 7 AC *Split*

(Sumber: Susanto, A., Arnas, Y., & Hidayat, Z. 2017)

c. Tipe Sentral (Terpusat)

Sistem AC sentral memiliki proses pendinginan udara yang terpusat di satu tempat dan kemudian didistribusikan ke berbagai tempat. Sistem ini adalah sistem AC yang di mana hanya memiliki satu out door dan beberapa in door. Unit pendingin, unit pengatur udara, kipas, pemipaan, *ducting*, dan sistem kontrol dan kelistrikan adalah komponen utama sistem ini. (Susanto, A., Arnas, Y., & Hidayat, Z. 2017)



Gambar 6. 8 AC Centarl

(Sumber: Susanto, A., Arnas, Y., & Hidayat, Z. 2017)

2. *Air Cooler*

Air cooler terdiri dari tiga komponen dasar: kipas pendingin, pompa air, dan *exhaust fan*, jenis alat ini berbeda dengan AC karena menggunakan air sebagai bahan bakar dan hanya dapat menurunkan suhu sekitar beberapa derajat. (Lestari, R. E., & Abadi, A. M. 2015)



Gambar 6. 9 Air Cooler

(Sumber : Google)

3. *Exhaust Fan*

Exhaust fan adalah salah satu jenis kipas angin yang masih banyak digunakan di industri rumahan dan rumah tinggal karena melakukan fungsi penting pada ruangan. Untuk ruangan yang menggunakan AC, *exhaust fan* berfungsi sebagai peralatan pelengkap, karena udara panas dari dalam ruangan dibuang keluar dan udara dingin dari luar ruangan masuk ke dalam. *Exhaust fan* dibuat agar meningkatkan sirkulasi udara di tempat-tempat di mana sirkulasi udara alaminya kurang. (Wardhana, Y. K., Partha, C. G. I., & Sukerayasa, I. W. 2021)



Gambar 6. 10 *Exhaust Fan*

(Sumer : Wardhana, Y. K., Partha, C. G. I., & Sukerayasa, I. W. 2021)

4. Kipas Angin

Salah satu alat yang digunakan untuk mengontrol sirkulasi udara, memberikan efek yang diarahkan dari kipas angin elektrik, dan mengkondisikan udara di suatu ruangan adalah kipas angin. Kipas ini sangat bermanfaat bagi manusia dalam kehidupan sehari-hari dengan mengubah suhu sesuai keinginan. Motor yang terhubung ke gearbox mengontrol pergerakan kipas angin dari kiri ke kanan dan sebaliknya. Untuk

menjalankannya, tenaga manusia digunakan untuk menarik atau menurunkan tuas penggerak. (Anugrah, A., & Jaya, P. 2019)



Gambar 6. 11 Kipas Angin

(Sumber : Google)

DAFTAR PUSTAKA

- Alfandi, B. (2022). Analisis Keterlibatan Manajer Proyek Dalam Perencanaan Pelaksanaan Proyek Dilihat Dari Bidang Pengetahuan Project Management Body Of Knowledge (Pmbok). *Jurnal Of Sustainable Civil Engineering*.
- Ananda, K., & Haryanto, I. (2017). Kontrol Mutu dan Monitoring Beton Untuk Rigid Pavement Pada Main Road Proyek Jalan Tol Surabaya Mojokerto Seksi IB.
- Chasanah, U., & Sulistyowati. (2017). Penerapan Manajemen Konstruksi Dalam Pelaksanaan Konstruksi. *Jurnal Neoteknika*, 35-39.
- Dimyati, M., & Nurjaman. (2014). Sistem Manajemen Informasi, Bandung. 16-17.
- Faziz, & Tugiah. (2022). Perencanaan Proyek Dan Penjadwalan Proyek. *Jurnal sosial dan teknologi*.
- Institute, P. M. (2017). : *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide) / Project Management Institute. Other titles: PMBOK guide*. Newtown Square, Pennsylvania 19073-3299 USA: Project Management Institute, Inc.
- Irsyad, & Rama. (2018). Studi Evaluasi Implementasi Sistem Manajemen Proyek Terhadap Kasus Inisiasi Proyek.
- Kiswati, S., & Chasanah, U. (2020). Perencanaan Manajemen Proyek Dalam Meningkatkan Efektifitas Kinerja Sumber Daya Manusia Di Semarang Jawa Tengah.
- PUPR, K. (Juli, 2017). *Pengendalian Pelaksanaan Proyek*. Semarang: KPID 'Komisi Penyiaran Indonesia'; SiMANTU.
- Suparno. (2016). Perencanaan dan Penjadwalan Proyek pada Pembangunan Gedung. *Jurnal Teknik Sipil*.

BAB 7

VENTILASI BANGUNAN

Oleh Apridus Kefas Lapenangga

7.1 Pendahuluan

Setiap bangunan memiliki kelengkapan elemen konstruksi, mulai dari lantai, dinding, bukaan dan atap. Bukaan pada bangunan memiliki peran sebagai jalur sirkulasi manusia maupun udara. Untuk sirkulasi udara pada bangunan sering kita kenal istilah ventilasi. Kata 'ventilasi' awalnya adalah *ventilatio* dari kata *ventus* dalam bahasa Latin yang berarti angin sebagai proses pergantian udara di ruang tertutup (Abel, 2016). Ventilasi merupakan salah satu elemen konstruksi yang memiliki peran penting dalam bangunan sebagai media masuk dan keluarnya udara. Kenyamanan udara dalam ruangan dan pergerakan udara di tentukan oleh ukuran dan letak ventilasi pada bangunan. Ventilasi alami, ventilasi mekanis maupun ventilasi hibrid dapat digunakan untuk mencapai kenyamanan termal dalam bangunan.

Dalam perkembangannya bangunan membutuhkan energi yang besar dalam operasional bangunan (pencahayaan, penghawaan, transportasi dalam bangunan, suplai air bersih dan lainnya) selama usia bangunan tersebut. Ventilasi mekanis mengkonsumsi energi yang tinggi untuk mengatur suhu ruangan yang nyaman bagi penggunanya. Berdasarkan penelitian Siew dan kawan-kawan tentang strategi ventilasi alami untuk

optimasi energi menyatakan bahwa konsumsi energi gedung perkantoran antara 100 hingga 1000 kWh per m² (setara 72%-79% energi bangunan) tergantung lokasi, dimensi dan jenis peralatan yang digunakan dalam bangunan (Siew, et al., 2011).

Penggunaan ventilasi alami sangat ramah lingkungan dan berkelanjutan, membantu mengurangi konsumsi energi bangunan dengan memanfaatkan iklim lokal (Chen, et al., 2017). Ventilasi alami sudah digunakan sejak lama oleh masyarakat tradisional yang telah beradaptasi dengan lingkungannya. Kondisi iklim setiap tempat menjadi acuan bagi masyarakat dalam merencanakan ventilasi. Kelebihan ventilasi alami dalam mengatur kenyamanan termal ruangan adalah memanfaatkan kondisi lingkungan sekitar tanpa menggunakan energi sebagai tindakan berkelanjutan. Masyarakat di daerah beriklim dingin beradaptasi menggunakan api sebagai penghangat ruangan sehingga membutuhkan ventilasi atap untuk mengeluarkan asap sekaligus memasok udara dan ini sebagai cikal bakal ventilasi ruang (Janssen, 1999).

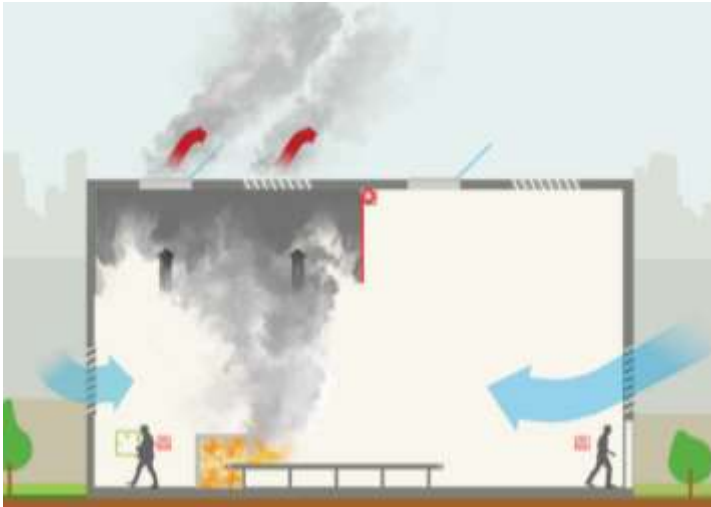
Setelah revolusi industri ventilasi mulai dikembangkan menjadi ventilasi mekanis yang menggunakan energi. Bangunan saat ini tidak hanya menggunakan ventilasi alami tetapi juga ventilasi mekanis. Dalam merancang sistem ventilasi perlu mempertimbangkan kualitas udara luar sehingga secara umum terdapat tiga metode yang sering digunakan dalam menyediakan ventilasi pada bangunan yakni; ventilasi alami, ventilasi mekanis dan ventilasi hibrid (Uotila & Saari, 2021). Ada beberapa jenis ventilasi berdasarkan tekanan angin yakni ventilasi tekanan angin, ventilasi tekanan termal, ventilasi di bawah aksi tekanan termal dan tekanan angin secara bersamaan dan ventilasi alami dengan bantuan mekanis (Qian & Yang, 2016). Tekanan angin pada ruangan tergantung beberapa faktor seperti kecepatan rata-rata, arah angin, variasi kecepatan dan arah angin musiman atau harian serta hambatan setempat (bukit, bangunan sekitar, pohon dan semak) (SNI, 2001).

7.2 Manfaat Ventilasi Pada Bangunan

Desain ventilasi yang direncanakan memberi dampak yang baik bagi kualitas udara dan kenyamanan termal pada bangunan. Kualitas udara dalam ruangan dipengaruhi oleh ventilasi alami sekaligus menjaga kenyamanan termal dan udara ruang yang sehat (Qian & Yang, 2016). Ventilasi alami beradaptasi dengan potensi iklim lokal membantu suplai udara segar ke dalam bangunan dan mengeluarkan udara kotor dari bangunan. Adaptasi dengan iklim lokal mempengaruhi desain dan penggunaan sistem ventilasi bangunan yang dapat menghasilkan kualitas udara yang baik (Wingvist, et al., 2018). Setelah masa Covid-19 WHO merekomendasikan penggunaan ventilasi alami karena dapat menyediakan udara segar dan bersih tanpa mensirkulasi ulang udara di dalam bangunan sehingga dapat meminimalkan risiko penyebaran virus (Dewi, 2020). Ventilasi alami menggunakan prinsip sederhana yang didapat dari alam dengan menggunakan kekuatan alam seperti angin atau daya apung termal untuk mengatur iklim dalam ruangan bangunan sehingga dapat dikatakan memiliki beberapa keunggulan yakni; ekonomis, pengoperasian komparatif yang sangat rendah, menghasilkan udara yang lebih bersih sehingga lebih ramah lingkungan (Salyani & Alibaba, 2017).

Bangunan dengan fungsi tertentu (bengkel, laboratorium, area parkir tertutup dan lainnya) yang menghasilkan polutan perlu penanganan serius dalam menyediakan udara segar agar tidak membahayakan kesehatan pengguna bangunan. Risiko penyakit akibat kerja dapat dikurangi dengan desain sistem ventilasi yang efektif dan efisien (Ernada, et al., 2023). Tingkat ventilasi dapat dikurangi dengan pengendalian sumber polusi, baik yang berasal dari luar ruangan. Pengendalian paparan polutan dengan sistem ventilasi mengurangi risiko kesehatan pengguna namun efisiensi penggunaan energi dari sistem tersebut juga perlu diperhatikan (Wargocki, 2013).

Perencanaan ventilasi yang tepat akan memberi dampak signifikan terhadap penggunaan energi bangunan sehingga menjadi ekonomis dan berkelanjutan sepanjang usia bangunan. Ventilasi pada bangunan tidak hanya tentang kualitas udara dan nilai ekonomis yang efisien tetapi juga tentang keselamatan pengguna bangunan. Sistem ventilasi yang tepat dapat mendukung ketahanan bangunan terhadap resiko kebakaran. Strategi ventilasi yang memanfaatkan efek tekanan udara dapat membantu mengurangi resiko kebakaran karena dapat dengan cepat mengeluarkan asap sehingga potensi kesusakan berkurang akibat terbakar dan memberi banyak waktu bagi proses evakuasi (Kingspan, 2021).



Gambar 7. 1 Ventilasi Sebagai Kontrol Asap dan Polusi

Sumber : (Kingspan, 2021)

7.3 Kenyamanan Termal

Tujuan penggunaan ventilasi pada bangunan adalah untuk memberi kenyamanan termal bagi pengguna bangunan. Hal ini biasanya sudah melalui adaptasi lingkungan dengan pemanfaatan potensi iklim yang ada. Pada daerah tropis adaptasi dilakukan terhadap suhu hangat sehingga dibutuhkan penyaluran udara segar ke dalam bangunan untuk menurunkan suhu dan memberi efek psikologis yang nyaman. Pada daerah sub tropis bahkan daerah dingin adaptasi dilakukan terhadap suhu dingin dengan menggunakan perapian sebagai penghangat dalam bangunan sehingga ventilasi dibutuhkan untuk mengeluarkan asap dan mensuplai udara segar ke dalam bangunan. Sistem ventilasi yang beradaptasi dengan lingkungan dapat mengeluarkan panas secara efektif untuk menghasilkan kenyamanan termal (Retyanto & Hendriani, 2018).

7.4 IAQ (*Indoor Air Quality*)

Kualitas udara dalam ruangan dapat mempengaruhi kesehatan pengguna ruangan tersebut. Kualitas udara ruangan bisa dipengaruhi oleh udara dari luar ataupun dari dalam bangunan. Sistem ventilasi yang efektif bertanggungjawab mengurangi polutan dalam ruangan (dihasilkan di dalam ruangan dari aktifitas pengguna atau peralatan yang digunakan) serta memastikan tidak memasukan atau menyebarkan polutan dari luar ruangan (Bhagat, et al., 2024). IAQ yang buruk dapat menyebabkan masalah pernafasan, alergi, dan sakit kepala, serta penurunan produktivitas dan kenyamanan pengguna bangunan. Oleh karena itu diperlukan sistem ventilasi yang baik untuk menjaga IAQ sesuai dengan kebutuhan pengguna bangunan. Hal penting dari ventilasi yang baik adalah menjaga secara konsisten pertukaran udara dalam dan luar ruangan, pengontrolan suhu serta kelembaban untuk terus mengencerkan polutan (Kenneth, et al., 2023).

7.5 Ventilasi Alami

Secara sederhana ventilasi alami dapat dipahami sebagai seting pasif desain yang menyediakan bukan untuk mengatur pertukaran udara secara terus menerus tanpa menggunakan peralatan mekanis. Ventilasi alami juga dipahami sebagai sistem pemasukan udara (*Intake Air*) dan sistem pengeluaran udara (*Exhaust Air*) secara alami menggunakan bukaan baik itu bukaan lubang angin jendela, pintu, boven atau sarana lain dengan jumlah bukaan ventilasi minimal 5% terhadap luas ruangan yang membutuhkan ventilasi (Ernada, et al., 2023).

Menurut SNI 03-6572-2001 tentang "Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung" (SNI, 2001), terdapat beberapa persamaan untuk menghitung pergerakan udara ataupun dimensi ventilasi:

1. Jumlah gaya udara yang melewati inlet ventilasi atau dimensi bukaan untuk menghasilkan laju aliran udara dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q = C_v \cdot A \cdot V \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

Q = laju aliran udara, $m^3/detik$

A = luas bebas dari bukaan inlet, m^2

V = kecepatan angin, $m/detik$

C_v = effectiveness dari bukaan (C_v dianggap sama dengan 0,5 ~ 0,6 untuk angin yang tegak lurus dan 0,25 ~ 0,35 untuk angin yang diagonal).

2. Ventilasi gaya termal menggunakan efek cerobong untuk mengalirkan udara, dan untuk menghitung laju aliran udaranya memakai persamaan berikut:

$$Q = K, A, \sqrt{\frac{2g \Delta h_{NPL}(T_i - T_o)}{T_i}} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

Q = laju aliran udara, $m^3/detik$

A = Koefisien pelepasan untuk bukaan

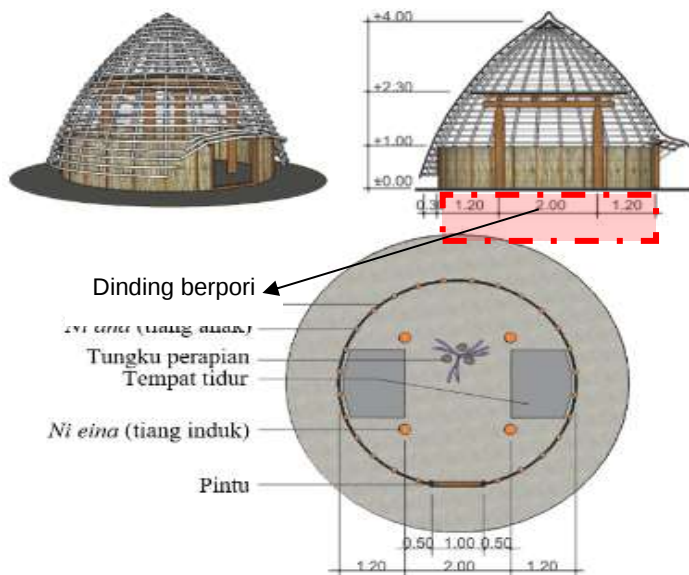
Δh_{NPL} = tinggi dari tengah-tengah bukaan terendah sampai NPL, m

T_i = temperatur di dalam bangunan, K

T_o = temperatur luar, K

7.6 Ventilasi Lantai dan Dinding

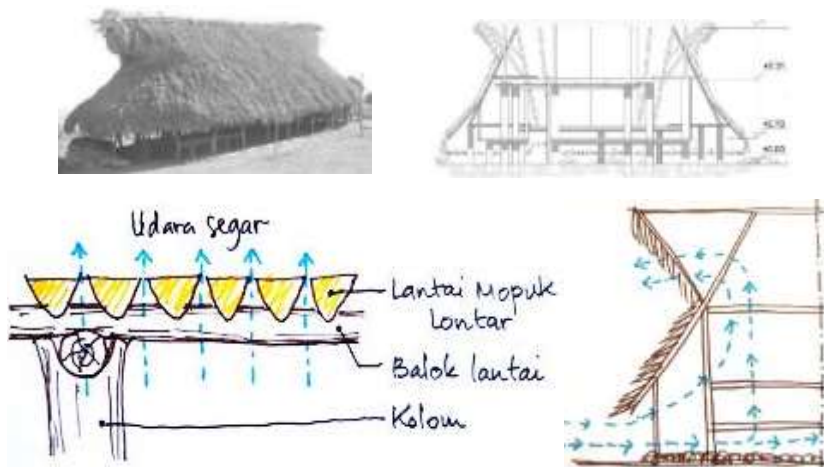
Bangunan di daerah tropis umumnya membutuhkan banyak ventilasi untuk kenyamanan termal. Beberapa bangunan tradisional yang tidak menggunakan bukaan langsung mengoptimalkan lantai dan dinding sebagai media dalam mensuplai udara luar ke dalam bangunan. Rumah tradisional suku Atoni di Nusa Tenggara Timur yang terletak pada ketinggian antara 800 – 1400 mdpl menggunakan perapian dalam bangunan untuk menghangatkan ruangan namun memanfaatkan dinding berpori dari lembaran bambu cincang untuk menyuplai udara dari luar (Lapenangga, et al., 2020).



Gambar 7.2 Dinding Berpori Sebagai Ventilasi Alami

Sumber : (Lapenangga, et al., 2020)

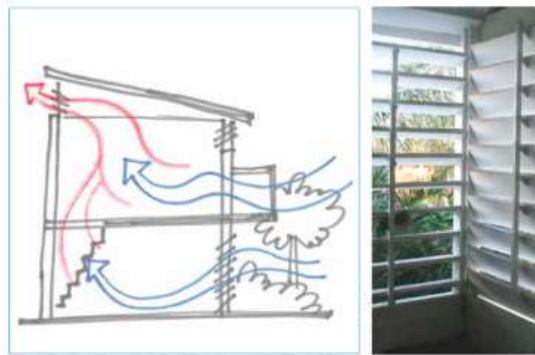
Contoh lain dari arsitektur tradisional di NTT adalah Amu Rukoko milik suku Sabu yang berada pada daerah pantai dengan kondisi iklim lokal yang relatif panas sepanjang tahun beradaptasi dengan lantai panggung berpori dari susunan balok pohon lontar sebagai inlet yang memasukan udara segar dan mendorong udara panas keluar melalui ventilasi atap.



Gambar 7. 3 Ilustrasi Pergerakan Udara Pada Amu Rukoko

Sumber : (Jeraman, 2019)

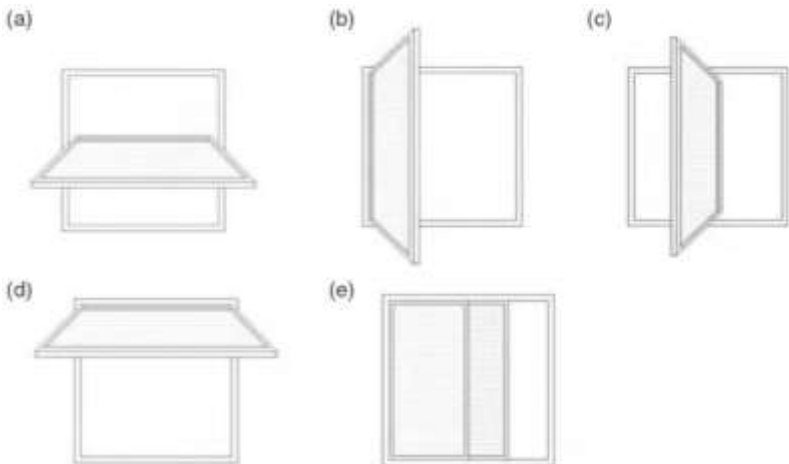
Pada bangunan konvensional, lubang angin, jendela, pintu dan boven merupakan bukaan dinding yang berperan sebagai *inlet* maupun *outlet* untuk mengatur pergerakan udara dalam ruangan. Perletakan, dimensi dan model bukaan perlu mempertimbangkan kondisi lingkungan dimana pergerakan angin serta adanya hambatan di luar bangunan dapat mempengaruhi sirkulasi udara pada bangunan tersebut (Syahriza, et al., 2023). Bukaan pada dinding yang berseberangan dapat menghasilkan konveksi panas sehingga suhu ruangan tetap nyaman.

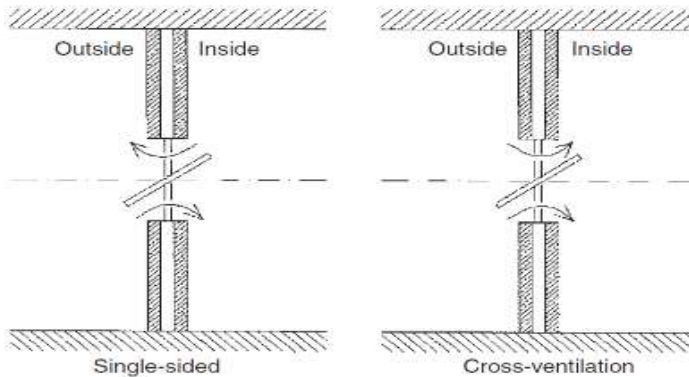


Gambar 7. 4 Aliran Udara Konveksi

Sumber : (CRC, 2011)

Jenis jendela pada dinding mempengaruhi aliran udara pada area terbuka serta angin dan tekanan daya apung yang bekerja (Awbi, 2003). Tipe bukaan jendela dan letak bukaan pada sisi dinding mempengaruhi tekanan dan aliran udara untuk masuk dan keluar ruangan. Aliran udara yang terus bergerak dapat menstabilkan tingkat kelembaban udara dan memberi kenyamanan termal dalam ruangan.



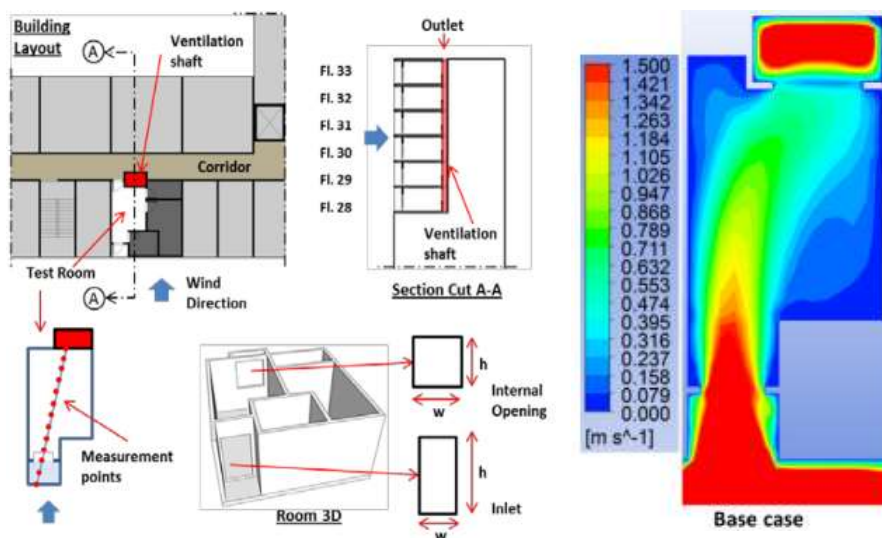


Gambar 7.5 Tipe Jendela dan Aliran Udara

Sumber : (Awbi, 2003)

7.7 Cross Ventilation (Ventilasi Silang)

Ventilasi silang sangat diperlukan pada bangunan dengan dimensi ruangan yang lebih luas. Pemahaman ventilasi silang menjelaskan tentang aliran udara yang bergerak di dua sisi bangunan melalui perbedaan tekanan udara di luar (Kleiven, 2003). Penggunaan ventilasi silang yang tepat pada bangunan dapat menghilangkan polutan akibat aktifitas di dalam ruangan ataupun menstabilkan kelembaban serta menurunkan suhu yang berlebihan dan memberikan kenyamanan termal yang ideal (Winardo & Wimala, 2023). Ventilasi silang dapat di desain sejajar secara horizontal ataupun vertikal untuk bangunan tinggi dengan menggunakan poros ventilasi. Poros ventilasi pada bangunan tinggi dapat memberikan ventilasi silang dengan menciptakan perbedaan tekanan antara bukaan ruangan di sisi luar dan saluran keluar di atap (Fahmi, et al., 2017).

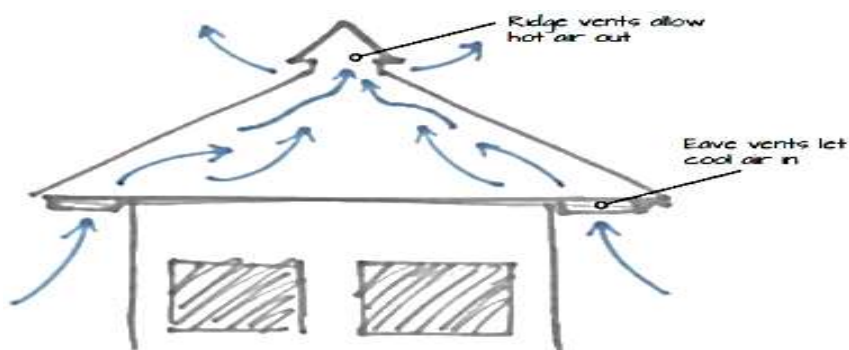


Gambar 7. 6 Ventilasi Silang Pada Unit Apartemen

Sumber : (Fahmi, et al., 2017)

7.8 Ventilasi Atap

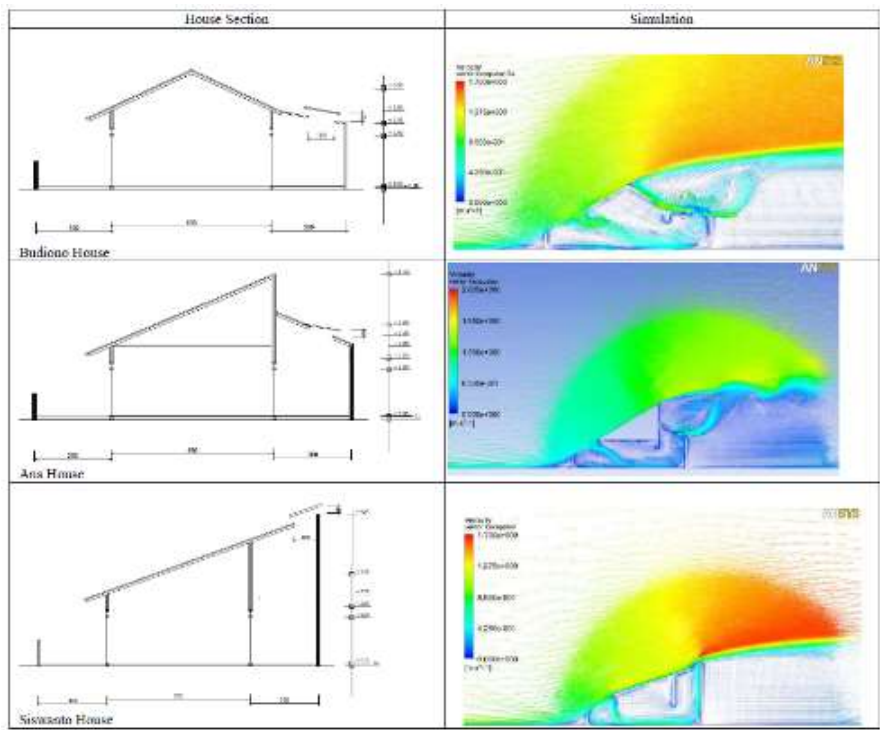
Atap berperan sebagai pelindung bangunan dari panasnya sinar matahari ataupun dingin dari hujan dan salju. Atap dari berbagai bangunan tradisional beradaptasi dengan iklim sekitar untuk memberi kenyamanan bagi penghuni di dalamnya. Beberapa bangunan tradisional menggunakan ventilasi atap untuk memasok udara segar dan mengeluarkan udara hangat.



Gambar 7. 7 Ventilasi Atap

Sumber : (CRC, 2011)

Bukaan atap yang ideal terletak pada atap yang lebih tinggi dan pada ruang belakang rumah. Hal ini membuktikan bahwa elemen desain bukaan pada atap mempunyai andil dalam menciptakan dan mempengaruhi kondisi suhu dan pergerakan udara dalam ruangan. Bukaan pada atap yang direncanakan dapat membuat udara dari luar mengalir masuk ke dalam bangunan dan mendorong udara panas ke atas melalui ventilasi atap tersebut (Sukawi, et al., 2015).



Gambar 7.8 Simulasi Pola Pergerakan Udara Dengan Ventilasi Atap

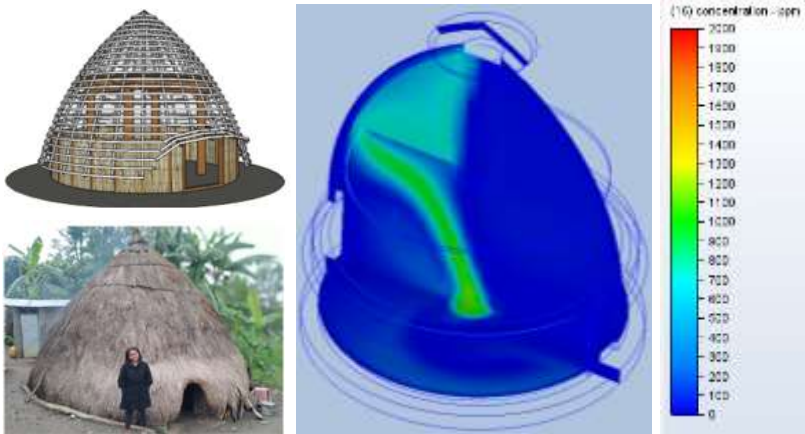
Sumber : (Sukawi, et al., 2015)

Rumah dengan ventilasi atap mempunyai suhu yang lebih rendah karena menghasilkan pergerakan udara yang lebih tinggi dalam ruangan dibanding dengan rumah yang tidak menggunakan ventilasi atap (Sukawi, et al., 2015). Umumnya bangunan tradisional dan bangunan kolonial di Indonesia telah

beradaptasi dengan iklim tropis yang menggunakan ventilasi atap sehingga udara hangat tidak terjebak di loteng (Kindangen, et al., 2024). Beberapa bangunan tradisional di NTT tidak memiliki ventilasi atap karena beradaptasi dengan cuaca dingin karena letaknya di daerah ketinggian. Dalam penelitian penambahan ventilasi pada bubungan atap *Ume Kbulu* (bangunan tradisional masyarakat Timor – NTT) dapat memberikan *stack effect* yang menyebabkan asap dari perapian keluar lebih cepat sehingga dapat menurunkan kadar CO₂ dan menjadikan kualitas udara menjadi lebih baik (Lapenangga, et al., 2023).

7.9 *Stack Effect* (Efek Tumpukan)

Pemahaman efek tumpukan atau *stack effect* menjelaskan tentang pertukaran udara secara konveksi akibat perbedaan tekanan udara antara dalam dan luar ruangan. Efek tumpukan merupakan fenomena daya apung udara akibat perbedaan tekanan dan suhu antara ruang dalam dan lingkungan luar terutama di daerah dingin (Mijorski & Cammelli, 2016). Penjelasan lain secara sederhana menunjukkan bahwa *Stack effect* adalah sebuah fenomena dalam mengalirkan udara yang membawa panas dari dalam ruangan ke luar bangunan dengan konveksi secara alami (Yohana & Novariawan, 2013). Salah satu sistem kerja *stack effect* bekerja pada *solar chimney* (cerobong surya) yang dipasang pada bangunan. Cerobong ini memanfaatkan panas matahari untuk meningkatkan suhu dan menghasilkan konveksi agar udara panas mudah terangkat dan keluar dari bangunan. *Solar chimney* memanfaatkan sinar matahari yang memanaskan cerobong sehingga udara dalam cerobong jadi mengembang dan menghasilkan efek hisap bagi udara diam dalam ruangan agar dapat bergerak ke atas dan udara baru dapat masuk melalui *inlet* dari sisi yang berbeda (S., 2016).



Gambar 7. 9 *Stack Effect* Dengan Penambahan Ventilasi Atap

Sumber : (Lapenangga, et al., 2023)

7.10 Ventilasi Buatan

Dalam penyelesaian masalah kenyamanan termal pada bangunan ventilasi alami memiliki keterbatasan karena pemanasan global dan perubahan iklim sehingga sulit dalam mengendalikan pergerakan udara, debu, temperatur dan kelembaban. Keterbatasan dari ventilasi alami ini dapat di penuhi oleh ventilasi mekanis buatan manusia yang dengan mudah mengendalikan temperatur dan kelembaban ruangan. Ventilasi buatan ini menjadi solusi bagi keterbataasan ventilasi alami namun tetap memiliki kekurangan karena menggunakan banyak energi. Sistem ventilasi mekanis memiliki kekurangan karena mengkonsumsi energi dalam jumlah yang besar, menghasilkan kebisingan serta polutan udara sekunder (Lai, et al., 2018).

Kualitas dan kelembaban udara dalam ruangan bila tidak diatur dengan baik akan sangat mengganggu bagi pengguna bangunan. *Sick building syndrome* merupakan akibat dari kualitas dan kelembaban udara yang tidak sesuai dengan standar kesehatan manusia. Penggunaan exhoust fan sebagai

ventilasi mekanis membantu mensirkulasi udara segar masuk dan mengeluarkan udara lama dari dalam bangunan (Sarumaha & Sugondo, 2021). Ventilasi mekanis dapat membantu menghilangkan polutan namun tetap menggunakan energi dan sejumlah biaya untuk menyuplai energi yang dibutuhkan (Tronchin, et al., 2018).

Untuk mengeluarkan kalor dalam ruangan diperlukan laju aliran udara dengan jumlah tertentu untuk menjaga supaya temperatur udara tidak bertambah dan jumlah laju aliran udara dalam ruangan dapat dihitung dengan persamaan berdasarkan SNI 03-6572-2001 (SNI, 2001).

$$V = \frac{q}{f_c(t_L - t_D)} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

V = laju aliran udara, m³/detik

q = perolehan kalor, Watt

f = densitas udara, kg/m³

c = panas jenis udara, joule/kg.°C

$(t_L - t_D)$ = kenaikan temperatur terhadap udara luar (°C)
angin yang diagonal).

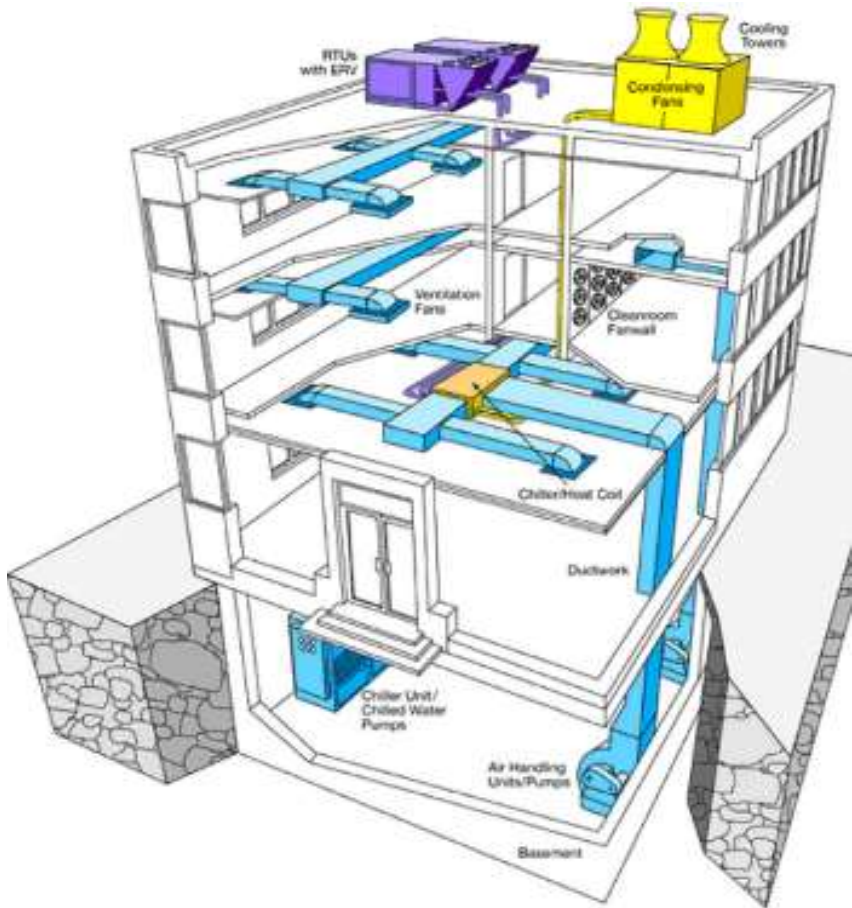
7.10.1 HVAC (*Heating Ventilation and Air-Conditioning*)

HVAC merupakan sistem ventilasi mekanis yang berfungsi mengatur temperatur dan kelembaban udara untuk menghangatkan atau menyejukkan ruangan. *HVAC system* yang berfungsi untuk menghangatkan atau menyejukkan ruangan harus disesuaikan dengan karakteristik iklim pada setiap wilayah karena memiliki tingkat kelembaban dan beban laten yang berbeda (Liu, et al., 2021). Dengan demikian sistem HVAC yang digunakan harus disesuaikan dengan iklim setempat yakni pemanas untuk daerah subtropis dan sedang pada musim dingin serta penyejuk/pendingin ruangan untuk daerah subtropis, sedang, ataupun tropis pada musim panas.

7.10.2 *Cooling System*

Proses pendinginan atau penyejukan ruangan yang menggunakan ventilasi mekanis bertujuan untuk menurunkan suhu dan mengatur kelembaban udara dalam ruangan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi beban pendingin dalam ruangan, antara lain ; jumlah temperatur yang direncanakan, peralatan penghasil panas dalam ruangan, kaca atau dinding luar yang terpapar matahari, lama operasi ruangan. (Pitrianingsih & Hermawan, 2019). Untuk mendapatkan performa yang baik dari sistem ventilasi buatan maka perlu dipertimbangkan karakteristik beban gedung sepanjang waktu penggunaan sehingga konsumsi energi pun ikut dipertimbangkan (SNI, 2020).

AC (*Air Conditioner*) merupakan salah satu perangkat ventilasi mekanis yang berfungsi untuk menurunkan suhu pada ruangan. Fungsi dan karakter bangunan mempengaruhi sistem AC yang bekerja sehingga beban kerja AC lebih efektif dan efisien yang tidak hanya untuk menurunkan suhu tetapi juga mengatur kelembaban dan mengurangi polutan dalam ruangan. Perangkat AC dilengkapi dengan AHU (*Air Handling Unit*) yang berfungsi untuk mengatur suhu, kelembaban dan filter udara.



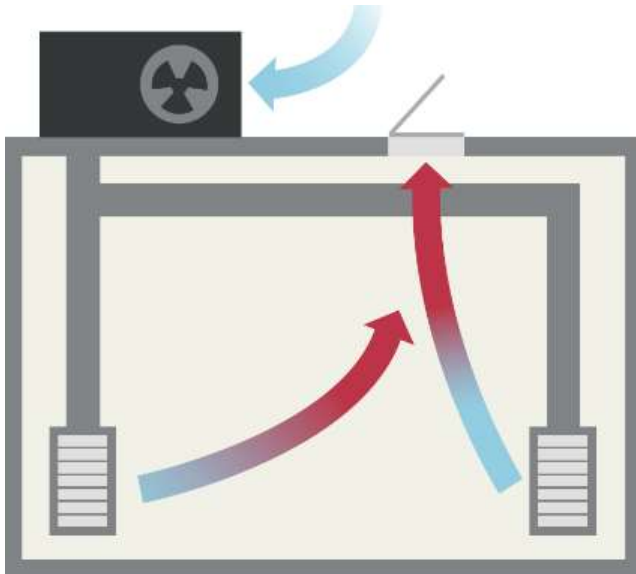
Gambar 7. 10 Perangkat Ventilasi Ahu Dengan Saluran Pasokan Pada Rongga Langit-Langit

Sumber : (Lipinski, et al., 2020)

7.10.3 Hybrid Ventilation System

Hybrid ventilation system (sistem ventilasi campuran) merupakan sistem alternatif sebagai jalan tengah untuk mendukung kenyamanan termal bangunan yang dihasilkan oleh ventilasi buatan namun masih boros terhadap penggunaan energi, ataupun bagi ventilasi alami namun masih sulit dalam mengontrol suhu dan kelembaban karena perubahan lingkungan yang terus terjadi. Untuk menekan

konsumsi energi dan mencapai tujuan arsitektur berkelanjutan maka dapat digunakan ventilasi hybrid yang memanfaatkan potensi alam dan sistem mekanis (V., 2020).



Gambar 7. 11 Sistem Ventilasi Campuran

Sumber : (Kingspan, 2021)

DAFTAR PUSTAKA

- Abel, E., 2016. *History of Ventilation Technology: From a Western Perspective*. Gothenburg: Petra Vladykova Bednarova.
- Awbi, H., 2003. *Ventilation of Buildings*. 2 ed. London: Spon Press.
- Bhagat, R. K., Dalziel, S. B. & Wykes, M. S. D., 2024. Building Ventilation: The Consequences for Personal Exposure. *Annual Review of Fluid Mechanics*, Volume 56, pp. 405-434.
- Chen, Y., Tong, Z. & Malkawi, A., 2017. Investigating Natural Ventilation Potentials Across the Globe: Regional and Climatic Variations. *Building and Environment*, Volume 122, pp. 386-396.
- CRC, 2011. *Sustainable Tropical Building Design: Guidelines for Commercial Buildings*. Queensland: Cairns Regional Council.
- Dewi, C. P., 2020. *Optimization Of Natural Ventilation In Building As Passive Design Strategy For Health Security*. Surakarta, Faculty of Engineering Tunas Pembangunan Surakarta University.
- Ernada, S. et al., 2023. Pengukuran Dan Evaluasi Ventilasi Udara Berdasarkan SNI Pada Laboratorium Motor Bakar Instansi Pendidikan Di Surabaya. *Journal of Student Research (JSR)*, 1(4), pp. 90-103.
- Ernada, S. et al., 2023. Pengukuran Dan Evaluasi Ventilasi Udara Berdasarkan SNI Pada Laboratorium Motor Bakar Instansi Pendidikan Di Surabaya. *Journal of Student Research (JSR)*, 1(4), pp. 90-103.
- Fahmi, M. R., Defiana, I. & Antaryama, I. G. N., 2017. *Cross Ventilation in High-Rise Apartment Building: Effect of Ventilation Shaft Aperture Configuration on Air Velocity and Air Flow Distribution*. Surabaya, Postgraduate Program Institut Teknologi Sepuluh Nopember, pp. 65-68.

- Janssen, J. E., 1999. The History of Ventilation and Temperature Control. *ASHRAE Journal*, pp. 47-52.
- Jeraman, P., 2019. Dinamika Perubahan Arsitektur Rumah Sabu (Ammu Hawu) dan Prospeknya Dalam Rancang Bangun Kiwari. *Komposisi*, 4(2), pp. 55-72.
- Kenneth, A. C. et al., 2023. Exploring The Use Of Natural Ventilation Strategies To Create A Healthy Indoor Environment. *International Journal of Innovative Environmental Studies Research*, 11(3), pp. 109-117.
- Kindangen, J. I., Rompas, L. M., Gosal, P. H. & Rogi, O. H., 2024. Presence and Function of Roof Ventilation in Housing Estates in the Humid Tropics. *International Journal of Advanced Research in Science and Technology*, 13(1), pp. 1225-1231.
- Kingspan, 2021. *Understanding Building Ventilation*. Irlandia: Kingspan.
- Kleiven, T., 2003. *Natural Ventilation in Buildings: Architectural concepts, consequences and possibilities*. Oslo: Norwegian University of Science and Technology.
- Lai, D. et al., 2018. Ventilation Behavior in Residential Buildings with Mechanical Ventilation Systems Across Different Climate Zones in China. *Building and Environment*, Volume 142, pp. 234-243.
- Lapenangga, A., Bebhe, K. & Seli, M., 2023. Additional Roof Ventilation to Produce A Stack Effect in Ume Kibubu, The Traditional House of The Atoni Tribe. *DIMENSI: Journal of Architecture and Built Environment*, 50(1), pp. 43-52.
- Lapenangga, A. K., Kian, D. A. & Boli, B., 2020. Sustainable Architecture: The Lessons From Ume Kibubu, the Traditional House of Fatumnasi Community. *ARTEKS*, 5(3), pp. 469-478.
- Lipinski, T., Ahmad, D., Serey, N. & Jouhara, H., 2020. Review of Ventilation Strategies to Reduce the Risk of Disease Transmission in High Occupancy Buildings. *International Journal of Thermofluids*, 7(8), pp. 1-24.

- Liu, Z., Wang, Z. & Xu, X., 2021. Climatic Division for the Design of HVAC Systems. *Journal of Cleaner Production*, Volume 323.
- Mijorski, S. & Cammelli, S., 2016. Stack Effect in High-Rise Buildings: A Review. *International Journal of High-Rise Buildings*, 5(4), pp. 327-338.
- Pitrianingsih, P. & Hermawan, R., 2019. *Analisis Perancangan Pengkondisian Udara Dengan Menggunakan AC VRF*. Jakarta, Lembaga Penelitian Universitas Trisakti.
- Qian, F. & Yang, L., 2016. Natural Ventilation Environment Strategy in Green Building Design. *Nature Environment and Pollution Technology*, 15(1), pp. 129-134.
- Retyanto, B. D. & Hendriani, A. S., 2018. Aspek Ventilasi Dan Aktivitas Penghuni Menciptakan Kenyamanan Termal Rumah Vernakuler Lereng Sindoro-Sumbing. *Gravity: Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika*, 4(1), pp. 96-106.
- S., M. N. A., 2016. Analisis Penggunaan Wind Tower dan Solar Chimney Sebagai Solusi Penghawaan Alami di Daerah Istimewa Yogyakarta. *INERSIA*, 12(1), pp. 44-51.
- Salyani, I. & Alibaba, H. Z., 2017. Natural Ventilation Strategies for Residential Buildings in Famagusta. *International Journal of Recent Research in Civil and Mechanical Engineering (IJRRCME)*, 4(2), pp. 32-39.
- Sarumaha, Y. K. A. & Sugondo, A., 2021. Optimasi Penempatan Exhaust Fan dalam Rumah dengan CFD. *Jurnal Teknik Mesin*, 18(1), pp. 12-19.
- Siew, C. C., Che Ani, A. I., Abdullah, N. A. G. & Mohad-Tahir, M., 2011. *Classification of Natural Ventilation Strategies in Optimizing Energy Consumption in Malaysian Office Buildings*. Penang, Procedia Engineering, pp. 363-371.
- SNI, 2001. *SNI 03-6572-2001: Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara Pada Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

- SNI, 2020. *SNI 6390-2020: Konservasi Energi Sistem Tata Udara*. Jakarta: Badan Standar Nasional.
- Sukawi, Dwiyanto, A. & Hardiman, G., 2015. *Model Ventilasi Atap pada Pengembangan Rumah Sederhana di Lingkungan Berkepadatan Tinggi*. Semarang, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim , pp. 26-31.
- Sukawi, Dwiyanto, A. & Sari, S. R., 2015. The roof ventilation as Alternative Passive Cooling for high density building in the Humid Tropics. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5(12), pp. 27-33.
- Syahriza, M. A., Setiawan, A. & Suryanti, N., 2023. *Pengaruh Desain Bukaannya Sebagai Optimalisasi Sirkulasi Udara Dalam Ruang*. Yogyakarta, Department of Architecture UII, pp. 172-185.
- Tronchin, L., Fabbri, K. & Bertolli, C., 2018. Controlled Mechanical Ventilation in Buildings: A Comparison between Energy Use and Primary Energy among Twenty Different Devices. *Energies*, Volume 11, pp. 1-19.
- Uotila , U. & Saari, A., 2021. Determining ventilation strategies to relieve health symptoms among school occupants. *Emerald Insight*, 41(15), pp. 1-20.
- V., S., 2020. *The Trend of Hhybrid Ventilation Systems*. Jakarta, IOP Publishing.
- Wargocki, P., 2013. The Effects of Ventilation in Homes on Health. *International Journal of Ventilation*, 12(2), pp. 101-118.
- Winardo, K. & Wimala, M., 2023. Kajian Kebutuhan Ventilasi Alami Ruangan Pada Bangunan Gedung. *REKAYASA SIPIL*, 17(2), pp. 122-129.
- Wingvist, C. V. et al., 2018. Effects of Ventilation Improvement on Measured and Perceived Indoor Air Quality in a School Building with a Hybrid Ventilation System. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(7), pp. 1-18.

Yohana, E. & Novariawan, B., 2013. Perbandingan Stack Effect pada Rumah Secara Konveksi Paksa dan Konveksi Alami Ketika Kondisi Hujan. *Jurnal Mechanical*, 4(1), pp. 1-7.

BAB 8

GREEN BUILDING

Oleh Vita Fajriani Ridwan

8.1 Pendahuluan

Dalam ranah arsitektur dan teknik sipil, konsep *green building* berdiri sebagai mercusuar keberlanjutan di tengah tantangan lingkungan. Pada intinya, *green building* mewakili etos, filosofi yang memandu padankan desain, konstruksi, dan operasi bangunan dengan fokus pada pembangunan yang berkelanjutan dan memperhatikan alam dan lingkungannya (Kibert, 2016), sehingga bukan hanya tentang membangun struktur, tapi bagaimana menggabungkan solusi inovatif yang meminimalkan dampak lingkungan sambil merawat kesejahteraan penghuni dan masyarakat.

Untuk memahami *green building*, kita harus terlebih dahulu memahami signifikansinya dalam konteks pembangunan berkelanjutan secara lebih luas. Industri konstruksi, meskipun penting bagi kemajuan manusia, juga telah menjadi kontributor besar pada degradasi lingkungan. Praktik konstruksi konvensional telah menyebabkan konsumsi energi berlebih, penipisan air, pembuangan limbah, dan emisi gas rumah kaca, memperparah ancaman perubahan iklim. *Green building* muncul sebagai respon, upaya sadar untuk membalikkan tren ini dan menetapkan arah menuju hubungan yang lebih harmonis antara aktivitas manusia dan alam.

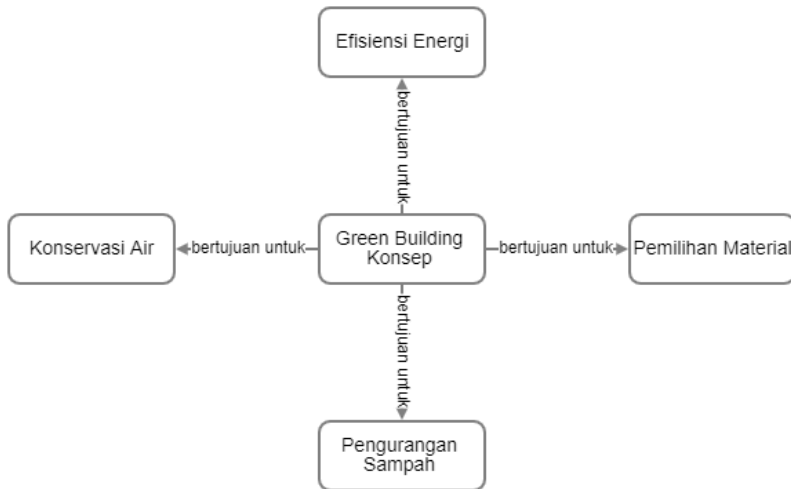
Green building memainkan peran sentral dalam mengurangi krisis lingkungan yang kita hadapi saat ini. Saat kota-kota kita berkembang dan sumber daya alam menipis, konsep ini menawarkan solusi dengan meminimalkan konsumsi energi, mengurangi limbah (Hildegardis, Saraswati and Dewi, 2019), hingga mengintegrasikan sumber daya terbarukan. Bayangkan kota yang setiap bangunannya berfungsi sebagai mini ekosistem, mengumpulkan energi surya, mengumpulkan air hujan, dan mempromosikan keanekaragaman hayati. *Green building* bukan hanya struktur, tapi adalah entitas hidup yang berpadu dengan alam. Karena konsep *green building* sangat luas dan komprehensif, maka pada chapter ini akan mengeksplor konsep *green building* secara umum, termasuk konsep pendekatan perencanaan pasif dan aktif yang banyak diterapkan pada konsep *green building*. Chapter ini juga akan mengurai hubungan arsitektur vernacular dan *green building*, serta aplikasi perangkat lunak yang umum digunakan dalam mendukung konsep ini. Terakhir, akan dipaparkan beberapa tantangan penerapan *green building*.

8.2 Konsep *Green Building*

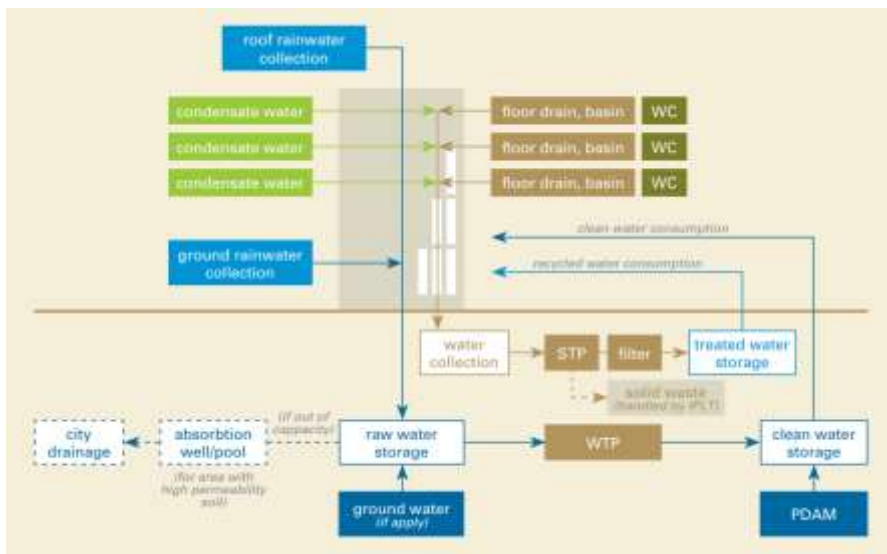
Pada Gambar 8.1. memperlihatkan konsep dari *green building*. Seperti yang dipaparkan pada bagian sebelumnya, tujuan utama dari *green building* adalah mengurangi krisis lingkungan yang kita hadapi sekarang ini, khususnya terkait dengan bangunan. Dalam mencapai tujuan tersebut, terdapat 4 target kecil dalam konsep *green building* ini.

Efisiensi energi yang digunakan pada bangunan adalah salah satu tujuan pencapaian dari *green building*. Konsep ini digunakan mulai dari tahap perencanaan, analisis kinerja hingga pemantauan. Tujuannya bagaimana mengurangi konsumsi energi dan biaya operasional jangka panjang dengan penerapan desain perencanaan pasif dan aktif pada bangunan (lihat Gambar 8.3).

Konservasi dan pengelolaan air juga merupakan salah satu prinsip penting dalam konsep *green building*. Di era kelangkaan air dan polusi yang meningkat, penting untuk mengadopsi strategi yang meminimalkan konsumsi air dan mengurangi dampak perkembangan perkotaan pada siklus hidrologi. Penyimpanan air hujan, sistem daur ulang air bersih (lihat Gambar 8.2) daur ulang *grey water* untuk konsumsi air sekunder, hingga penggunaan peralatan hemat air serta teknik penataan lahan menawarkan solusi konkret untuk mengurangi permintaan air dan mempromosikan praktik penggunaan air yang berkelanjutan (The Government of the Province of Jakarta Capital Special Territory, 2021).



Gambar 8. 1 Konsep *Green Building*



Gambar 8. 2 Salah Satu Alternatif Sistem Recycle Air Bersih (The Government of the Province of Jakarta Capital Special Territory, 2021)

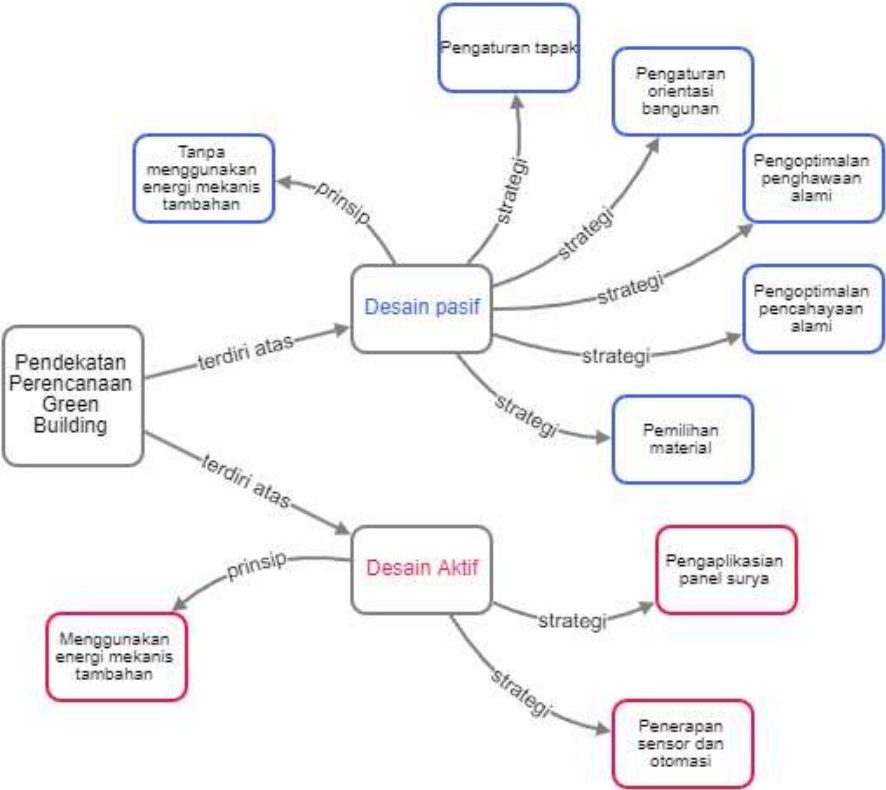
Pengurangan limbah/sampah sama pentingnya dengan prinsip yang lain. Praktik konstruksi tradisional sering menghasilkan banyak limbah (Sedayu *et al.*, 2020), mulai dari puing-puing konstruksi hingga komponen bangunan akhir hayat (pekerja konstruksi), memperparah beban pada tempat pembuangan sampah dan ekosistem alami. *Green building* berupaya dalam memprioritaskan penggunaan bahan daur ulang, bahan bekas, dan bahan yang diperoleh secara lokal, sehingga meminimalkan dampak lingkungan dari proyek konstruksi. Selain itu, strategi seperti prefabricasi, konstruksi modular, dan dekonstruksi untuk penggunaan ulang di masa depan menawarkan pendekatan inovatif untuk mencapai prinsip ini.

Pemilihan material mencakup prioritas terhadap material berkelanjutan yaitu material dengan dampak lingkungan rendah, termasuk bahan daur ulang, bahan bekas, dan sumber daya yang dapat diperbarui dengan cepat (sumber lokal)

seperti bambu dan jerami menawarkan alternatif yang dapat diperbaharui untuk bahan konstruksi tradisional, memberikan solusi berkelanjutan untuk komponen bangunan seperti lantai, isolasi, dan elemen struktural.

8.3 Desain *Green Building*

Pada Gambar 8.3. memperlihatkan pendekatan perencanaan *green building* terdiri atas perencanaan dengan konsep aktif dan pasif. Perencanaan bangunan dengan pendekatan pasif berfokus memaksimalkan perencanaan yang tidak berfokus pada penggunaan energi mekanis tambahan, yang berarti penekanan menggunakan sumber alami (lokal) dalam perencanaannya. Konsep ini mencakup pengaturan massa dan fasad bangunan terhadap orientasi bangunan (Chen, Yang and Lu, 2015), dimana fasad terpanjang diarahkan tidak mengarah ke arah pergerakan matahari, untuk mengurangi penyerapan panas pada bangunan. Selain itu konsep ini juga menekankan bagaimana memaksimalkan pencahayaan alami dan penghawaan alami pada bangunan (Chen, Yang and Lu, 2015), sehingga pengaturan pengadaan bukaan, bentuk bukaan, luas bukaan, void hingga atap. Konsep pencahayaan alami dan penghawaan alami adalah bagaimana memaksimalkan cahaya matahari sebagai sumber pencahayaan pada bangunan, namun di sisi lain mereduksi panas matahari yang terbawa bersama sinar matahari. Konsep ini juga mempengaruhi perencanaan tinggi suatu bangunan atau ruang, dimana semakin tinggi suatu ruang, perputaran udara pada ruangan tersebut akan menjadi semakin baik.



Gambar 8. 3 Pendekatan Perencanaan *Green Building*

Pendekatan perencanaan pasif juga berpegang pada pengolahan tapak. Pengolahan tapak ini mencakup pemilihan elemen tanaman hingga komponen tutupan tanah pada tapak, dimana prinsipnya adalah bagaimana mengatur tapak dan elemennya yang akan membantu bangunan dan penghuninya merasakan kenyamanan (thermal maupun visual hingga psikologis). Selain itu pendekatan lainnya adalah pemilihan material khususnya terkait material selubung bangunan. Hal ini penting, karena salah satu penyuplai sumber rumah kaca adalah bangunan, dimana selubung bangunan bersifat cermin yang memantulkan panas (bahkan menjadi lebih panas) kembali ke lapisan ozon.

Pendekatan pasif ini sangat berkaitan dan mendukung setiap konsep yang ada. Seperti, konsep pengaturan tapak, berkaitan dengan pengaturan orientasi massa dan fasad bangunan. Contohnya, penempatan tanaman peneduh pada bagian bangunan yang terpapar sinar matahari pada jam-jam puncak, yaitu pukul 10.00 hingga pukul 14.00 (Paramita and Koerniawan, 2013), hingga pengaturan elemen tapak dalam upaya mereduksi panas matahari yang akan sampai ke bangunan lewat penempatan kolam di dekat elemen bangunan yang terdeteksi akan menerima panas yang tinggi, hingga pengadaan *vertical garden* sebagai pereduksi panas untuk fasad bangunan yang terekspos di arah timur-barat juga pengadaan *green roof*. Hal ini berarti, pengaturan tapak juga terkait dalam memaksimalkan pencahayaan alami dan penghawaan alami hingga pemilihan material pada bangunan.

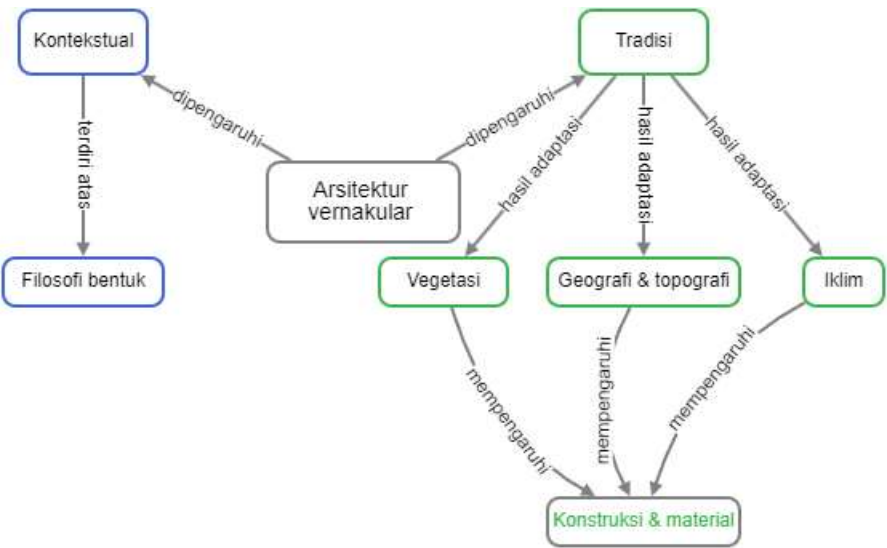
Hal itu juga berlaku untuk pengaturan orientasi massa dan fasad bangunan yang mempengaruhi pencahayaan alami dan penghawaan alami, begitu pula dengan pemilihan material khususnya terkait selubung bangunan akan mempengaruhi pencahayaan alami dan penghawaan alami, seperti pemilihan jenis kaca pada jendela, pemilihan material selubung bangunan, hingga pemilihan warna dan material interior.

Sementara perencanaan bangunan dengan pendekatan aktif fokus pada bagaimana menggunakan energi mekanis tambahan pada bangunan. Pengaplikasian pendekatan ini melalui penerapan energi terbarukan, seperti penerapan panel surya pada dinding, atap ataupun elemen tapak sebagai bagian dari sumber *renewable energy*. Selain itu, penerapan sistem sensor (sensor gerak ataupun cahaya) dan otomasi pada komponen bangunan, seperti sistem sensor dan otomasi pada lampu, tirai jendela, keran hemat air, sistem irigasi tetes pada tapak, hingga *low-flow toilets*. Kedua pendekatan perencanaan di atas diterapkan secara berdampingan dan saling mendukung serta mempengaruhi satu dengan yang lain. Selain itu kedua pendekatan ini memiliki tujuan yang sama yaitu bagaimana

menciptakan konsep *green building* pada bangunan dan mencapai 4 target yang telah disebutkan pada Gambar 8.1.

8.4 Penerapan *Green Building* pada Arsitektur Vernakular

Arsitektur vernakular mengacu pada gaya bangunan yang muncul dari budaya, nilai, dan sejarah suatu tempat. Arsitektur ini sangat terkait dengan konteks khusus suatu wilayah atau komunitas, mencerminkan identitas budaya dan warisan lokal dari penduduk setempat. Arsitektur vernakular di Indonesia mencerminkan kekayaan budaya dan warisan lokal. Dikenal sebagai Rumah Adat, arsitektur vernakular ini bervariasi di berbagai wilayah dan budaya, tetapi memiliki kesamaan tertentu.



Gambar 8. 4 Konsep Arsitektur Vernakular di Indonesia

Pada Gambar 8.4. mengeksplorasi konsep arsitektur vernakular di Indonesia. Rumah adat yang merupakan produk arsitektur vernakular (Satar, Syarif and Nadjmi, 2018) dipengaruhi oleh tradisi dan kontekstual. Tradisi mewakili

filosofi bentuk dari rumah adat itu sendiri, dimana proses perkembangannya mengalami *trial and error* serta bersifat dinamis seiring waktu. Sementara unsur kontekstual mengacu pada adaptasi bangunan vernakular terhadap kondisi di sekelilingnya (iklim, vegetasi juga topografi dan geografis). Adaptasi inilah yang mempengaruhi struktur rumah adat di Indonesia yang umumnya menggunakan sistem tiang, balok, dan lintel yang menopang beban secara langsung ke tanah, serta atap miring. Bahkan umumnya konstruksi rumah adat di Indonesia menggunakan konsep rumah panggung, sebagai adaptasi dari iklim (hujan dengan potensi banjirnya, dan memungkinkan cross ventilation sebagai jawaban atas iklim panas). Dari segi material, konsep ini memanfaatkan material lokal (bambu, kayu, daun kelapa, jerami, tanah liat hingga batu kali) yang bersifat ramah lingkungan.

Dari pemaparan di atas, arsitektur vernakular di Indonesia yang diwakili oleh rumah adat memiliki keterkaitan dan mendukung konsep *green building* karena berkarakteristik bioklimatik dan dalam perencanaan dan desainnya memperhatikan prinsip keberlanjutan, memberikan efisiensi energi, pengendalian kebisingan pasif, dan regulasi termal sambil meminimalkan emisi CO₂. Hal itu karena konsep ini memperhatikan :

1. Kesesuaian Lingkungan dan Kebijakan Berkelanjutan

- Adaptasi lokal: Rumah adat Indonesia telah beradaptasi dengan lingkungan setempat selama berabad-abad. Bahan-bahan lokal digunakan karena ketersediaan dan keberlanjutannya. Bentuk bangunan juga sebagai bentuk mitigasi dan adaptasi terhadap iklim dan geografis. Dimana, *green building* juga memprioritaskan penggunaan bahan ramah lingkungan dan daur ulang, ditambah penerapan bahal lokal juga dapat mengurangi emisi CO₂ karena transportasi dan produksi bahan bangunan.

- Kebijakan lingkungan: *Green building* mengambil inspirasi dari prinsip-prinsip arsitektur tradisional. Misalnya, penggunaan bahan ramah lingkungan, pemanfaatan sumber daya alam, dan perencanaan yang memperhatikan lingkungan.

2. Desain Pasif dan Efisiensi Energi

- Desain Pasif: Rumah Adat sering menggunakan desain pasif, seperti orientasi yang memaksimalkan sinar matahari dan angin alami. Prinsip ini juga diterapkan dalam *green building*. Konsep rumah panggung dan atap yang memungkinkan *cross ventilation* dan sistem regulasi thermal yang efisien. Dimana *green building* juga memperhatikan isolasi dan sistem ventilasi yang hemat energi.

8.5 Aplikasi Perangkat Lunak dalam *Green Building*

Dalam konsep *green building*, perangkat lunak memainkan peran penting mulai dari perencanaan hingga pemeliharaan. Integrasi teknologi dalam praktik *green building* telah menjadi semakin penting dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan. Perangkat lunak aplikasi memainkan peran penting dalam mengoptimalkan desain bangunan, konstruksi, dan operasi, memastikan pemanfaatan sumber daya yang efisien dan meminimalkan dampak lingkungan.

Secara umum, jika dilihat dari fungsinya ada tiga bentuk aplikasi perangkat lunak yang mendukung konsep *green building*, yaitu pemodelan bangunan dan informasinya, pemodelan energi dan eksisting bangunan hingga sistem manajemen bangunan pintar. Pemodelan bangunan dan informasinya memungkinkan arsitek, insinyur, dan profesional konstruksi untuk membuat model digital komprehensif dari

bangunan, mengintegrasikan berbagai aspek seperti sistem struktural, mekanikal, elektrik, dan perpipaan. Salah satu aplikasi dari pemodelan bangunan dan informasinya yang banyak digunakan dalam *green building* adalah BIM (Raouf and Al-Ghamdi, 2019). Pemodelan energi dan eksisting bangunan memungkinkan arsitek, insinyur, dan profesional konstruksi memahami kondisi real bangunan pada lingkungan eksisting. Pemodelan ini akan membantu dalam menganalisis banyak hal (pencahayaan, penghawaan, hingga tapak). Aplikasi perangkat lunak yang terkait dengan hal ini salah satunya adalah GIS. Dalam proses analisisnya, umumnya perangkat lunak ini bekerja sama dengan aplikasi pemodelan bangunan informasi yang bersifat komprehensif (BIM). Terakhir adalah sistem manajemen bangunan pintar. Sistem bangunan pintar memanfaatkan sensor, aktuator, dan analisis data untuk mengoptimalkan kinerja bangunan, meningkatkan kenyamanan penghuni, dan mengurangi konsumsi energi (Sistem Manajemen Bangunan (BMS) dan *platform Internet of Things/IoT*). Untuk memahami aplikasi perangkat lunak yang umum digunakan dalam konsep *green building* dapat dilihat pada Tabel 8.1.

Tabel 8. 1 Aplikasi Perangkat Lunak Dalam *Green Building*

Aplikasi	Perangkat lunak	Tujuan
Perencanaan dan Desain	BIM	Memungkinkan kolaborasi antara arsitek, insinyur, dan kontraktor. Ini membantu merancang, memvisualisasikan, dan mengelola bangunan secara efisien.
	Google Sketchup	Memungkinkan desainer membuat model 3D dengan mudah. Dapat digunakan untuk merencanakan tata letak, orientasi, dan pencahayaan

Aplikasi	Perangkat lunak	Tujuan
Analisis Kinerja Bangunan		bangunan.
	GIS	Memungkinkan pemilihan dan perencanaan site, serta pengaturan orientasi bangunan terhadap sinar matahari juga pengaturan tapak melalui analisis spasial.
	DiaLUX	Alat analisis bangunan yang memungkinkan pengukuran kinerja pencahayaan. Software ini juga cocok di tahap perencanaan dan desain
	Energi	Software simulasi energi yang memodelkan konsumsi energi bangunan. Berguna untuk mengoptimalkan efisiensi energi.
Manajemen Operasional dan Pemeliharaan	CMMS (<i>Computerized Maintenance Management System</i>)	Digunakan untuk mengelola pemeliharaan rutin, perbaikan, dan inventarisasi fasilitas.
	<i>Energy Management Systems</i> (EMS)	Memantau dan mengelola konsumsi energi bangunan secara real-time.
Pemantauan Kinerja	<i>Building Automation Systems</i> (BAS)	Mengumpulkan data dari sensor dan perangkat di bangunan untuk mengoptimalkan kenyamanan dan efisiensi.
	IoT (<i>Internet of Things</i>)	Sensor dan perangkat terhubung yang memantau kinerja bangunan secara real-time.

Aplikasi	Perangkat lunak	Tujuan
	GIS	Melalui konsep pemantauan dan pemeliharaan, aplikasi ini mampu mengintegrasikan data penginderaan jauh (citra satelit, LiDAR) untuk memantau green roof, vegetasi, dan perubahan tutupan lahan.

8.6 Tantangan dalam Penerapan *Green Building*

Tantangan dalam mengadopsi *green building* dapat melibatkan beberapa aspek. Berikut adalah beberapa tantangan yang sering dihadapi:

1. Biaya Awal yang Tinggi
Implementasi teknologi *green building* sering memerlukan investasi awal yang signifikan. Biaya peralatan dan material yang lebih ramah lingkungan umumnya lebih tinggi daripada solusi konvensional (Wang, Zhang and Pasquire, 2018). Pengembang dan pemilik bangunan harus mempertimbangkan manfaat jangka panjang dan pengurangan biaya operasional untuk membenarkan investasi awal ini.
2. Kurangnya Kesadaran dan Pemahaman
Banyak pihak terlibat dalam proyek konstruksi mungkin belum sepenuhnya memahami manfaat *green building*. Pendidikan dan pelatihan mengenai teknologi dan praktik konsep *green building* perlu ditingkatkan agar semua pemangku kepentingan dapat berkontribusi secara efektif.
3. Ketidakpastian Regulasi dan Kebijakan
Ketidakpastian mengenai peraturan dan kebijakan pemerintah terkait insentif, sertifikasi, dan persyaratan *green building* dapat mempengaruhi keputusan investasi.

Kebijakan yang konsisten dan jelas diperlukan untuk mendorong adopsi strategi efisiensi energi.

4. Perubahan Perilaku Pengguna

Efisiensi energi juga tergantung pada perilaku pengguna bangunan (Azeem *et al.*, 2017). Kesadaran dan edukasi penghuni tentang penggunaan energi yang bijaksana sangat penting. Tanpa dukungan dari pengguna, implementasi strategi efisiensi energi dapat terhambat.

8.7 Penutup

Chapter buku ini telah memaparkan *green building* melampaui sekadar konstruksi tapi mencerminkan etos holistik yang berpadu dengan alam, budaya, dan komunitas. Dari paparan sebelumnya *green building* merupakan perpaduan dari kebijaksanaan lokal yang tertuang lewat arsitektur vernakular dan inovasi modern. Strategi desain pasif, yang berakar pada arsitektur vernakular, mengajarkan kita untuk memanfaatkan sumber daya alam (sinar matahari, angin, dan air) dan material lokal untuk menciptakan ruang yang nyaman dan hemat energi. Pendekatan perencanaan aktif, mulai dari panel surya hingga penerapan otomasi dan sensor, mendorong kita menuju masa depan berkelanjutan. Sebagai arsitek, insinyur, dan penjaga planet kita, kita berdiri di persimpangan tradisi dan kemajuan dan tentu saja kita dapat menganyam benang warisan dan teknologi mutakhir bersama-sama, membentuk bangunan yang menghormati lingkungan dan generasi yang belum lahir.

DAFTAR PUSTAKA

- Azeem, S. *et al.* (2017) 'Examining barriers and measures to promote the adoption of green building practices in Pakistan', *Smart and Sustainable Built Environment*, 6(3), pp. 86–100.
- Chen, X., Yang, H. and Lu, L. (2015) 'A comprehensive review on passive design approaches in green building rating tools', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, pp. 1425–1436. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.003>.
- Hildegardis, C., Saraswati, A.A.A.O. and Dewi, N.K.A. (2019) 'Review of Thermal Comfort in Warm Humid Climate for Traditional Architecture in Indonesia', *KnE Social Sciences*, 3(21 SE-Articles). Available at: <https://doi.org/10.18502/kss.v3i21.4965>.
- Kibert, C.J. (2016) *Sustainable construction: green building design and delivery*. John Wiley & Sons.
- Paramita, B. and Koerniawan, M.D. (2013) 'Solar envelope assessment in tropical region building case study: Vertical settlement in Bandung, Indonesia', *Procedia Environmental Sciences*, 17, pp. 757–766.
- Raouf, A.M.I. and Al-Ghamdi, S.G. (2019) 'Building information modelling and green buildings: challenges and opportunities', *Architectural Engineering and Design Management*, 15(1), pp. 1–28. Available at: <https://doi.org/10.1080/17452007.2018.1502655>.
- Satar, A.E., Syarif, E. and Nadjmi, N. (2018) 'Arsitektur Vernakular di Sulawesi Selatan dan Perannya terhadap Arsitektur Hijau', in *Makalah disajikan dalam Seminar IPLBI, Makassar*.

- Sedayu, A. *et al.* (2020) 'Improving the performance of construction project using green building principles', *Asian Journal of Civil Engineering*, 21(8), pp. 1443–1452. Available at: <https://doi.org/10.1007/s42107-020-00289-1>.
- The Government of the Province of Jakarta Capital Special Territory (2021) *Jakarta Green Building User Guide*. Available at: <https://greenbuilding.jakarta.go.id/index-en.html>.
- Wang, W., Zhang, S. and Pasquire, C. (2018) 'Factors for the adoption of green building specifications in China', *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 36(3), pp. 254–267.

BIODATA PENULIS



Dr., Ir., Muhammad Syarif, ST., MT., MM., MH., IPM., MPU., ASEAN Eng
Dosen Prodi Teknik Arsitektur dan Prodi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

Penulis lahir di Ujung Pandang pada tanggal 16 September 1971. Menempuh pendidikan S-1 Teknik Arsitektur, di Universitas Muslim Indonesia diperoleh tahun 1997. Gelar S-2 (MT) Teknik Arsitektur pada bidang konsentrasi Struktur Konstruksi dan Material Universitas Hasanuddin diperoleh pada tahun 2013. Gelar S-3 (Dr) Teknik Arsitektur pada bidang konsentrasi Struktur Konstruksi dan Material Universitas Hasanuddin pada tahun 2019. Gelar S-2 (MM) Magister Ilmu Ekonomi tahun 2019 dan Gelar S-2 (MH) Magister Ilmu Hukum tahun 2022.

Gelar Insinyur Profesional Madya (IPM) pada 2018. Studi profesi Insinyur (Ir) di Universitas Hasanuddin Makassar tahun 2021. Gelar Ahli Manajemen Proyek (MPU) diraihinya pada thn 2022, demikian pula penganugerahan gelar ASEAN Eng diperoleh pada tahun 2022 di Phnom Penh Kamboja.

Penulis aktif sebagai pemateri dalam berbagai Simposium Internasional dan Nasional. Juga aktif pada beberapa organisasi profesi diantaranya sebagai anggota Asosiasi Tenaga Ahli Konstruksi (ASTAKINDO), Anggota Federasi Internasional Beton (FIB). Penulis juga sebagai Ahli Hukum Kontrak Konstruksi, Ahli Mutu Konstruksi, Ahli Pengawasan Konstruksi Bangunan Sipil, Ahli Quality Engineer dan di back up pula dengan keilmuan Pengadaan Barang dan jasa Pemerintah.

BIODATA PENULIS



Ar. Andiyan, S.T., M.T., IAI.

Dosen Program Studi Arsitektur
Fakultas Sains dan Teknik Universitas Faletahan

Penulis lahir di Bandung 35 tahun yang lalu. S1 Teknik Arsitektur dilanjutkan S2 Magister Teknik Sipil Pendidikan ini menekuni bidang ilmu Arsitektur pada Sub bidang Desain Arsitektur, Teknologi Bangunan, *Green Architecture*, *Urban Design*, Manajemen Konstruksi. Dosen dan Kaprodi di Prodi Arsitektur FST Universitas Faletahan, ia juga tengah berkiprah sebagai praktisi di bidang Konsultan Arsitektur dan *Engineering* tahun 2006 sekaligus CEO/Founder PT. Fyra Karya Abadi sebagai Direktur Utaman, Serta aktif di organisasi profesi Ikatan Arsitek Indonesia (IAI) berlisensi STRA Madya serta sebagai Wakil III ATAKI Jawa Barat, Wakil ketua III INTAKINDO Jawa barat. Menjadi *Chief Editor* pada Jurnal Arsitektur *Archicentre* serta Editor Jurnal Internasional, Reviewer Jurnal Internasional Bereputasi Q1-Q4 Publisher *Elsevier*, *Springer Nature & Hindawi*, 5 *Associate Editor*, 1 Jurnal Manager, 13 Editor Jurnal, 31 Reviewer Jurnal masing-masing ada yang terakreditasi Sinta 3, 4 dan 5 dan Nasional tidak terakreditasi serta aktif menulis buku dan Bersertifikat Penulis dan Editor BNSP pada genre buku Teknik khususnya arsitektur, mulai referensi, bookchapter, dan buku populer lainnya. Andiyan dapat dihubungi melalui e-mail: andiyanarch@gmail.com || IG: @andiyanarch.

BIODATA PENULIS



Muhammad Sega Sufia Purnama, S.T., M.Pd., 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 Sustainability 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



Retno Puspaningtyas, S.T., M.T

Dosen Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Sembilanbelas November Kolaka

Penulis lahir di Ujung Pandang, tanggal 13 Juni 1987. Tercatat sebagai lulusan Sarjana Teknik (S.T.) di Jurusan Teknik Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar pada tahun 2008. Menyelesaikan gelar Magister Teknik (M.T.) di Sekolah Pascasarjana Program Studi Teknik Perencanaan Prasarana Universitas Hasanuddin pada tahun 2011. Pada tahun 2019 terangkat menjadi dosen tetap di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sembilanbelas November Kolaka. Saat ini penulis mengampuh berbagai mata kuliah diantaranya Ekonomi Rekayasa, Aspek Hukum dalam Konstruksi, Ilmu Lingkungan, Manajemen Konstruksi, Menggambar Teknik serta Ilmu Ukur Tanah.

BIODATA PENULIS



Christy Gery Buyang, S.T., M.T.
Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Pattimura

Penulis lahir di Ambon tanggal 19 Desember 1990. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pattimura. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Sipil dan melanjutkan S2 pada jurusan Teknik Sipil pada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menekuni bidang manajemen konstruksi sewaktu menempuh Pendidikan. Serta aktif dalam kegiatan konstruksi di wilayah provinsi Maluku dan sekitarnya.

BIODATA PENULIS



Fauzan A. Sangadji, S.T., M.T.

Dosen Program Studi S1 Teknik Sipil
Universitas Pattimura Ambon

Penulis lahir di Dili pada tanggal 02 Januari 1991. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Pattimura Ambon. Menyelesaikan S1 Teknik Sipil di Universitas Pancasila Jakarta dan melanjutkan S2 Teknik Sipil di Universitas Indonesia dengan peminatan Manajemen Proyek. Penulis menekuni dan mengajar pada bidang keahlian manajemen proyek.

BIODATA PENULIS



Apridus Kefas Lapenangga, ST., MT.

Dosen Program Studi Arsitektur

Fakultas Teknik Universitas Katolik Widya Mandira

Penulis lahir di Kupang tanggal 11 April 1986. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Katolik Widya Mandira (UNWIRA) Kupang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Unwira Kupang dan melanjutkan pendidikan S2 pada Program Studi Magister Arsitektur Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Penulis mengajar mata kuliah Fisika Bangunan pada Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Katolik Widya Mandira (UNWIRA) Kupang. Selain mengajar, penulis juga melakukan beberapa penelitian dasar terkait Fisika Bangunan dan Arsitektur Berkelanjutan.

BIODATA PENULIS



Vita Fajriani Ridwan

Penulis lahir Kota Parepare, 23 Maret 1982. Penulis merupakan dosen tetap Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Ujung Pandang. Selain mengajar, juga aktif di Research Group Pulitzer (Pusat Unggulan Ilmu Teknik Sipil Terapan) dan Unit Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Ujung Pandang. Fokus riset penulis terkait Sistem Informasi Geografi (GIS) dalam bidang Teknik Sipil. Penulis menjajaki studi Teknik Arsitektur pada tahun 2000 dengan tugas akhir terkait *green building* yang berjudul "Planetarium dengan Konsep arsitektur Surya Aktif di Parepare". Pada tahun 2012 belajar tentang infrastruktur di Magister Teknik Perencanaan Prasarana, Universitas Hasanuddin. Tahun 2021 meraih gelar Doctor Engineering setelah menyelesaikan studi doctoralnya di Civil and Environmental Engineering, Ehime University, Matsuyama, Jepang dengan fokus bidang Regional Development dan spatial statistic.