



# Desain Tanggap Iklim

Panduan Perancangan  
Penghawaan dan Pencahayaan  
pada Bangunan Tropis

---

DIAN P.E. LAKSMIYANTI  
POPPY F. NILASARI  
FAILASUF H. HENDRA

## **Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta Lingkup Hak Cipta**

### **Pasal 1:**

Hak Cipta adalah hak eksklusif pencipta yang timbul secara otomatis berdasarkan prinsip deklaratif setelah suatu ciptaan diwujudkan dalam bentuk nyata tanpa mengurangi pembatasan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

### **Pasal 9:**

1. Pencipta atau Pemegang Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 8 memiliki hak ekonomi untuk melakukan: a. penerbitan Ciptaan; b. Penggandaan Ciptaan dalam segala bentuknya; c. penerjemahan Ciptaan; d. pengadaptasian, pengaransemenan, atau pentransformasian Ciptaan; e. Pendistribusian Ciptaan atau salinannya; f. Pertunjukan Ciptaan; g. Pengumuman Ciptaan; h. Komunikasi Ciptaan; dan i. penyewaan Ciptaan.

## **Ketentuan Pidana**

### **Pasal 113:**

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000,- (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/ atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/ atau pidana denda paling banyak Rp500. 000. 000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/ atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/ atau pidana denda paling banyak Rp1. 000. 000. 000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000 000,- (empat miliar rupiah).

### **Pasal 114**

Setiap Orang yang mengelola tempat perdagangan dalam segala bentuknya yang dengan sengaja dan mengetahui membiarkan penjualan dan/atau penggandaan barang hasil pelanggaran Hak Cipta dan/atau Hak Terkait di tempat perdagangan yang dikelolanya sebagaimana dimaksud dalam Pasal 10, dipidana dengan pidana denda paling banyak Rp 100.000.000,- (seratus juta rupiah).

# **DESAIN TANGGAP IKLIM**

Panduan Perancangan Penghawaan dan  
Pencahayaan pada Bangunan Tropis

# DESAIN TANGGAP IKLIM

## Panduan Perancangan Penghawaan dan Pencahayaan pada Bangunan Tropis

Cetakan Pertama: Oktober 2020

Surabaya, Jawa Timur

Penulis:

**Dian P.E. Laksmiyanti**

**Poppy F. Nilasari**

**Failasuf H. Hendra**

Penata Letak: Kanaka

Penata Sampul: Kanaka

Pemeriksa Aksara: Kanaka

Sumber Gambar: diolah dari pixabay.com, pexels.com dan pinterest.com

Penerbit:

**CV. Pilar Edukasi**

Dicetak oleh:

**CV. KANAKA MEDIA**

Surabaya, Jawa Timur

Email : cv.kanakamedia@gmail.com

ISBN: 978-623-93682-4-1

Tebal: 80 hlm; A5

Hak cipta dilindungi undang-undang.  
dilarang memperbanyak sebagian atau  
seluruh isi buku tanpa seizin tertulis  
dari penulis dan penerbit.

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas semua rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku yang berjudul “Desain Tanggap Iklim”. Penyusunan buku ini merupakan luaran dari penelitian dosen pemula yang dilakukan oleh penulis. Selesaiannya buku ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak yang telah memberikan masukan-masukan kepada penulis. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jendral Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, yang telah membiayai riset dengan judul “Optimasi Komposisi Skylight Untuk Efisiensi Energi Pencahayaan Dan Pendinginan Pada Bangunan Middle-Rise Bentang Panjang” pada tahun 2017
2. Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
3. Universitas Kristen Petra

Penulis sangat menyadari bahwa penyusunan buku ini belum mencapai kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang mendukung untuk tercapainya hasil yang lebih pada waktu mendatang. Penulis berharap buku ajar ini dapat berguna bagi penulis secara pribadi maupun pembaca.

Surabaya, September 2020

**Penulis**

# DAFTAR ISI

Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi .....	vi

## **BAB 1**

<b>BANGUNAN HEMAT ENERGI.....</b>	<b>1</b>
1.1 Energi pada Bangunan .....	3
1.2 Beban dan Energi Pendinginan .....	3
1.3 Efisiensi Energi Pendinginan .....	6
1.4 Beban dan Energi Pencahayaan .....	7

## **BAB II**

<b>IKLIM DAN ENERGI DALAM ARSITEKTUR.....</b>	<b>14</b>
2.1. Kondisi Iklim Tropis .....	14
2.2 Pengaruh Radiasi Matahari terhadap Beban Pendinginan .....	16
2.3 Pengaruh Temperatur terhadap Beban Pendinginan .....	23
2.4 Pengaruh Angin terhadap Beban Pendinginan.....	24

## **BAB III**

<b>ARSITEKTUR DAN ENERGI PENDINGINAN .....</b>	<b>26</b>
3.1 Bentuk dan Energi Pendinginan.....	26
3.2 Elemen Bentuk .....	27
3.3 Selubung Bangunan dan Energi Pendinginan .....	30
3.4 Desain Selubung Bangunan dan Material Selubung .....	31
3.5 Pengaruh Komposisi Material terhadap Beban Pendinginan.....	37

## **BAB IV**

<b>ARSITEKTUR DAN ENERGI PENCAHAYAAN .....</b>	<b>41</b>
4.1 Strategi Pencahayaan Alami .....	41
4.2 Kualitas dan Kuantitas Pencahayaan Alami .....	45
Tentang Penulis .....	71



# BAB 1 BANGUNAN HEMAT ENERGI

Persyaratan mendasar sebuah bangunan ada lima, yang pertama, bangunan harus dibuat berdasarkan pada budaya pembangunan setempat, kedua, bangunan harus dapat mengontrol lingkungan internal untuk kenyamanan pengguna bangunan. ketiga, bangunan harus mendukung aktifitas sosial pengguna, keempat, harus mampu memberikan reaksi terhadap gaya dari luar, misalnya struktur bangunan tradisional yang mampu bertahan dari gempa atau pergeseran tanah atau Desainnya yang mampu menjawab permasalahan iklim. Kelima, bangunan memenuhi persyaratan pertama hingga keempat dengan biaya yang masuk akal dan hemat dalam penggunaan energi, baik *embodied energy* maupun energi operasional (Heerwagen, 2004). Bangunan hemat energi adalah bangunan yang memiliki keseimbangan energi (Gonzalo,2006). Faktorfaktornya antara lain:

- Pengoptimalan penggunaan *internal heating load* yang tinggi
- Menghindari *overheating*
- Perlindungan dari panas matahari dan silau
- Pengoptimalan pencahayaan alami

- Fleksibilitas dalam penggantian dan perawatan alat di bangunan tanpa konsumsi energi yang berlebihan.

Keseimbangan energi adalah keseimbangan antara energi yang dikeluarkan dan energi yang masuk ke dalam bangunan. Misalnya kehilangan thermal comfort dalam bangunan harus diimbangi dengan adanya sun protection atau insulasi yang baik pada selubung sehingga tidak ada tambahan energi dari luar (untuk *Air Conditioner*). *Energy balance* bisa dipengaruhi oleh *planning*, teknologi dan konstruksi bangunan. Bangunan komersial memiliki *internal load* yang tinggi, maka desain yang dianjurkan adalah desain dengan banyak jendela sehingga memungkinkan untuk pencahayaan alami (Gonzalo, 2006). Dampak negatifnya adalah di iklim tropis radiasi matahari bisa ikut masuk dan menyebabkan temperatur ruang dalam naik sehingga perlu ada sistem tata udara yang efisien.

Menurut Baker (2005), dari studi menggunakan *LT Method*, Desain parameter seperti *building plan*, orientasi dan desain fasade mempengaruhi penggunaan energi 2.5 kali. Artinya, jika dibandingkan, desain yang buruk akan mengkonsumsi energi 2.5 kali lebih besar dari bangunan dengan desain yang baik. Bangunan dengan desain buruk dan sistem buruk, konsumsi energinya lima kali desain yang baik dengan sistem yang baik. Kebiasaan penghuni juga mempengaruhi jumlah konsumsi energi. Kebiasaan penghuni yang buruk dapat menaikkan konsumsi energi hingga dua kali lipat.



## **1.1 Energi pada Bangunan**

Menurut Gonzalo (2006), energi pada bangunan terbagi menjadi dua, *embodied energy* dan *operational energy*. *Embodied energy* adalah total energi yang digunakan untuk membuat, mengangkut serta memasang bahan bangunan yang digunakan pada sebuah gedung. Sedangkan *Operational energy* adalah energi yang digunakan pada bangunan untuk mendukung aktifitas pengguna atau memberikan kenyamanan pada pengguna bangunan.

Lecner (2007), membagi energi pada bangunan menjadi tiga kelompok utama, energi untuk pemanasan, energi untuk pendinginan, dan energi untuk pencahayaan. Ketiga jenis energi ini yang paling banyak digunakan dalam bangunan. bangunan di daerah tropis tidak memerlukan energi untuk pemanasan, sehingga berdasarkan SNI no 03-6759-2002, energi pada bangunan minimal terbagi menjadi dua, energi untuk tata udara dan energi untuk tata cahaya. Untuk bangunan komersial, konsumsi energi terbagi menjadi empat antara lain: energi untuk pendinginan dan tata udara, energi untuk pencahayaan, energi untuk sistem transportasi, dan energi untuk peralatan elektronik lainnya (GBCI, 2010)

## **1.2 Beban dan Energi Pendinginan**

Energi pendinginan merupakan energi yang digunakan untuk sistem tata udara dalam sebuah bangunan guna mencapai kenyamanan termal pengguna bangunan (Satwiko, 2004). BPPT dalam Hilmawan (2009) menetapkan pembagian prosentase penggunaan energi dalam bangunan perkantoran sebagai berikut: 47% untuk sistem tata udara, 25%

untuk pencahayaan, 22% *elevator*, dan 6% untuk peralatan lain. Mengacu pada *energy efficient index*, besar batas energi listrik yang digunakan untuk pendinginan adalah 47% dari 200kWh/m<sup>2</sup>/tahun atau 94kWh/m<sup>2</sup>/tahun.

Besarnya energi pendinginan bergantung pada beban pendinginan pada bangunan (Satwiko 2004). Beban pendinginan adalah jumlah panas yang harus dibuang oleh AC dari dalam ruangan keluar agar suhu udara di dalam ruang tidak naik dan tetap pada batas kenyamanan termal. Menurut Satwiko (2004) faktor yang mempengaruhi besarnya beban pendinginan terdapat dalam persamaan 2.1. Cara untuk memperkecil beban pendinginan antara lain dengan menggunakan peralatan elektronik sehemat mungkin dan memperkecil rambatan panas ke dalam bangunan baik itu panas secara konduksi, radiasi dan konveksi.

$$Q_m = Q_i + Q_s + Q_c + Q_v \quad (2.1)$$

Dengan :

$Q_m$  = beban pendinginan (Watt)

$Q_i$  = *internal heat gain* atau sumber panas dari dalam ruangan (Watt)

$Q_s$  = *solar heat flow* atau panas yang menembus dinding dan kaca karena radiasi (Watt)

$Q_c$  = *conduction heat flow* atau panas yang menembus dinding dan kaca karena konduksi (Watt)

$Q_v$  = *convection heat flow* atau panas yang masuk kedalam bangunan karena konveksi (Watt)

Faktor kedua yang mempengaruhi besarnya energi pendinginan adalah sistem AC yang digunakan. SNI 03-6390-2000 mengatur tentang sistem tata udara pada bangunan perkantoran di Indonesia. Kebanyakan perkantoran menggunakan sistem AC split, standart kapasitas AC split yang digunakan adalah 65.000 Btu/h dengan COP minimum 2,6 dan pengaturan temperatur ruang dalam berkisar antara 24°C-26°C. Berdasarkan ASHRAE (1997) COP merupakan angka perbandingan antara laju aliran kalor yang dikeluarkan dari sistem dengan laju aliran energi yang harus dimasukkan ke dalam sistem yang bersangkutan, untuk sistem pendinginan lengkap (persamaan 2.2).

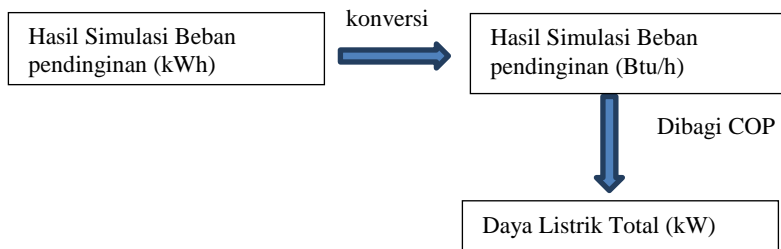
$$COP_{cooling} = \frac{Q}{W} \quad (2.2)$$

Dengan:

COP = *Coefficient of Performance* (tanpa satuan)

Q = Panas yang dikeluarkan dari reservoir atau kapasitas AC (Btu/h)

W = Energi yang dikonsumsi oleh sistem AC (Watt)



Gambar 1.1 Diagram konversi beban pendinginan menjadi energi pendinginan

Kapasitas AC merupakan panas yang mampu dikeluarkan AC tiap jam. Dari persemaan 2.2 dapat diketahui energi listrik yang diperlukan untuk satu sistem AC untuk jumlah beban pendinginan tertentu. Untuk memudahkan pemahaman, gambar 1.1 menunjukkan diagram konversi beban pendinginan menjadi energi pendinginan pada sebuah bangunan.

### 1.3 Efisiensi Energi Pendinginan

Indonesia telah memiliki standard untuk suatu bangunan yang dapat dikatakan efisien terhadap penggunaan energi. Standart tersebut dirangkum dalam beberapa aturan SNI. Terdapat dua tipe *building codes*, yang pertama, kinerja bangunan dilihat perbagian, terutama dari kinerja selubung bangunan dan peralatan yang digunakan di bangunan tersebut. Yang kedua dengan melihat semua kinerja elemen bangunan dengan melihat level konsumsi energi, *energy cost budget*.

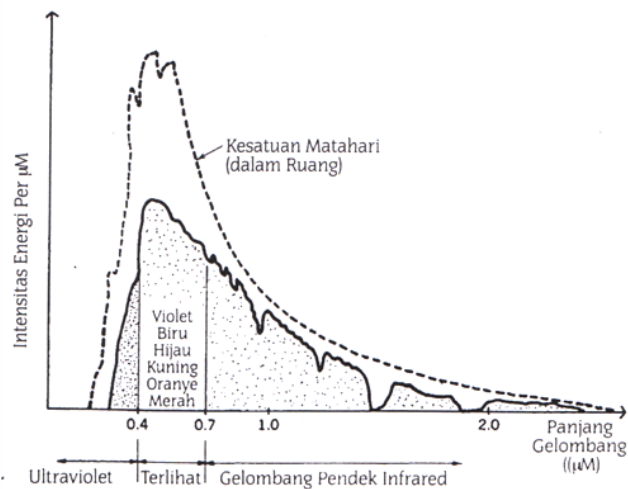
Kristensen (2010) menyebutkan tolok ukur yang digunakan untuk evaluasi efisiensi energi pada suatu bangunan adalah EEI (*energy efficient index*). Negara di Asia Tenggara memiliki EEI antara 150-200 kWh/m<sup>2</sup>/tahun merupakan bangunan yang efisien dalam penggunaan energi. India menetapkan EEI antara 100-150 kWh/m<sup>2</sup>/tahun untuk bangunan yang dinilai efisien.

SNI 03-6389-2000 menjelaskan mengenai konservasi energi melalui selubung bangunan dengan menghitung OTTV dan RTTV bangunan. Untuk Indonesia OTTV maksimal untuk tower adalah 35 W/m<sup>2</sup>. OTTV merupakan salah satu variabel penghematan energi pendinginan, namun tidak dapat langsung dijadikan parameter tunggal (Chirarattananon & Taveekun, 2004).

## **1.4 Beban dan Energi Pencahayaan**

### **1.4.1 Pencahayaan**

Menurut Mangunwijaya (1980), Satwiko (2004) dan Frick (2008) cahaya merupakan syarat mutlak bagi manusia untuk melihat dunia, tanpa cahaya dunia akan gelap, hitam dan mengerikan. Manusia membutuhkan cahaya untuk beraktivitas dengan sehat, nyaman dan menyenangkan (Satwiko, 2004). Selain itu manusia membutuhkan cahaya untuk mengenali lingkungan, menjamin aktivitas penghuninya dan menjalankan aktivitasnya (Frick, 2008). Dengan cahaya manusia dapat melihat lingkungan dengan warna, dapat beraktivitas dengan nyaman serta dapat menikmati interior bangunan dan keindahan arsitekturnya (Mangunwijaya, 1980). Selain hal-hal diatas cahaya dapat didefinisikan sebagai bagian dari spektrum elektromagnetik yang sensitif bagi penglihatan mata (Lechner, 2001), seperti pada gambar 1.2 dibawah ini yang menjelaskan intensitas radiasi sinar matahari mencapai bumi sebagai fungsi panjang gelombang.



Gambar 1.2 Spektrum matahari pada permukaan bumi (47% yang terlihat, 48% gelombang pendek inframerah, 5% radiasi ultraviolet) (Lechner, 2001)

### 1.4.2 Pencahayaan Alami

Menurut Steffy (2002), cahaya yang dihasilkan oleh matahari dan yang menimpa bumi secara langsung, tidak langsung, atau keduanya adalah cahaya alami (*daylight*). Cahaya alami (*daylight*) tersebut meliputi:

- Cahaya matahari (*sunlight*) (secara langsung dari matahari)
- Cahaya langit (*sky light*) (baik *clear*, *cloudy* atau *partly cloudy*)
- Cahaya matahari (*sunlight*) dan atau cahaya langit (*sky light*) yang terpantul dari permukaan lain (misalnya tanah, bangunan sekitar, perairan).

Begitu juga menurut Soegijanto (1999) cahaya alami adalah cahaya yang berasal dari matahari langsung dan cahaya matahari secara

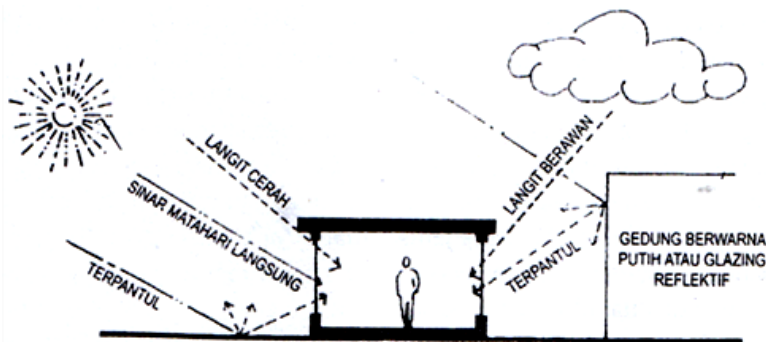
difus (langit). Pencahayaan alami memiliki karakteristik intensitas, arah dan spektrum yang berubah-ubah. Ketersediannya dipengaruhi oleh:

1. Letak geografis, terutama jarak terhadap khatulistiwa atau lintang
2. Iklim, terutama kondisi langit.

Cahaya alami yang masuk melalui bukaan berasal dari beberapa sumber, yaitu:

1. Sinar matahari langsung
2. Langit cerah
3. Awan atau pantulan permukaan bawah dan bangunan sekitarnya.

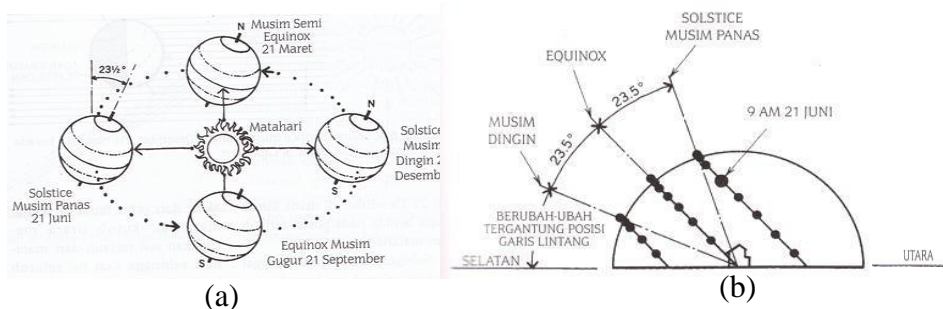
Seperti pada gambar 1.3 cahaya dari masing-masing sumber tersebut bervariasi, tidak hanya dari jumlah dan panas yang dibawanya tetapi juga kualitasnya (seperti warna, penyebaran cahaya, penghematan energi) (Lechner, 2001).



Gambar 1.3 Beberapa sumber pencahayaan alami (Lechner, 2001)

Kondisi langit berbeda-beda, oleh karena itu sangat perlu memahami cahaya alami pada dua kondisi yang berbeda, yaitu pada kondisi langit mendung dan langit cerah dengan adanya sinar matahari.

Ketersediaan cahaya matahari yang melimpah merupakan suatu kelebihan tersendiri bagi hunian di lingkungan tropis lembab. Menurut Koenigsberger (1974) intensitas pencahayaan alami di daerah khatulistiwa dapat mencapai  $\pm 10.000$  lux dan tersedia sepanjang tahun dengan intensitas yang dipengaruhi kubah langit. Lama waktu penyinaran matahari relatif stabil sepanjang tahun yaitu antara pukul 06.00-18.00 atau antara 11-12 jam. Sekitar tanggal 20 Maret dan 23 September intensitas cahaya mencapai maksimum (teoretis), karena pada saat itu matahari sedang melintasi khatulistiwa. Dan sekitar tanggal 21 Juni (di Utara) dan 22 Desember (di Selatan) intensitas tersebut mencapai minimum (Mangunwijaya, 1980).



Gambar 1.4 (a) Adanya musim merupakan akibat kemiringan sumbu rotasi bumi, dan (b) Tampak sisi kiri dari kubah langit (Lechner, 2001)

Kemiringan poros bumi yang tetap membuat belahan bumi bagian Utara menghadap matahari pada bulan Juni dan bagian Selatan akan menghadap matahari pada bulan Desember (gambar 1.4.a). Jalur matahari pada titik balik matahari musim panas (21 Juni), equinox/khatulistiwa (21 Maret dan 21 September) dan titik balik



matahari musim dingin (21 Desember), ditunjukkan pada gambar 1.4 (b) (Lechner, 2001).

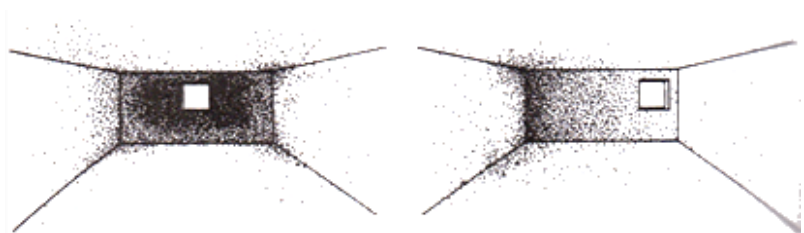
Tujuan umum pencahayaan alami sama seperti pencahayaan buatan yaitu menghasilkan cahaya yang berkualitas yang efisien serta meminimalkan silau langsung, lapisan pemantul dan berlebihnya rasio tingkat terang (Lechner, 2001). Dapat juga dijelaskan sebagai berikut:

1. Mendapatkan cahaya yang masuk lebih banyak ke dalam bangunan dengan menaikkan tingkat iluminasi dan menurunkan gradient iluminasi yang melewati ruang.



Gambar 4.4 Salah satu tujuan dari pencahayaan alami adalah menciptakan lebih banyak penerimaan gradasi iluminasi

2. Mengurangi atau mencegah silau langsung yang kurang baik dari bukaan yang tidak terlindungi atau *skylight*. Silau ini akan bertambah buruk jika dinding yang berada di dekat bukaan tidak teriluminasi, sehingga akan terlihat gelap.



Gambar 4.5 Silau dari sebuah bukaan yang posisinya berdekatan dengan dinding samping akan lebih sedikit dibanding bukaan di tengah dinding (Lechner, 2001)

3. Mencegah berlebihan rasio tingkat terang (*brightness*), terutama yang disebabkan oleh sinar matahari langsung.
4. Menyebarkan cahaya dengan melipatgandakan pantulan dari plafon dan dinding.
5. Terbatas yang memiliki sedikit objek visual kritis adalah secara penuh menggunakan potensi estetis pencahayaan alami dan sinar matahari.
6. Mencegah atau meminimalkan selubung pemantul (khususnya dari *skylight* dan bukaan *clerestory*).



Gambar 4.6 Pemantulan terselubung (*veiling*) merupakan masalah yang sering ditemukan pada pencahayaan yang berasal dari atas (Lechner, 2001)

#### 4.2.1 Faktor-faktor Pencahayaan Alami

Wardhana (1999) mengatakan dalam penelitiannya bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi pencahayaan alami, antara lain adalah:

1. Banyaknya cahaya matahari pada suatu daerah
2. Level pencahayaan yang diperlukan (lux)
3. Unsur-unsur bangunan yang mempengaruhi, seperti:
  - a. Ukuran dan posisi dari lubang cahaya
  - b. Faktor refleksi cahaya dari permukaan-permukaan di dalam dan di luar bangunan
  - c. Lebar teritisan dan ukuran ruang

d. Warna dan bahan elemen ruang

Selain pendapat Wardhana, Prianto (2007) dalam penelitian sebelumnya mengatakan bahwa secara prinsip strategi pencahayaan ditentukan oleh beberapa faktor yang mempengaruhi di dalam sebuah bangunan, seperti:

- a. Arah sumber datangnya cahaya matahari
- b. Geometri ruang dan bangunan
- c. Aspek pemantulan
- d. Daerah yang terkena bayangan
- e. Pencahayaan buatan

Dari dua teori tersebut dapat disimpulkan bahwa, faktor-faktor yang mempengaruhi pencahayaan alami pada sebuah bangunan adalah lingkungan makro daerah tersebut dan mikro pada bangunannya.



## **BAB II IKLIM DAN ENERGI DALAM ARSITEKTUR**

### **2.1. Kondisi Iklim Tropis**

Menurut Szokolay (1987) dan Moore (1993) daerah iklim tropis memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. Langit berawan sepanjang tahun dengan cloud cover 40%-80% yang dapat menyebabkan glare/silau
- b. Matahari bersinar sepanjang tahun yang mengakibatkan radiasi tinggi
- c. Kelembaban sangat tinggi (40%-90%)
- d. Perbedaan temperatur yang relatif sama siang dan malam, dan temperatur rata-rata hangat ( $23^{\circ}\text{C} - 34^{\circ}\text{C}$ )
- e. Kecepatan angin rendah 1,1m/s – 4,3m/s.
- f. Curah hujan tinggi (1200mm/tahun)

Ada lima elemen iklim antara lain radiasi matahari, Temperatur, Angin, Curah hujan dan kelembaban. Semuanya memiliki pengaruh positif dan negatif (tabel 2.1).

**Tabel 2.1. Pengaruh elemen iklim terhadap lingkungan terbangun**

No	Elemen Iklim	Pengaruh	
		Positif	Negatif
1	Radiasi Matahari	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Day Lighting</li> <li>• Energi Surya</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beban panas eksternal</li> </ul>
2	Temperatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kebutuhan pemanasan dan pendinginan</li> <li>• Pembalikan kondisi iklim</li> <li>• Tingkat Percampuran suhu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beban panas pada struktur dan organisme</li> <li>• Berpotensi menyebabkan polusi udara</li> </ul>
3	Angin	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desain ventilasi pada bangunan</li> <li>• Pengurangan beban panas pada bangunan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beban angin pada bangunan</li> <li>• Penyebaran polusi udara</li> <li>• Pembawa debu</li> <li>• Penyebab tampias air hujan</li> </ul>
4	Curah Hujan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Urban Hydrology</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penyebab banjir</li> <li>• Beban akibat air pada bangunan</li> </ul>
5	Kelembaban	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membantu kenyamanan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penyebab kabut</li> <li>• Pengubah polusi</li> <li>• Penyebab karat</li> <li>• Dapat menaikkan temperatur</li> </ul>

Suhu udara atau temperatur merupakan ukuran rata-rata getaran energi pada setiap molekul dari suatu unsur atau ukuran dari konsentrasi panas di dalam suatu unsur. Tingkat penerimaan panas (temperatur) pada bangunan dipengaruhi oleh:

- Sudut datang sinar matahari, yaitu sudut yang dibentuk oleh permukaan bangunan dengan arah datangnya sinar matahari. Semakin kecil sudut datang maka semakin sedikit panas yang diterima
- Lama waktu penyinaran
- Keadaan muka bumi
- Banyak sedikitnya awan

Temperatur udara adalah faktor dominan yang menentukan perpindahan panas konveksi. *Air movement* mempercepat konveksi, tapi juga mengubah koefisien *heat transver* pada selubung bangunan (mengurangi *surface resistance*). Pergerakan dara juga bisa membantu dalam proes evaporasi yang memberi efek dingin secara psikologis. Kelembaban tidak banyak berpengaruh pada temperatur, namun jika kondisi udara terlalu lembab, maka pemperlambat proses evaporasi sehingga tubuh terasa panas.

Kelembaban adalah jumlah kandungan uap air dalam satuan volume udara pada saat dan tempat tertentu. Kelembaban udara dibedakan menjadi dua, kelembaban mutlak dan kelembaban relatif. Kelembaban mutlak adalah kelembaban yang menunjukkan berapa gram uap air yang terkandung dalam  $1\text{m}^3$  udara, sedangkan kelembaban nisbi adalah bilangan yang menunjukkan berapa persen jumlah uap air yang terkandung dalam udara.

Curah hujan adalah frekuensi dan banyaknya hujan yang terjadi di suatu daerah. Sedangkan angin adalah konveksi di atmosfer yang berusaha menghilangkan perbedaan panas antara zona yan satu dengan yang lain. Angin terjadi akibat adanya perbedaan tekanan antara dua daerah.

## **2.2 Pengaruh Radiasi Matahari terhadap Beban Pendinginan**

Indonesia terletak antara  $11^{\circ}\text{LU}$ - $9^{\circ}\text{LS}$  dan  $94^{\circ}\text{BT}$ - $141^{\circ}\text{BT}$  dan kebanyakan area indonesia merupakan lautan. Indonesia mengalami musim panas sepanjang tahun serta kelembaban yang tinggi sepanjang

tahun. Pergantian musim ditandai dengan perubahan kondisi angin dan hujan yang signifikan.

Musim penghujan terjadi di bulan Desember sampai Maret saat matahari bergerak dari 23°LS ke 0°. Musim kemarau terjadi pada bulan Juni sampai September saat matahari bergerak dari 23°LU ke 0°. Karena Indonesia merupakan negara tropis yang dilalui katulistiwa, maka lama penyinaran matahari rata-rata 12 jam.

Menurut Givoni (1976), radiasi matahari adalah radiasi elektromagnetik yang terpancar dari matahari. Gelombang elektromagnetik ini memiliki panjang gelombang yang berbeda-beda hingga akhirnya memiliki wujud yang berbeda pula seperti sinar ultra violet, cahaya tampak dan sinar infra merah.

Energi yang dipancarkan oleh matahari ke bumi akan diserap dan dipantulkan, sama halnya dengan permukaan tidak tembus cahaya pada dinding bangunan. Untuk dinding tembus cahaya, radiasi yang masuk bergantung pada nilai *global irradiance*, luas kaca dan *solar gain factor* ( $\theta$ ). Menurut Szokolay (2004) Setiap jenis kaca memiliki nilai *sgf* yang berbeda. Sebagian radiasi yang menerpa selubung oleh kaca diteruskan ( $\tau$ ), dipantulkan ( $\rho$ ), dan diserap ( $\alpha$ ) oleh kaca.

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \tag{2.3}$$

Cara paling efektif untuk merancang bisa dengan cara mengontrol jumlah panas yang mencapai interior bangunan dengan mendesain selubung bangunan dengan bahan yang menyerap atau memantulkan radiasi. Permukaan dengan daya serap lemah untuk radiasi

gelombang pendek. Permukaan yang memantulkan banyak cahaya dan panas matahari biasanya merupakan permukaan dengan warna cerah dan tekstur halus. Jumlah energi yang diserap ( $I_a$ ) adalah hasil kali radiasi matahari ( $I_i$ ) dengan daya serap permukaan ( $a$ ) (Szokolay, 1987).

$$I_a = a I_i \quad (2.4)$$

Radiasi matahari tidak akan diteruskan ke dalam bangunan terlalu banyak jika arsitek menggunakan kaca dengan daya pantul dan daya serap yang tinggi. Menurut Szokolay (1987) total radiasi matahari (*insolation*) yang menerpa permukaan bangunan dapat digolongkan menjadi tiga komponen: radiasi langsung dari matahari ( $I_D$ ), *diffused radiation* dari langit ( $I_d$ ) dan radiasi yang dipantulkan bumi di sekitar bangunan ( $I_R$ ).

$$I = I_D + I_d + I_R \quad (2.5)$$

Radiasi matahari secara keseluruhan (*global irradiance*) perlu dihitung untuk mengetahui jumlah radiasi yang menerpa bangunan pada permukaan horizontal maupun setiap orientasi dinding bangunan. Beberapa literatur menyebut istilah yang berbeda untuk radiasi matahari total (*global irradoiance*) tersebut. *Global irradiance* dapat dihitung melalui persamaan 2.6 (Szokolay, 1987).

$$\frac{I_{\text{total}}}{A} = 0,29 \frac{I_{\text{total}}}{A} + \left(0,52 \frac{I_{\text{total}}}{A}\right) \quad (2.6)$$



Dengan :

Dh = Global irradiance (Watt/m<sup>2</sup>/Hari)

Doh = Solar constant per hari (Watt/m<sup>2</sup>/Hari)

0,29 = Konstanta, bergantung properti transmisi massa udara.

LAT = Latitude atau garis lintang (°)

n = *number of sunshine per day*

N = possible sunshine hour per day

Menurut Markus dalam Ling (2007), Konsumsi energi bangunan berprinsip pada proses kontrol lingkungan dengan memberi media iklim luar untuk dimasukkan dalam lingkungan internal bangunan. Setiap bangunan dapat dibentuk untuk mengurangi efek lingkungan. Di negara tropis lembab, eksplorasi bentuk bangunan untuk meminimalkan dampak negatif sinar matahari bisa menjadi *design guide* bagi arsitek.

Radiasi matahari memberi kontribusi penting pada panas yang diterima bangunan. Prediksi dari rata-rata solar insolation (dalam sehari, bulan ataupun tahun) diperlukan untuk menghitung beban pendinginan yang didapat dari radiasi yang jatuh pada dinding atau yang menembus masuk melalui jendela. Solar insolation merupakan jumlah total radiasi matahari di satu titik tertentu atau permukaan bangunan pada periode tertentu. Distribusi dan adanya radiasi matahari pada permukaan *external facade* perlu dipelajari. Memahami karakteristik *solar insolation* yang menimpa bentuk geometri dan orientasi yang berbeda sangatlah penting. Hal ini berpengaruh pada pemilihan tipe *shading* pada bangunan atau mengetahui bagian mana yang paling banyak terkena radiasi matahari sehingga dapat memilih material dinding dan kaca yang efektif untuk meminimalkan beban pendinginan pada bangunan.

Setiap bentuk bangunan memiliki kapasitas yang berbeda dalam menerima energi yang terpancar dari matahari. Stasinopoulos dalam Ling (2007) berpendapat bahwa bentuk yang berbeda akan memiliki kemampuan yang berbeda pula (bisa lebih banyak bisa juga lebih sedikit) dalam menerima radiasi matahari dalam kondisi yang sama. Di daerah tropis lembab, permukaan horizontal selalu menerima radiasi sepenuhnya tanpa mempedulikan bentuk dan orientasinya. Efektifitas permukaan external fasade tergantung insolation rata-rata yang diterima masing-masing permukaan (vertikal, horizontal, atau permukaan miring). Dinding vertikal dengan orientasi berbeda akan menerima cahaya matahari yang berbeda, tidak seperti permukaan horizontal.

Radiasi matahari akan menyebabkan temperatur meningkat dan berpengaruh pada panas yang masuk ke dalam bangunan. Menurut Szokolay (2004) untuk menghitung jumlah panas yang masuk dalam selubung bangunan yang diakibatkan oleh radiasi pada material dinding tidak tembus cahaya di satu sisi bangunan digunakan persamaan:

$$sQ_{so} = A \times U \times \mu \times \alpha \times R_{so} \times (G_{t-\phi} - G_{av}) \quad (2.7)$$

Dengan:

- $sQ_{so}$  = Jumlah panas yang masuk akibat radiasi pada dinding tak tembus cahaya (Watt/m<sup>2</sup>)
- $A$  = Luas dinding (m<sup>2</sup>)
- $U$  = U-value (W/m<sup>2</sup>K)
- $\mu$  = Decrement factor
- $\alpha$  = Absorbance
- $R_{so}$  = Resistivity permukaan terluar
- $G_t$  = Radiasi pada satu sisi di waktu itu (Watt)
- $G_{av}$  = Rata rata radiasi di satu sisi (Watt)

Material dinding tak tembus cahaya biasanya memiliki *time lag* ( $\phi$ ), sehingga besarnya radiasi yang dilihat adalah beberapa jam sebelum perhitungan. Untuk dinding tembus cahaya, panas yang masuk dalam bangunan akibat radiasi dipengaruhi oleh luas permukaan kaca, *alternating solar gain* ( $\theta_a$ ) dan radiasi saat itu dan radiasi rata rata dalam sehari (Szokolay, 2004).

$$sQ_{sg} = A \times \theta_a \times (G_t - G_{av}) \quad (2.8)$$

Dengan:

$sQ_{so}$  = Jumlah panas yang masuk akibat radiasi pada dinding tembus cahaya (Watt/m<sup>2</sup>)

A = luas dinding (m<sup>2</sup>)

$\theta_a$  = alternating solar gain

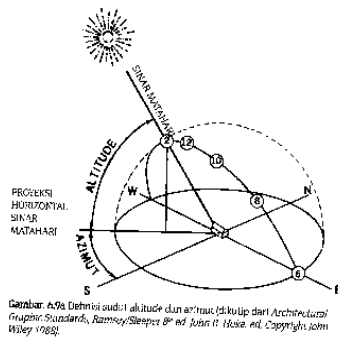
$G_t$  = Radiasi pada satu sisi di waktu itu (Watt)

$G_{av}$  = Rata rata radiasi di satu sisi (Watt)

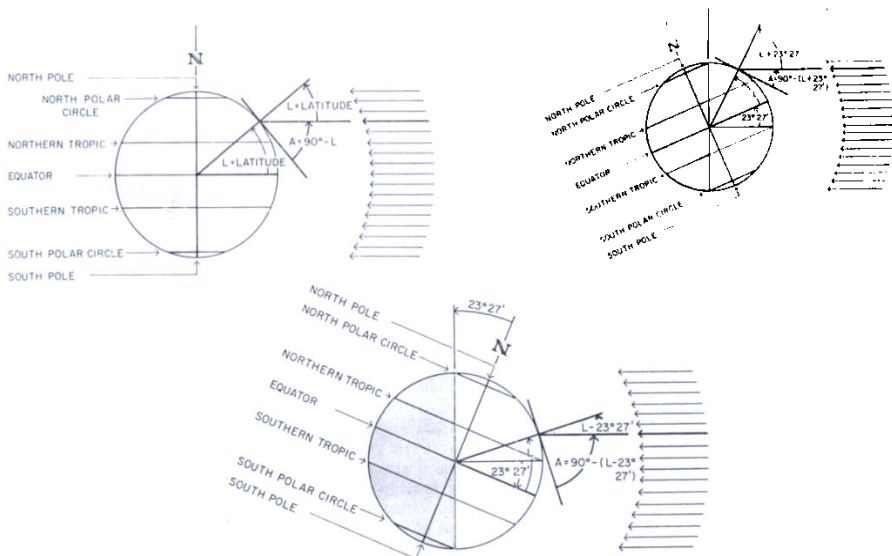
Besar radiasi matahari tiap hari pada sisi tertentu akan berubah sepanjang tahun karena Bumi mengitari matahari tidak selalu dalam kondisi lurus dengan sumbu polarnya, kadang bumi condong 23,5 ° dari sumbu normalnya. Hal ini mengakibatkan pergantian musim di berbagai wilayah. Selama 20 atau 21 Maret dan 22 atau 23 September matahari tepat berada di katulistiwa atau biasa disebut equinox dimana semua tempat di belahan bumi memiliki lama penyinaran yang sama, 12 jam siang dan 12 jam malam. 21 atau 22 Juni, Matahari berada di sebelah utara atau *summer solstice* sedangkan tanggal 21-22 Desember Matahari berada di selatan atau *winter solstice*.

Intensitas cahaya matahari yang diterima bumi bervariasi. Harkness dalam Ling (2007) menjelaskan bentuk pergerakan matahari

sehingga *altitude* dan *azimut* matahari dapat ditentukan di berbagai lokasi dan waktu yang ditentukan. Pergerakan matahari digambarkan seperti *sky dome* sehingga dapat ditentukan *altitude* dan *azimutnya*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.2. *Altitude* adalah sudut yang terbentuk antara permukaan horizontal dengan sumbu matahari sedangkan *azimut* adalah posisi matahari dari arah utara, berapa derajat diari sisi utara. *Solar altitude* ditentukan oleh garis lintang.



Gambar 2.1 *Solar altitude* dan *solar azimuth* (Lechner, 2007)



Gerak semu matahari ini berpengaruh pada jumlah radiasi matahari yang menerpa salah satu sisi selubung bangunan. misalnya, untuk bangunan yang ada di surabaya, karena posisi surabaya berada di sebelah selatan, maka sepanjang tahun sisi utara lebih banyak terkena radiasi matahari dari pada sisi selatan bangunan. seperti yang dijelaskan Mintorogo (1999) di surabaya pada bulan Juni saat matahari berada di sisi utara, jumlah radiasi yang menerpa permukaan utara jauh lebih besar dari sisi timur dan barat.

### 2.3 Pengaruh Temperatur terhadap Beban Pendinginan

Daerah tropis lembab cenderung memiliki temperatur yang tinggi baik pada siang maupun malam hari. Perbedaan suhu antara siang dan malam tidak terlalu jauh. Temperatur ini banyak berpengaruh pada aliran panas secara konduksi pada selubung bangunan. Pada dinding tidak tembus cahaya besarnya panas akibat konduksi dipengaruhi oleh luas permukaan, *U-value*, *decrement factor*, dan *outdoor temperature* rata rata (Szokolay, 2004). Dinding tidak tembus cahaya memiliki *time lag* sehingga temperatur yang dilihat adalah temperatur beberapa jam sebelum jam perhitungan.

$$sQ_{co} = A \times U \times \mu \times (T_{o,(t-\phi)} - T_{o,av}) \quad (2.9)$$

Dengan:

$sQ_{co}$  = Jumlah panas yang masuk akibat konduksi pada dinding tidak tembus cahaya  
(Watt/m<sup>2</sup>)

A = luas dinding (m<sup>2</sup>)

U = U-value (Watt/m<sup>2</sup>K)

$\mu$  = Decrement factor

$T_{o,t-\phi}$  = Temperatur ruang luar saat itu-time lag (°)

$T_{o,av}$  = Rata rata temperatur ruang luar (°)

Pada kaca, temperatur saat ini akan langsung mempengaruhi jumlah panas yang masuk pada saat ini juga karena kaca tidak memiliki *time lag*. Kaca juga tidak memiliki decrement factor sehingga panas yang masuk dihitung dengan persamaan 2.10 (Szokolay, 2004).

$$sQ_{cg} = A \times U \times (T_{o,t} - T_{o,av}) \quad (2.10)$$

Dengan:

$sQ_{cg}$  = Jumlah panas yang masuk akibat konduksi pada dinding tembus cahaya (Watt/m<sup>2</sup>)

A = luas dinding (m<sup>2</sup>)

U = U-value (Watt/m<sup>2</sup>K)

$T_{o,t}$  = Temperatur ruang luar saat itu (°)

$T_{o,av}$  = Rata rata temperatur ruang luar (°)

## 2.4 Pengaruh Angin terhadap Beban Pendinginan

Angin dapat membantu pendinginan secara konveksi. Udara panas dalam bangunan dapat dibuang keluar dengan bantuan angin namun untuk daerah tropis, angin dari luar yang panas dapat merusak kenyamanan thermal yang sudah tercipta di dalam bangunan (Barong dkk, 2003). Szokolay (2004) merumuskan beban panas pada bangunan akibat ventilasi seperti pada persamaan 2.10. Bangunan ber-AC memiliki *ach* yang tetap setiap jamnya, sehingga naik turunnya beban  $sQ_v$  bergantung pada temperatur luar. Untuk perkantoran di daerah tropis dengan pengkondisian udara *ach* yang ada biasanya sebesar 2 (Juwana, 2005).

$$sQ_v = 0,33 \times N \times v \times (T_{o,t} - T_{o,av}) \quad (2.11)$$

Dengan:

$N$  = *air change per hour*

$V$  = Volume bangunan ( $m^3$ )

$T_{o_t}$  = Temperatur ruang luar saat perhitungan ( $^{\circ}$ )

$T_{o_{av}}$  = Rata rata temperatur ruang luar ( $^{\circ}$ )



## **BAB III**

# **ARSITEKTUR DAN ENERGI PENDINGINAN**

### **3.1 Bentuk dan Energi Pendinginan**

Yeang (1996) menyatakan bahwa bentuk bangunan akan berpengaruh pada energi yang digunakan dalam bangunan. Bangunan dengan bentuk persegi panjang dan berorientasi utara-selatan akan lebih baik karena sisi timur dan barat mendapat radiasi besar terutama pada pagi dan sore hari sehingga sisi ini diupayakan memiliki luas permukaan yang kecil. Mintorogo (1998) menjelaskan untuk bangunan di Jakarta, sisi utara yang luas akan menerima radiasi yang jauh lebih besar karena sepanjang tahun sisi ini akan menerima radiasi yang lebih besar dibandingkan sisi selatan. Markus (1980) bentuk bangunan yang terbaik adalah bentuk yang memiliki luas permukaan rendah sehingga bidang yang menerima radiasi dan merambatkan panas secara konduksi akan lebih kecil. Depecker (2001) mengatakan bahwa bentuk akan sangat berpengaruh dengan beban pendinginan, semakin gemuk bangunan dan semakin kompak akan semakin kecil beban pendinginannya. Menurut Gratia & Herde (2003), merubah bentuk dengan meminimalkan radiasi yang masuk akan memberi efek yang lebih besar terhadap penurunan beban pendinginan dibandingkan dengan menambah insulasi dinding,



seperti pada penelitian Noerwasito (2000) yang menunjukkan bahwa bangunan dengan rasio luas lantai terhadap keliling yang lebih kecil akan memiliki beban pendinginan lebih kecil sehingga bangunan yang bergerigi akan lebih baik dari pada bangunan persegi yang berdinging lurus, namun Cawford (2011) menyebutkan bahwa orientasi dan luas lantai bangunan tidak terlalu memberi pengaruh yang signifikan terhadap beban pendinginan. Penggunaan material lebih banyak berpengaruh terhadap energi yang digunakan dalam bangunan.

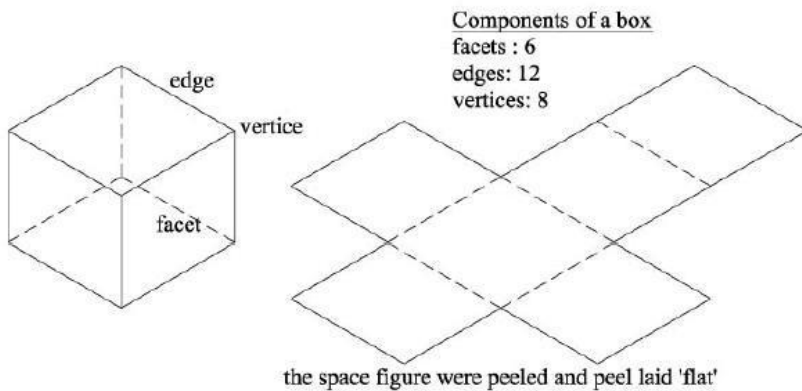
Olgyay (1972) merekomendasikan bentuk *rectangular* dengan rasio lebar dan panjang 1:1.7 adalah bentuk yang paling efektif untuk iklim tropis. Bentuk ini dianggap paling efektif untuk mengatasi masalah *cooling* dan *heating* pada bangunan tinggi. Markus (1980) menyarankan bentuk silinder karena bentuk ini yang paling baik untuk meminimalkan *solar heat gain* dan *solar heat loss* pada bangunan tinggi. Ling (2007) mengaitkan bentuk bangunan *high-rise building* di iklim tropis dengan *insolation* dan mendapat hasil bentuk bangunan cilinder dan persegi dengan rasio lebar dan panjang 1:1 dapat meminimalkan pengaruh *direct* dan *difuse solar insolation*. Juniwati (2008) menghasilkan rasio yang sama dengan Olgyay, dia menyatakan bahwa bangunan tinggi dengan orientasi utara selatan dan W/L ratio 1:1.7.

### **3.2 Elemen Bentuk**

Bentuk geometri digambarkan secara lengkap dalam sebuah bidang pada selembar kertas. Untuk lebih jelasnya seperti yang ada di gambar di bawah ini. Gambar tersebut adalah gambar kubus, permukaan sebuah kubus adalah bujur sangkar. Sisi-sisinya bertemu pada rusuk.

Ujung kubus disebut “*vertices*”. Komponen ini akan memberi karakter pada bentuk bangunan (Charles dalam Ling, 2007). Istilah yang sering digunakan dalam komponen geometri:

- Luas atau Area: ukuran permukaan yang tertutup oleh bidang terbangun
- Luas permukaan: jumlah area yang akan tertutup jika bangunan tersebut dikuliti seperti gambar 2.4
- Volume: kapasitas isi suatu ruang



Gambar 3.1 komponen kubus (Ling,2007)

### a. Perbandingan panjang terhadap lebar bangunan

Perbandingan panjang terhadap lebar bangunan atau w/l ratio biasa digunakan dan lebih mudah dipahami dalam semua tipe bangunan. Rasio ini mempengaruhi tingkat insolation yang diterima permukaan bangunan. Rasio ini juga berpengaruh pada aliran angin di sekitar yang akan mempengaruhi ventilasi bangunan.

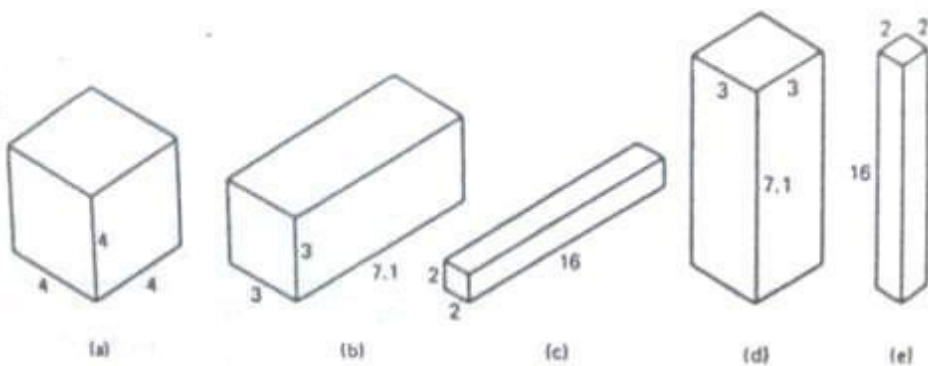
Yeang (1994) menjelaskan pengaruh iklim pada bentuk bangunan bertingkat. Bentuk bangunan yang beragam memiliki sudut jatuh matahari yang beragam pula untuk masing-masing iklim. Untuk daerah iklim dingin, disarankan menggunakan bentuk silinder dengan W/L ratio 1:1. Untuk daerah iklim sedang, tropis kering dan tropis lembab, rasio yang digunakan berturut-turut 1:1.6, 1:2 dan 1:3. rasio ini menunjukkan bahwa meminimalkan panjang sisi dengan orientasi barat dan timur sangat penting terutama untuk daerah dengan garis lintang rendah.

#### **b. Perbandingan luas permukaan selubung terhadap volume bangunan**

Perbandingan luas permukaan yang digunakan untuk menutup sebuah volume bangunan atau *s/v ratio* merupakan salah satu parameter desain yang mempengaruhi *heat gain* pada bangunan (markus, 1980). Rasio ini sedikit berbeda dengan *exposed area to volume ratio*. Permukaan yang ter-*expose* berarti permukaan bangunan yang secara langsung terkena lingkungan luar. Bidang yang berada di atas tanah bukanlah termasuk *exposed surface* dan terhitung dalam *s/v ratio*. Markus & Morris (1980) menentukan bentuk yang terbaik di daerah iklim *temperate* adalah bangunan dengan *heat loss* terkecil sedangkan untuk area tropis bentuk bangunan terbaik adalah bangunan dengan *heat gain* terendah, sehingga berbicara mengenai *s/v ratio* pada bangunan tropis lebih mengarah pada *exposed area to volume ratio*. Gambar 3.2 menjelaskan sebuah balok yang memiliki volume yang sama dengan luas selubung yang berbeda. Menurut Baker & Steemer (2000) semakin kecil

surface area pada volume yang sama makin kecil energi yang dikonsumsi bangunan tersebut.

Markus & Morris (1980) menyatakan konfigurasi bangunan yang ideal menggunakan *s/v ratio* berdasarkan pada rata-rata heat gain. Bangunan dapat diasumsikan memiliki tiga komponen yang dapat mentransmisikan radiasi. Tiga komponen itu adalah dinding yang bersifat *opaque*, jendela, dan atap. Pada masing-masing komponen itu, perolehan radiasi matahari rata-rata dipengaruhi oleh besar luas bidang terima dan nilai radiasi matahari. Matus (1988) menjelaskan semakin sedikit permukaan yang digunakan untuk menutup sebuah volume, makin kecil sistem yang dipengaruhi oleh variasi pada tekanan eksternal.



Gambar 3.2 geometri dg volume ( $v$ ) yang sama dan luas selubung ( $s$ ) yang berbeda (Markus & Morris, 1980)

### 3.3 Selubung Bangunan dan Energi Pendinginan

Bangunan di lokasi yang berbeda harusnya memiliki desain selubung yang berbeda pula. Konsep desain selubung bangunan harus mampu merespon masalah iklim dan memberi keuntungan sehubungan

dengan biaya investasi dan operasional bangunan. Temperatur udara luar dan kecepatan angin mempengaruhi kondisi tapak. Untuk tapak dengan cuaca buruk, bahan fabrikasi dan pemasangan yang simpel lebih direkomendasikan. Hyde (2000) mengelompokkan bangunan berdasarkan kulit bangunannya, *thin skin, inclined skin, thick skin, buffering*, dan *valve effect*. Sedangkan Hausladen (2006) mengelompokkan tipe fasade berdasarkan struktur dan cara memasang elemen bangunan. Setiap kelompok jenis selubung bangunan memiliki jenis material yang berbeda beda untuk diaplikasikan

### **3.4 Desain Selubung Bangunan dan Material Selubung**

*Thin skin* adalah tipe bangunan yang dindingnya lebih bergantung pada performance bahan dari pada menggunakan *shading* untuk modifikasi iklim. *Solar gain* yang masuk melalui kaca harus diatasi dengan *glazing tecnology*, sedangkan yang melalui dinding tak tembus cahaya ada beberapa strategi yang berbeda. Kinerja dinding bergantung pada metode pendinginan bangunan. Pada bangunan dengan *passive cooling* yang terpenting adalah memantulkan panas dan memperkecil transmisi panas melalui dinding. Strategi yang dapat ditempuh antara lain:

- Menggunakan bahan reflektif dan berwarna terang. Itu akan memantulkan panas pada bngunan dan mengurangi tempeatur permukaan.
- Penggunaan *intrstitial insulation*, insulasi bisa diambahkan *reflective foil* di sisi luar dan dalam sehingga panas dari luar bisa lebih

terhalang, namun resikonya pada malam hari bangunan lebih sulit dingin.

- Penggunaan insulasi tebal di sisi yang terekspose matahari.

Untuk bangunan ber-AC, dinding tidak hanya perlu mengurangi panas dari luar tapi juga menjaga temperatur dan kelembaban di dalam agar penggunaan AC lebih efisien lagi. Strateginya antara lain:

- Menggunakan insulasi tebal dengan thermal rating R3. Ini akan mengurangi transfer panas ke dalam bangunan
- Peghalang uap air harus dipasang di sisi hangat dinding untuk mencegah kondensasi pada celah dan pergerakan uap air dari luar ke dalam. Tekanan uap air mungkin berbeda bergantung pada *setting* AC. Yang baik set point untuk AC 24°C dengan kelembaban 55% untuk daerah tropis.

Untuk elemen transparan biasanya terkait dengan isu desain tampilan selubung bangunan. Biasanya bangunan dengan banyak kaca akan mengalami efek rumah kaca. Kaca akan menerima gelombang pendek radiasi sedangkan dinding tidak tembus cahaya akan menerima gelombang panjang radiasi dan ultraviolet. Radiasi gelombang panjang dan pendek masuk melalui dinding baik yang tembus maupun tidak tembus cahaya, kemudian panas dipancarkan ulang namun untuk radiasi gelombang panjang, tidak bisa keluar ruangan, terperangkap oleh kaca sehingga temperatur ruang dalam naik. Untuk mencegah masuknya panas, harus meningkatkan *reflectivity* kaca dan mengecilkan transmisi. Efektifitas kaca bergantung pada sudut matahari. Jika altitudenya besar

maka bidang kaca tidak terkena langsung oleh radiasi. Kebanyakan radiasi yang diterima adalah pantulan, maka tidak masalah jika kaca itu memiliki *reflectance* rendah atau memiliki *transmittance* tinggi. Ada dua isu yang penting mengenai kaca. Yang pertama, *shading coefficient*, semakin rendah SC maka performance bahan makin baik. Jika kebutuhan pencahayaan alami dalam ruangan juga diperlukan, maka solusinya adalah dengan mengurangi luas kaca yang menyerap panas dengan menambah kinerja kaca atau luasan kaca yang memantulkan sinar matahari.

Pada iklim tropis lembab, jika menggunakan *single glass* biasanya akan ada kondensasi di permukaan kaca jika temperatur permukaan rendah. Dua panel kaca bisa digunakan untuk mengatasi masalah ini, lapisan kaca luar dilapisi dengan *low emissivity coating*, dan diantara kaca terdapat celah udara untuk mencegah transfer panas dari dalam ruangan yang dingin, hal ini membuat lapisan luar berada di bawah titik embun.

Tipe selubung berikutnya adalah *Inclined and orientated facade*. Dinding bangunan bisa dibuat condong sehingga terhindar dari sinar matahari langsung dan dapat meningkatkan *thermal performance* bangunan. Kaca juga dapat dibuat miring, dengan fasade kaca yang miring maka *reflectance* kaca akan meningkat. Sudut kemiringan dinding bukan asal dibuat miring namun disesuaikan dengan geometri matahari di garis lintang tertentu dan lokasi fasade pada bangunan.

Ada tiga hal yang harus diperhatikan untuk kaca yang dipasang di selubung jenis ini, yang pertama, harus diperhatikan betul *sun path* dan *solar geometry* serta orientasi selubung. Kedua, pemilihan jenis kaca,

sebaiknya yang memiliki SC rendah sehingga cahaya alami bisa masuk karena radiasi matahari sudah direfleksikan oleh kemiringan dinding. Ketiga, harus dipertimbangkan juga silau akibat pantulan cahaya dari kaca.

Tipe selubung berikutnya adalah *thick skin*. Tipe kulit ini memiliki kedalaman pada facade sehingga tercipta efek pembayangan terhadap matahari. Strateginya bisa menggunakan shading horizontal untuk melindungi dari matahari dengan sudut *altitude* besar, *vertical shading* digunakan untuk melindungi dari sudut *altitude* kecil, dan menyangga area kaca.

Tipe selubung yang terakhir menggunakan *valve effect*, menggunakan teknologi semacam sensor. Seperti diterapkan di museum Kempsey, atap dan dindingnya terdapat semacam sirip horizontal yang dapat dibuka dan ditutup, gunanya untuk memenuhi kebutuhan termal dan pencahayaan. Saat musim dingin, *fin* itu terbuka dan memasukkan sinar matahari, namun pada musim panas yang dimasukkan hanya *diffuse*.

Menurut Hausladen (2006) terdapat beberapa tipe selubung, namun yang paling banyak digunakan adalah *perforated facade*. *Perforated facade* merupakan fasade yang dilubangi untuk jendela. Fasade tipe ini paling umum digunakan, dengan *solid bearing wall* dan opening untuk memberi ventilasi dan cahaya masuk ruangan. Permukaan tak tembus cahaya biasanya memiliki *U-value* rendah, bisa mengaplikasikan *thermal storage mass* pada fasade. Tipe fasade ini paling ekonomis, biaya perawatan dan pembersihan rendah. Fasade jenis ini biasanya menggunakan kaca dengan *u-value* antara 0.7-1.4 W/m<sup>2</sup>K



dan *u-value* dinding antara 0.2-0.5 W/m<sup>2</sup>K. Jadi *perforated facade* ini dapat digunakan untuk bangunan dengan tipe *thin skin*, *thick skin* maupun *inclined facade*. *Perforated facade* biasanya memiliki WWR antara 20%-60%. Menurut Juniwati (2008) di area Surabaya, untuk bangunan yang tidak menggunakan shading dan kaca dengan performance rendah, WWR optimum adalah 20%.

Material yang dapat diaplikasikan pada *perforated facade* antara lain:

1. *Masonry material* (bahan bata)

Desain fasade dengan menggunakan clading bata untuk bangunan tinggi modern yang menggunakan bata tipis (*thin veneer wall*) memerlukan kemampuan ketahanan cuaca, kemampuan ikatan bata mortar, kekakuan rangka penunjang dan peralatan pengikat unit hingga detail detail khusus yang diperlukan untuk menghindari problem dengan faktor-faktor cuaca.

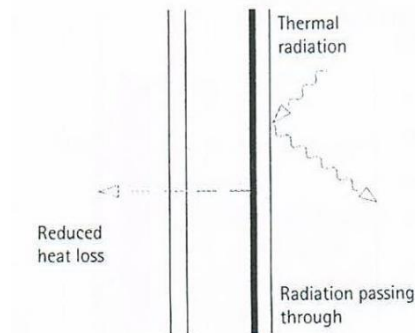
2. *Metal material* (bahan logam)

Tiga kategori *metal cladding* yang digunakan saat ini dalam bentuk plat, lembaran laminasi dan panel komposit yang dirangkai dalam sistem dinding tirai (*curtain wall*) merupakan material yang digemari karena ringan, fabrikasi dengan kontrol yang akurat.

3. *Glass material* (bahan kaca)

Fasade dengan sistem dinding tirai kaca diproduksi dengan beragam aditif dan kombinasi lapisan film yang dapat menimbulkan karakteristik berbeda dari segi penampilan, karakteristik termal dan visual. Kaca yang bagus adalah kaca dengan U-value rendah untuk mengurangi transmisi panas dalam bangunan dan memiliki *natural*

*light transmittance* ( $\tau$ ) tinggi untuk memaksimalkan pencahayaan alami. Kaca juga sebaiknya memiliki *g-value* (*solar energy transmittance*) rendah pada daerah panas. Semakin kecil *g-value*, biasanya akan menurunkan  $\tau$ .



Gambar 3.3 Kaca *Low-e* (Hausladen, 2006)

*Thermal insulation glassing* mereduksi transmisi panas dengan dua cara, lapisan coating transparan tipis di lapisan kaca bagian interior untuk mengurangi emisi panas. Yang kedua bisa dengan mengambat aliran panas secara konduksi pada kaca dengan memberi gas di antara dua lapis kaca. Gas ini biasanya argon atau crypton. Jika masing masing kaca memiliki U-value  $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ , dengan treatment ini dapat turun hingga  $0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$

#### 4. Insulasi

Insulasi material meningkatkan insulasi thermal dan suara di bangunan. Di iklim dingin insulasi digunakan untuk mengurangi transmisi *heat losses* di musim dingin dan memberi temperatur permukaan yang lebih tinggi. Efek insulasi material bergantung pada

sedikitnya konduktivitas thermal pada udara sekitar. Material ini harus memiliki *thermal conductivity* lebih kecil dari 0.1 W/mK. Material ini ada yang alami ada yang sintetis. Bahan insulasi dinding antara lain tanah liat, *mineral wool*, *foam glass*, *food fibre board*, *Celulose*, *EPS (polysterene)*

### 3.5 Pengaruh Komposisi Material terhadap Beban Pendinginan

Material yang digunakan suatu bangunan berhubungan langsung dengan ruang luar dan radiasi matahari yang menerpa permukaan. Temperatur luar sepenuhnya bergantung pada kondisi klimatologi, sedangkan untuk temperatur ruang dalam bergantung pada sistem penghawaan dalam bangunan. Besarnya energi yang digunakan untuk pendinginan bergantung *solar control* bangunan tersebut. Menurut Noerwasito (2006) *thermal properties* yang paling berpengaruh pada kondisi panas adalah: *decrement factor* dan *admittance* dimana keduanya juga ditentukan oleh *thermal properties* lainnya, yakni: *conductivity*, *specific heat* dan kepadatan material.

Koenigberger (1973) menekankan pentingnya mengurangi rambatan panas ke dalam bangunan dengan *structural control* yaitu mengontrol lingkungan termal pada bangunan dengan beberapa strategi antara lain:

#### a. Insulasi termal

Dengan menggunakan material dinding yang memiliki nilai *absorbance* ( $\alpha$ ) dan *transmittance* (*u-value*) rendah. Warna dan bahan pada permukaan *eksternal facade* maupun atap ternyata memiliki daya serap tertentu terhadap matahari. Absorpsi yang

dimiliki bahan tersebut berpengaruh pada panas yang masuk ke dalam bangunan. Semakin mengkilap dan cerah warna suatu bahan, maka daya serap terhadap radiasi akan semakin rendah. Absorpsi permukaan yang dicat adalah rata-rata dari absorpsi bahan dinding dan absorpsi cat. Semakin kecil *u-value* suatu bahan maka bahan tersebut akan menghantarkan panas lebih sedikit. Beberapa bahan di beberapa literatur sudah disediakan tabel *u-value*, namun *u-value* dapat dihitung sendiri dengan rumus pada persamaan 2.11.

$$U \text{ value} = \frac{1}{\dots\dots\dots} \quad (2.12)$$

Mengecilkan *u-value* akan membantu mengurangi panas yang masuk secara konduksi pada selubung bangunan. perlu diingat, besarnya rambatan panas juga dipengaruhi oleh perbedaan temperatur ruang luar dan dalam. Semakin tinggi perbedaannya semakin besar panas yang masuk atau keluar melalui selubung bangunan sehingga meningkatkan insulasi thermal tidak akan memberi pengaruh yang signifikan (Koenigberger, 1973)

b. *Thermal capacity*

Strategi ini menggunakan *capacitive insulation* dengan menggunakan material yang memiliki konduktivitas rendah. Selain itu pemilihan material dengan *time lag* yang disesuaikan dengan aktifitas pengguna.

c. *Solar control*

Kombinasi material tembus cahaya dan material tidak tembus cahaya dengan tepat akan mampu menghasilkan bangunan dengan

pencahayaannya yang cukup tanpa harus memasukkan terlalu banyak panas ke dalam bangunan. Strategi ini dapat dijalankan dengan mengatur orientasi bangunan dan dinding, mengatur ukuran jendela yang sesuai, penggunaan *internal blinds*, pemilihan jenis kaca yang sesuai, dan *eksternal shading device*.

Komposisi material dinding dan kaca, jenis material yang digunakan, luas dinding pada tiap orientasi dan luas bidang kaca akan berpengaruh pada nilai OTTV bangunan. OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*), harga perpindahan termal menyeluruh adalah angka yang menunjukkan perolehan panas akibat radiasi matahari yang melewati tiap meter persegi luas selubung bangunan. Satuan yang digunakan  $W/m^2$ . OTTV merupakan suatu nilai yang ditentukan sebagai kriteria perancangan untuk membatasi perolehan panas akibat radiasi matahari lewat selubung bangunan. Semakin kecil OTTVnya berarti semakin kecil panas yang masuk ke dalam bangunan sehingga beban pendinginan berkurang dan otomatis kerja AC menjadi lebih ringan. Standar OTTV untuk Indonesia adalah  $35 W/m^2$  untuk tower. Masing-masing negara memiliki standar yang berbeda-beda.

Pendekatan OTTV dalam desain bangunan dapat diaplikasikan untuk kantor dan bangunan komersial lain. Dalam perhitungan OTTV, diasumsikan bangunan tersebut tertutup rapat (tidak ada ventilasi) sehingga *ventilation heat gain* dianggap 0. Begitu juga dengan *internal shading device* seperti kerai dan gorden, serta pantulan radiasi dan pembayangan gedung sekitar dianggap tidak ada. (Sumber: <http://www.arch.hku.hk/research/beer/bee-reg.htm>). Untuk menghitung

OTTV total sebuah bangunan dapat menggunakan persamaan 2.13 (Satwiko, 2004).

$$OTTV = \{(A_1)(OTTV_1) + (A_2)(OTTV_2) + \dots + (A_n)(OTTV_n)\} / (A_1 + A_2 + \dots + A_n) \quad (2.13)$$

Dengan :

OTTV = harga perpindahan panas seluruh dinding luar (W/m<sup>2</sup>)

OTTV<sub>n</sub> = harga OTTV pada dinding luar sisi n, (W/m<sup>2</sup>)

A<sub>n</sub> = luas total dinding luar n termasuk jendela, (m<sup>2</sup>)

Untuk menghitung OTTV dinding pada orientasi tertentu digunakan persamaan 2.14 (Satwiko, 2004).

$$OTTV_n = \alpha \{U(1-WWR)\} \cdot \Delta T_{eq} + (SC \cdot WWR \cdot SF) + (U_f \times WWR \times \Delta T) \quad (2.14)$$

Dengan :

OTTV = harga perpindahan panas menyeluruh pada dinding luar yang memiliki orientasi tertentu, (W/m<sup>2</sup>)

$\alpha$  = absorpsi radiasi matahari permukaan dinding

U = Transmittan dinding, (W/m<sup>2</sup>K)

WWR = *window-to-wall ratio* atau perbandingan antara luas jendela dan luas seluruh permukaan dinding luar pada orientasi yang sama.

$\Delta T_{eq}$  = perbedaan suhu ekuivalen antara sisi luar dan sisi dalam

SF = *Solar Factor* atau faktor radiasi matahari adalah radiasi matahari rata-rata per jam yang menerpa dinding bangunan pada orientasi tertentu (W/m<sup>2</sup>)

SC = *Shading Coefficient* atau koefisien peneduh sistem bukaan

## BAB IV ARSITEKTUR DAN ENERGI PENCAHAYAAN

### 4.1 Strategi Pencahayaan Alami

#### 1. Orientasi

Orientasi arah Selatan merupakan yang terbaik dalam pencahayaan alami (Lechner, 2001). Sisi sebelah Selatan bangunan mendapatkan sinar matahari yang konsisten sepanjang hari dan tahun. Selain Selatan, orientasi hadap lain yang baik adalah bangunan menghadap Utara. Arah hadap ini juga mendapatkan cahaya yang konstan, walaupun jumlahnya sedikit namun kualitasnya tetap dapat diterima. Orientasi terburuk adalah menghadap ke arah Timur dan Barat. Kedua orientasi ini hanya menerima sinar matahari setengah setiap harinya dan menimbulkan masalah silau dan bayangan.



Gambar 4.1 Perencanaan yang ideal untuk pencahayaan alami dan juga untuk pengendalian umum sinar matahari adalah dengan menempatkan semua bukaan pada sisi bagian Utara dan Selatan (Lechner, 2001)

## 2 Pencahayaan melalui atap

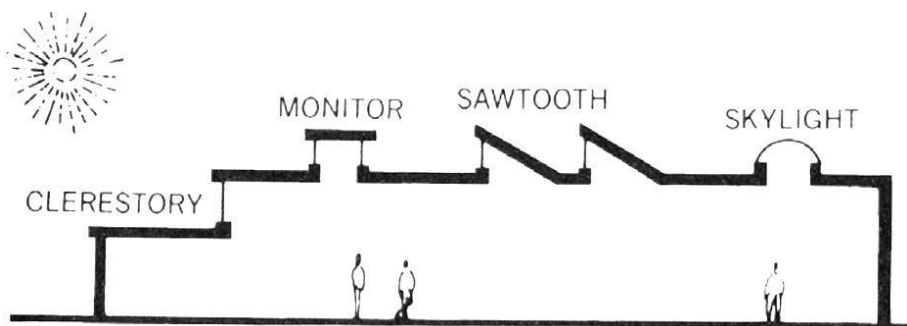
Bukaan horizontal memiliki dua keuntungan, yaitu:

- Membiarkan iluminasi tidak sama secara adil pada area interior yang sangat luas, sementara cahaya alami dari bukaan terbatas (gambar 4.2).



Gambar 4.2 Ketika pencahayaan alami dari bukaan terbatas pada dinding luar, bukaan pada atap akan mampu meratakan pencahayaan sepanjang luas ruangan yang terbatas (Lechner, 2001)

- Bukaan horizontal jg menerima lebih banyak cahaya dari pada bukaan vertikal (gambar 4.3).



Gambar 4.3 Berbagai macam kemungkinan bukaan pada atap untuk pencahayaan alami (Lechner, 2001)



### 3. Bentuk

Menurut Lechner (2001) pada denah yang berbentuk bujur sangkar, 16%nya sama sekali tidak mendapat cahaya alami dan 33% lainnya mendapatkan, namun hanya sebagian. Pada denah persegi panjang dapat menghilangkan area pusat yang tidak menerima cahaya, tetapi tetap memiliki area luas yang mendapatkan cahaya sebagian

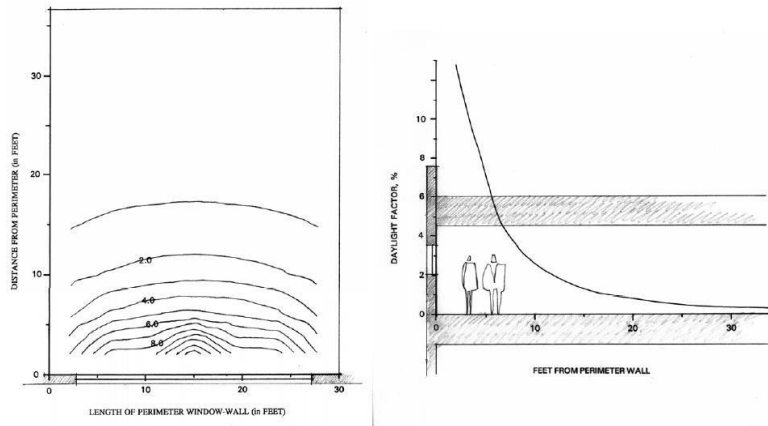
### 4. Perencanaan ruang

Perencanaan ruang terbuka sangat menguntungkan untuk membawa cahaya ke dalam interior. Partisi kaca dapat terbuat dari kaca pada ketinggian di atas tingkat mata (gambar 4.4).

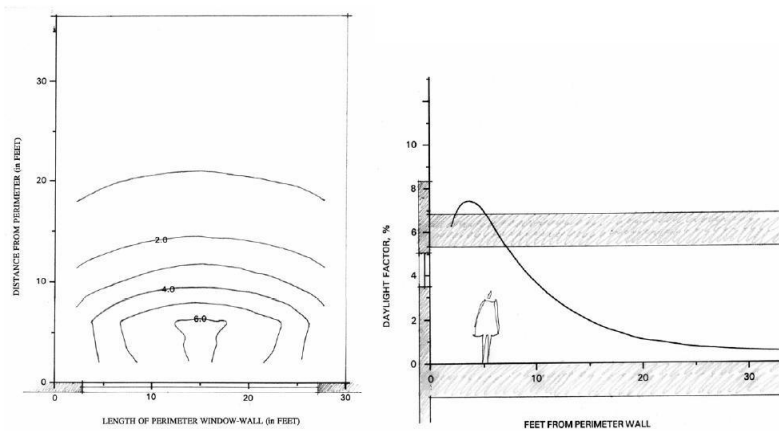


Gambar 4.4 Partisi kaca penuh dan sebagian akan memungkinkan cahaya masuk ke dalam bangunan (Lechner, 2001)

Bukaan yang dipasang lebih tinggi pada sebuah dinding memberi distribusi pencahayaan alami yang lebih seragam untuk setiap sudut ruang dari pada bukaan yang dipasang lebih rendah (Heerwagen, 2004). Bukaan yang lebih tinggi akan memberi garis kontur cahaya yang lebih sedikit dengan jangkauan yang lebih banyak jika dibanding bukaan dengan ukuran sama yang ditempatkan di posisi lebih rendah, seperti pada gambar 4.5 dan 4.5.



Gambar 4.5 Perbedaan kontur pencahayaan untuk bukaan vertikal (Heerwagen, 2004)



Gambar 4.6 Perbedaan kontur pencahayaan untuk bukaan horizontal (Heerwagen, 2004)

Selain prinsip strategi pencahayaan internal, ada beberapa point lain yang juga menjadi strategi pencahayaan alami dari aspek eksternal, seperti:

a. Strategi orientasi bangunan terhadap lintasan matahari

Arah lintasan matahari dan orientasi bangunan sangat terkait dengan pembentukan bayangan dalam ruangan yang menyebabkan besar kecilnya intensitas pencahayaan.

b. Keadaan di sekitar bangunan

Dengan mengetahui keberadaan sekitar bangunan, maka dapat diestimasi adanya halangan sinar matahari yang mengenai bangunan.

c. Fasad bangunan

Dengan mengetahui lintasan matahari, waktu perubahan musim dan tatanan ruang dalam komposisi bangunan terhadap pencahayaan alami maka akan dapat mendesain fasade bangunan sesuai dengan prinsipnya.

d. Efek pemantulan kulit luar bangunan

Efek pemantulan cahaya dari permukaan atap dan dinding luar suatu bangunan akan memberikan kondisi dualistik (pemantulan yang berlebihan atau kurangnya efek pemantulan).

e. Keadaan iklim setempat

Pada iklim tropis penggunaan pencahayaan buatan yang berlebihan akan berakibat pemborosan sedangkan di sisi lain terdapat limpahan sinar matahari.

## **4.2 Kualitas dan Kuantitas Pencahayaan Alami**

Kualitas pencahayaan ditentukan oleh ada tidaknya kesilauan dari permukaan yang mengkilap pada bidang kerja, baik langsung maupun tidak langsung. Sedangkan kuantitas pencahayaan berhubungan dengan intensitas pencahayaan yang dibutuhkan yang tergantung dari tingkat ketelitian, bagian yang diamati, warna obyek, kemampuan untuk memantulkan cahaya dan tingkat kecerahan.

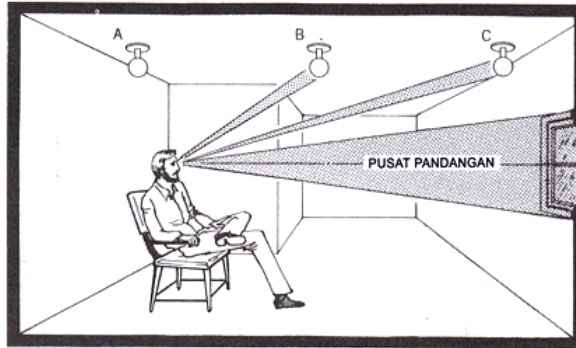
### 4.2.1 Faktor Kualitas Pencahayaan Alami

Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas pencahayaan alami, antara lain adalah:

1. Sifat cahaya, hal ini berhubungan dengan silau. Pada umumnya intensitas cahaya matahari memberikan cahaya yang berlebih pada setiap ruangan. Keadaan ini mengakibatkan cahaya terlalu kuat sehingga mengakibatkan silau dan menimbulkan ketidaknyamanan visual, juga dapat melelahkan mata (Frick, 2008). Silau dibagi menjadi dua kategori, yaitu:
  - a. *Discomfort Glare* merupakan cahaya yang tidak menyenangkan yang diakibatkan oleh pandangan langsung pada bukaan, hal ini disebabkan oleh sumber cahaya terang yang mengganggu, tidak nyaman atau hilang pada performa visual. Ketidaknyamanan silau yang disebabkan sumber cahaya merupakan besarnya bagian yang terlalu terang. Bukaan merupakan sumber silau yang utama (gambar 4.7).

Menurut Szokolay (2004) faktor-faktor yang dapat menyebabkan silau langsung adalah:

1. Luminasi dari sumber cahaya yang menuju ke titik pengamat
2. Intensitas cahaya yang terlihat dari titik pengamatan (sudut ruang)
3. Posisi bagian sumber cahaya yang terlihat dari arah pandangan
4. Luminasi rata-rata lingkungan (terang langit)



Gambar 4.7 Sumber cahaya dekat dengan penglihatan pusat lebih banyak silau langsung dibandingkan dengan yang berada di ujung (Lechner, 2001)

b. *Disability Glare* merupakan silau yang mengganggu yang diakibatkan oleh terlalu banyak sinar yang masuk ke dalam ruangan, hal ini sebaiknya dihindari dengan menggunakan permukaan yang rata atau material yang *matte*.

Parameter lingkungan yang dapat mempengaruhi silau, antara lain adalah (Heerwagen, 2004):

1. Pada saat variabel luminasi besar di permukaan.
2. Dipengaruhi oleh ukuran bukaan.
3. Posisi bukaan dengan bidang kerja.
4. Jarak antara bukaan dan objek.
5. Kondisi pencahayaan.

2. Sifat lingkungan, dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya adalah derajat terang, nilai pantulan dan distribusi cahaya.

a. Rasio tingkat terang. Mata paling sensitif terhadap rasio tingkat terang yang dekat dengan pusat penglihatan dan paling kurang sensitif pada tepi penglihatan. Performa visual yang baik yang

dibutuhkan dengan rasio tingkat terang harus dijaga pada batas yang dapat dilihat seperti pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.1 Perbandingan yang dianjurkan untuk tingkat terang pada pencahayaan ruang dalam dengan produktivitas maksimal (Lechner, 2001)**

Rasio	Area	Contoh
3:1	Kegiatan terhadap lingkungan sekeliling	Buku terhadap alas meja
5:1	Kegiatan terhadap lingkungan umumnya di dekatnya	Buku terhadap dinding partisi
10:1	Kegiatan terhadap lingkungan yang jauh	Buku terhadap dinding yang letaknya jauh
20:1	Sumber cahaya terhadap area besar disebelahnya	Bukaan terhadap dinding

Suwantoro (2006) mengatakan di dalam penelitiannya, bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi rasio tingkat terang adalah:

- Sudut datang sinar
  - Tekstur permukaan benda
  - Warna permukaan
  - Jarak antara sumber cahaya dengan bidang pantul
- b. Nilai pantulan merupakan sumber cahaya yang datang dengan cahaya yang dipantulkan. Nilai tergantung pada jenis permukaan, warna dan kemampuan untuk memantulkan cahaya dari dinding, plafon dan lantai. Permukaan yang kasar dan berwarna gelap mempunyai nilai pantulan nol, sedangkan yang mengkilap dan berwarna terang mempunyai nilai pantulan hampir 1 (100%) (Sakdiah, 2008).

**Tabel 4.2 Rekomendasi nilai pantulan menurut IES (Sakdiah, 2008)**

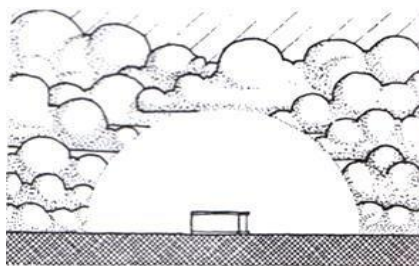
No.	Deskripsi	Pantulan (%)
1.	Plafon	80-90
2.	Dinding	40-60
3.	Lantai	25-45
4.	Mebel	30-50

**Tabel 4.3 Nilai pantulan untuk material menurut IES (Sakdiah, 2008)**

No.	Deskripsi	Pantulan (%)
1.	Metal	60-85
2.	Transparan	5-30
3.	Cermin	80-90
4.	Halus	60-75
5.	Cat putih	60-90
6.	Cat hitam	3-5

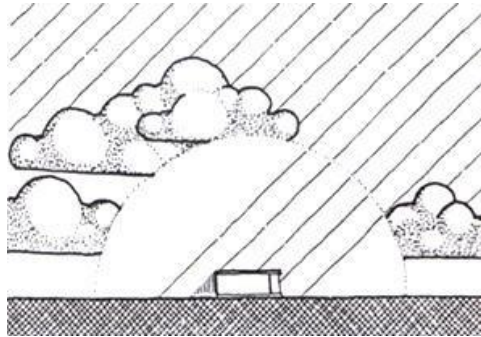
c. Distribusi cahaya, kondisi awan akan berpengaruh pada distribusi dan besarnya luminasi langit yang selanjutnya akan menentukan besarnya cahaya alami yang sampai pada permukaan bumi, hal ini dinyatakan dalam lumen/m<sup>2</sup> (Soegijanto, 1999). Distribusi cahaya yang sering berubah membuat nilai yang tidak konstan. Distribusi luminasi langit dikelompokkan sebagai berikut:

- Distribusi luminasi langit merata, langit yang seluruhnya tertutup awan (*overcast sky*).



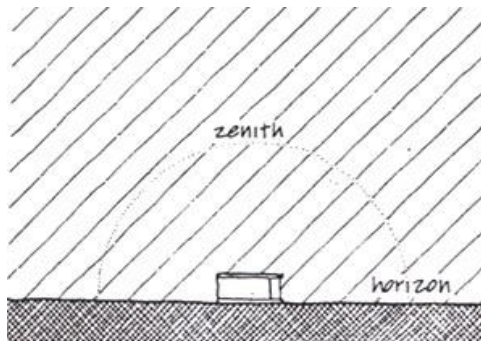
Gambar 4.8 Pemantulan dan penghalang pencahayaan alami pada langit mendung (Brown, 1990)

- Distribusi luminasi langit yang sebagian tertutup awan (*mean/intermediate sky*).



Gambar 4.9 Pemantulan dan penghalang pencahayaan alami pada langit berawan sebagian (Brown, 1990)

- Distribusi luminasi langit tanpa awan (*clear sky*).



Gambar 4.10 Pemantulan dan penghalang pencahayaan alami pada langit cerah (Brown, 1990)

3. Kenyamanan visual adalah salah satu kriteria paling penting dalam pencahayaan. Mangunwijaya (2000) berpendapat bahwa pencahayaan yang baik apabila mata dapat melihat apa yang ada di sekitar kita dengan jelas dan nyaman. Kurangnya cahaya yang diterima atau sebaliknya pada area mata akan menimbulkan silau. Pencahayaan



yang cukup bisa mencegah terjadinya *astenopia* (kelainan mata) dan mempertinggi kecepatan dan efisiensi membaca sehingga mengakibatkan kelelahan (Vaughan, 1992 dalam Wardhana, 1999).

Evans (1981) mengatakan bahwa pada usia di bawah 40 tahun pencahayaan belum menjadi faktor utama dalam mengurangi kecepatan dan akurasi pekerjaan visual, namun pada usia 40-55 tahun pencahayaan akan menjadi faktor penting. Pengaruh pencahayaan ini akan menjadi hal yang kritis pada usia diatas 55 tahun, hal ini didukung oleh penelitian yang telah dilakukan oleh Sinoo (2011) yaitu kondisi pencahayaan untuk orang tua sangatlah penting, tingkat iluminasi cahaya yang cukup mendukung kemampuan untuk melihat dan beraktivitas seperti membaca.

Beberapa faktor yang mempengaruhi kenyamanan visual bagi orang tua adalah:

- Pertama, daerah bidang penglihatan menurun seiring dengan bertambahnya usia.
- Kedua, daya tangkap terhadap warna menurun dengan bertambahnya usia.
- Ketiga, beradaptasi dengan area yang gelap bisa membuat para orang tua terganggu ketika bergerak dari cahaya yang terang ke daerah yang redup.
- Keempat, silau atau cahaya yang tercermin langsung kembali ke mata menciptakan kesulitan bagi para orang tua untuk melihat dan hal ini harus diminimalkan.

Kualitas pencahayaan yang layak disediakan di dalam sebuah ruangan ditentukan oleh:

1. Penggunaan ruang, ditinjau dari pembebanan mata oleh aktivitas yang dilakukan dalam ruangan tersebut.
2. Lamanya waktu beraktivitas, sifat aktivitas secara terus menerus menuntut penglihatan yang tepat.

Dari pendapat Evans dan Sinoo dapat disimpulkan bahwa usia seseorang merupakan salah satu hal yang mempengaruhi strategi pencahayaan alami, karena semakin bertambahnya usia akan menyebabkan lensa mata seseorang kesulitan dalam melihat, seperti yang pernah diungkapkan juga oleh Padmanaba (2006) di dalam penelitiannya.

4. Kualitas pencahayaan, Kualitas pencahayaan yang layak dalam sebuah ruangan ditentukan oleh:
  - Penggunaan ruang.
  - Lamanya waktu beraktivitas dengan daa mata yang tinggi dan siat aktivitasnya.

Menurut Frick (2008) penggolongan kualitas pencahayaan dibagi menjadi 3 kelas, yaitu:

Kelas I : Bangunan representatif (gedung DPR/MPR, kantor gubernuran)

Kelas II : Bangunan umum (gedung pertemuan, hotel, gedung olah raga)

Kelas III: Bangunan perumahan, pertokoan

#### **4.2.2 Faktor Kuantitas Pencahayaan Alami**

Faktor-faktor yang mempengaruhi kuantitas pencahayaan alami, antara lain adalah:

1. Intensitas pencahayaan merupakan jumlah cahaya yang dikeluarkan oleh suatu sumber cahaya pada suatu arah tertentu dapat juga dikatakan flux yang jatuh pada luasan  $1\text{m}^2$  dari bidang tersebut. Intensitas pencahayaan ditentukan di tempat mana kegiatan dilakukan. Umumnya bidang kerja diambil 75-80 cm diatas lantai, bidang kerja dapat berupa meja atau bangku, atau bidang horisontal khayal.
2. Lumen merupakan unit atau satuan cahaya yang keluar dari suatu sumber cahaya yang memancar rata.
3. Luminasi merupakan ukuran yang menunjukkan jumlah cahaya yang terpancar atau terpantul dari suatu area atau permukaan.
4. Iluminasi adalah kepadatan (konsentrasi) *luminous* flux pada permukaan yang dapat berpengaruh kepada kelelahan mata. Unit pengukurannya adalah *footcandle* (lumens per square foot) atau lux (lumen per square meter) (Moore, 1993). Tujuan dari iluminasi adalah untuk mendapatkan hasil yang akurat dan dapat dipakai sebagai perbandingan dengan hasil pengukuran secara langsung sehingga diperoleh instalasi pencahayaan yang paling optimal.

Kriteria pokok dalam menerapkan iluminasi menurut Frick (2008) adalah:

- a. *Visual performance*
- b. *Visual comfort*
- c. Memperhitungkan faktor ekonomi dan sosial.
- d. Kuantitas atau jumlah cahaya pada permukaan tertentu atau tingkat kuat pencahayaan.
- e. Distribusi kepadatan cahaya (*luminance distribution*).

- f. Pembatasan agar cahaya tidak menyilaukan mata (*limitation of glare*).
- g. Arah pencahayaan dan pembentukan bayangan (*light directionality*).
- h. Warna cahaya dan refleksinya (*light colour* dan *colour rendering*).

Batas bawah/ minimum iluminasi yang dianjurkan untuk mengetahui kenyamanan suatu ruangan di Indonesia dibandingkan di Eropa maupun Amerika (Frick, 2008) adalah:

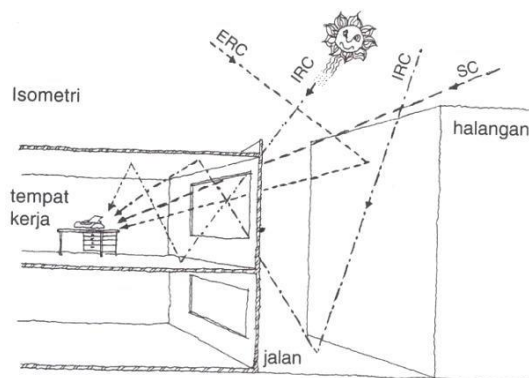
**Tabel 4.4 Perbandingan iluminasi yang dianjurkan pada tempat ibadah (Frick, 2008)**

Eropa		Indonesia		Amerika	
Lux	Uraian	Lux	Uraian	Lux	Uraian
100	Teater dan ruang konser, kamar mandi rumah maupun di hotel.	100	Pencahayaan dapur dan kamar mandi di rumah. Pencahayaan umum pada industri, toko, restaurant, lounge hotel, gedung pertemuan/ <b>tempat ibadah.</b>	50-100	Tugas-tugas visual yang tidak terus menerus, serta membedakan detail halus yang kurang kontrasnya.
300	Pekerjaan membaca, perbengkelan, industri, dsb.	300	Ruang kerja perkantoran, ruang sekolah dengan visual yang tinggi, <b>ruang ibadah dengan visual yang tinggi</b> , ruang periksa di rumah sakit, pencahayaan laboratorium, ruang olah raga bola.		

## 5. Daylight Factor (DF)

Besarnya cahaya langit yang selalu berubah-ubah membuat tingkat pencahayaan dari langit ke dalam bangunan membutuhkan suatu rasio. DF merupakan perbandingan antara kekuatan terang pada suatu titik bidang dalam sebuah ruangan dengan kekuatan terang area terbuka pada bidang horizontal yang sama (Frick, 2008). DF dipengaruhi oleh:

1. Cahaya langsung dari matahari pada bidang kerja (*SC = Sky Component*)
2. Cahaya pantulan dari permukaan benda sekitar (*ERC = Externally Sky Component*)
3. Cahaya pantulan dari permukaan di dalam ruangan (*IRC = Internally Sky Component*)



Gambar 4.11 Faktor cahaya siang hari dan pantulannya (Frick, 2008)

Perhitungan DF adalah:

$$DF = SC + IRC + ERC \dots\dots\dots (4.1)$$

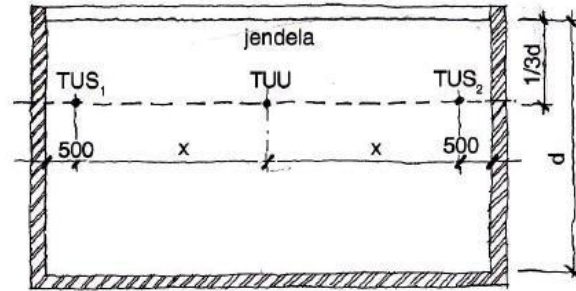
Besaran DF akan ditentukan dalam persen (%). Selain persamaan diatas dalam penelitian sebelumnya Mazloomi (2010) menyatakan dalam perhitungan berikut:

$$DF = (E_i / E_o) \times 100 \dots\dots\dots (4.2)$$

Dimana DF adalah *Daylight Factor*,  $E_i$  adalah pencahayaan dari dalam ruangan dan  $E_o$  adalah pencahayaan dari luar ruangan. DF pada umumnya ditentukan pada bidang horizontal pada ketinggian meja, dimana untuk Indonesia 0,75m di atas lantai (Soegijanto, 1999).

Untuk mencapai keadaan pencahayaan yang sesuai, maka faktor langit dari titik ukur tersebut harus memenuhi nilai minimum tertentu yang ditetapkan menurut fungsi dan ukuran ruangan (Frick, 2008). Di dalam perhitungan digunakan dua jenis titik ukur:

- Titik Ukur Utama (TUU), diambil pada tengah-tengah antara kedua dinding samping yang berada pada jarak 13 dari bidang lubang cahaya efektif.
- Titik Ukur Samping (TUS), diambil pada jarak 0,50m dari dinding samping yang juga berada pada jarak 13 dari bidang lubang cahaya efektif.



Gambar 4.12 Penentuan titik ukur (Frick, 2008)

**Tabel 4.5 Nilai faktor langit berhubungan dengan klasifikasi bangunan (Frick, 2008)**

Klasifikasi Bangunan	I	II	III
Kualitas pencahayaan A	0,50 d	0,45 d	0,35 d
Kualitas pencahayaan B	0,40 d	0,35 d	0,30 d
Kualitas pencahayaan C	0,30 d	0,25 d	0,20 d
Kualitas pencahayaan D	0,20 d	0,15 d	0,10 d

Faktor langit dari titik ukur harus sekurang-kurangnya memenuhi nilai minimum ( $f_{\min}$ ). Nilai dari  $f_{\min}$  dalam persentase untuk ruang di dalam bangunan, untuk TUU seperti yang ada di tabel 4.5. Faktor langit minimum untuk TUS nilainya diambil 40% dari  $f_{\min}$  untuk TUU dan tidak boleh kurang dari 0,10 d.

Konsep DF hanya berlaku untuk kondisi bola langit yang terkena cahaya secara merata (*overcast*) dan tidak ada sinar langsung dari matahari, atau dapat dikatakan DF dilihat dan dinilai di bawah langit yang mendung. Perhitungan dari perbandingan cahaya dalam

ruangan dengan area terbuka senantiasa berubah dari 0-100.000lux, karena langit senantiasa berubah maka perlu ditetapkan adanya terang langit di berbagai negara. Dalam metode DF, perbandingan *relative brightness* antara bidang kerja dan bukaan (jendela) menjadi perhatian khusus, maka DF minimum sangat sesuai dengan tipe ruang yang direkomendasikan dengan perbandingan Stein & Reynold dalam Beher dalam Mahaputri (2010). Persamaan tersebut adalah:

$$DF \text{ minimum} = (0,1) \times \text{windows area} / \text{floor area} \quad (4.3)$$

$$DF \text{ average} = (0,2) \times \text{windows area} / \text{floor area} \quad (4.4)$$

Menurut ketentuan Internasional terang langit untuk Indonesia adalah 10.000lux (Frick, 2008). Tujuan DF adalah:

1. Untuk menentukan DF pada titik di dalam ruang dengan bukaan yang memiliki ukuran tertentu
2. Untuk menentukan ukuran bukaan yang dapat menghasilkan tingkat pencahayaan minimum

Menurut Heerwagen (2004) nilai DF maksimum untuk bukaan tinggi letaknya sedikit lebih jauh dibandingkan dengan bukaan yang rendah yang DF maksimum berada di dekat bukaan. Rasio DF maksimum untuk bukaan tinggi juga lebih kecil sehingga mengurangi silau pada pengguna saat melihat bukaan. Namun, keburukannya adalah bukaan tinggi ini mengurangi kesempatan pengguna untuk mendapat view karena harus berdiri terlebih dahulu untuk melihat keluar.



## 6. Window to Wall Ratio (WWR)

WWR menekankan pentingnya ukuran bukaan yang dinyatakan sebagai rasio dari total luas bukaan dengan luas total dinding. Rasio tidak memiliki satu kelebihan yang berasal dari *façade* atau memiliki fungsi sama dengan bukaan.

$$WWR = \frac{\text{Luas total bukaan}}{\text{Luas total dinding}} \quad (4.5)$$

Semakin besar area bukaan, maka cahaya lebih banyak masuk ke dalam ruangan. Di dalam penelitian sebelumnya Mazloomi (2010) menyatakan bahwa WWR dalam sebuah bangunan peribadatan diatur dalam interval 0,1 dengan lima tahap, yaitu 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 dan 0,5. Interval tersebut memiliki alasan yang sama yaitu keterbatasan *façade* dan hasil dari penelitian tersebut adalah:

- Peningkatan WWR dikaitkan dengan peningkatan DF dan ekspansi di berbagai skala yang sesuai.
- Frekuensi dari skala paling padat dengan kenaikan WWR.
- Setiap kenaikan rasio dalam WWR dengan interval 0,1 meningkat menjadi 0,5% pada siang hari dengan DF rata-rata bervariasi antara 0,1 dan 0,5.

7. Indeks ruangan atau bentuk diperlukan untuk mengetahui seberapa besar kebutuhan pencahayaan ruang. Di dalam penelitian sebelumnya Irianto (2006) mengatakan bahwa indeks ruangan atau bentuk (*k*) merupakan perbandingan antara ukuran utama ruangan yang berbentuk bujur sangkar, persamaan yang digunakan adalah:

$$K = \frac{p \times l}{h(p + l)} \quad (4.6)$$

dimana:

p = panjang ruangan (m)

l = lebar ruangan (m)

h = tinggi ruangan (m)

## 8. Bukaannya sebagai Penetrasi Pencahayaan Alami

Isu yang berkembang tentang pembahasan pencahayaan alami menyatakan bahwa kualitas pencahayaan alami yang baik tidak terlepas dari distribusi cahaya yang masuk melalui bukaan dan orientasi arah bukaan. Cahaya yang didapat pada umumnya dari bukaan atas maupun samping. Bukaan tersebut sangat bervariasi tergantung dari fungsi bangunan yang ada. Semakin luas bukaan maka akan semakin banyak cahaya yang masuk ke dalam ruang. Cahaya dari samping sering kali tidak optimal karena keterbatasan jangkauan. Semakin dalam sebuah ruangan dan semakin jauh dari bukaan, maka ruangan tersebut akan gelap. Strategi yang dapat dilakukan adalah mempertinggi letak bukaan atau member sumber cahaya dari dua arah (Frick, 2008).

Menurut Suwanto (2006) fungsi dari bukaan yang berhubungan dengan pencahayaan alami adalah:

1. Mengatur banyaknya sinar yang masuk agar tidak terlalu berlebihan tetapi mencukupi kebutuhan di dalam ruangan
2. Membantu menghayati sebuah ruangan atau bangunan
3. Menambah fungsi estetika pada sebuah ruang atau bangunan

Peran bukaan selain sebagai sarana masuknya cahaya alami dan menyediakan ventilasi di dalam bangunan, bukaan juga memiliki peran psikologis subyektif, yaitu mempertahankan hubungan visual dengan luar ruangan (Samuel, 2010). Selain itu, bukaan hanya memberikan informasi yang sedikit, seperti pemandangan pada bukaan vertikal atau langit-langit, bukaan sebagai penetrasi pencahayaan alami memiliki dampak negatif, yaitu silau. Oleh karena itu pemilihan material penutup bukaan seperti kaca atau bahan transparan lainnya perlu diperhitungkan untuk mereduksi kesilauan (Frick, 2008). Sifat material tersebut besar kaitannya dengan nilai transmitansi dari bahan yang tembus dan adanya refleksi atau penyerapan.

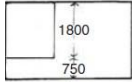
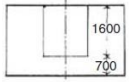
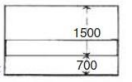
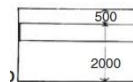

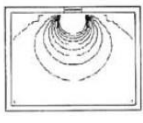
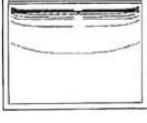

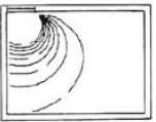
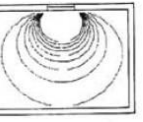
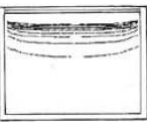
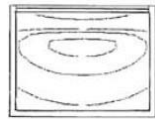
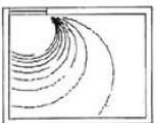
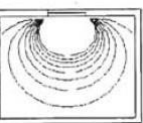


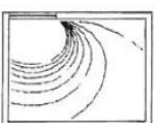
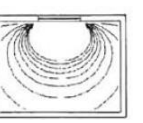
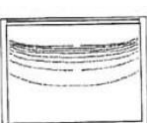
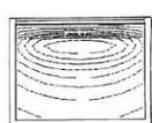
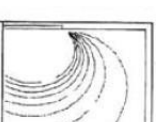
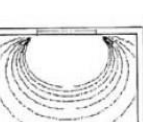

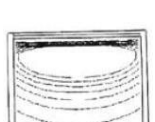
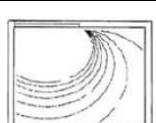
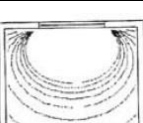

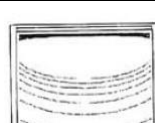
Posisi bukaan erat kaitannya dengan peredaran matahari. Bukaan yang menghadap ke arah Utara-Selatan lebih baik dibandingkan dengan yang menghadap ke Timur-Barat. Di dalam penelitian sebelumnya tingkat kepuasan terhadap bukaan bergantung kepada informasi visual yang diperoleh. Di dalam interior, kepuasan terhadap lebar bukaan meningkat sampai 30% lebar dinding, dengan lokasi bukaan di dalam sudut horizontal sekitar 60° (Samuel, 2010). Ketinggian bukaan juga harus memperhitungkan pemandangan yang dapat dilihat. Bukaan yang posisinya lebih rendah memberikan informasi lebih banyak dari pada yang lebih tinggi, sehingga secara subyektif bukaan yang relatif rendah dan lebar lebih diinginkan, namun bukaan yang lebih tinggi lebih efisien dalam memberikan pencahayaan alami pada bagian interior yang lebih dalam. Hopkinson (1966) berpendapat bahwa jika luas bukaan lebih besar 2% dari lantai,

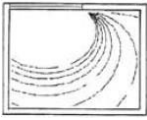
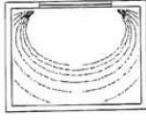
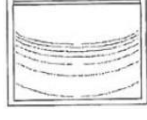
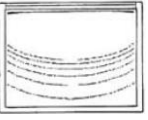




ukuran bukaan tidak berpengaruh banyak pada silau yang ditangkap oleh orang yang melihat langsung pada bukaan. Sedangkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Yamaguchi dalam Szokolay (2004) mengenai efek ukuran, bentuk dan posisi bukaan pada penyebaran pencahayaan alami dapat dilihat seperti contoh distribusi pencahayaan alami pada kolom A bukaan pada dinding samping dengan lebar bervariasi, B bukaan pada garis tengah ruangan dengan lebar bervariasi, C bukaan dengan lebar penuh dengan tinggi bervariasi, D bukaan yang berada di atas kepala dengan tinggi bervariasi adalah seperti pada gambar 2.28.

Pencahayaan alami siang hari pada sebuah ruangan bergantung pada lebar bangunan, besar bukaan dan ketinggian plafon. Proporsi ruang menjadi salah satu faktor penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan pencahayaan alami (Evans, 1981). Beberapa alat kontrol yang menjadi faktor masuknya pencahayaan alami ke dalam ruangan adalah sebagai berikut:

1. *Overhang*, berfungsi sebagai distribusi pencahayaan alami dalam bangunan.
2. *Skylight*, iluminasi yang jatuh pada bidang vertikal akibat *skylight* lebih besar dibandingkan iluminasi yang jatuh pada bidang horizontal pada bukaan.
3. *Clerestories* atau variasi dari *skylight*, namun cahaya yang masuk bersifat horizontal.

**Tabel 4.6 Distribusi pencahayaan alami pada beberapa bentuk bukaan  
(Szokolay, 2004)**

<b>Posisi</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Bukaan</b>				
10%				
15%				
20%				
25%				
30%				
35%				

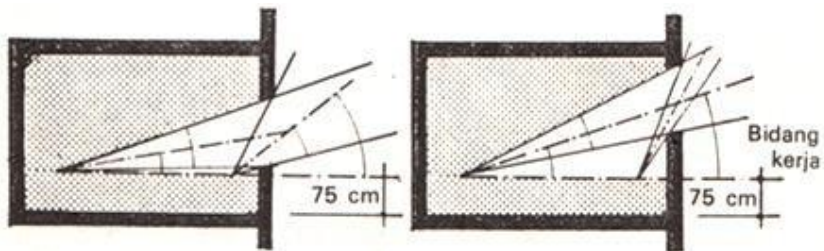
40%				
50%				

## 9. Lubang cahaya efektif

Neufert (1977) dalam Samuel (2010) berpendapat bahwa ukuran bukaan (jendela) dan tinggi bidang kerja menjadi faktor utama dalam desain pencahayaan, tinggi jendela berpengaruh pada semakin dalamnya cahaya dapat masuk ke dalam ruangan. Sudut datang cahaya yang baik memiliki kemiringan  $30^\circ$  dari bidang kerja, sudut tersebut akan menghasilkan bayangan yang panjang pada bidang kerja. Prinsip distribusi cahaya vertikal tersebut merupakan penyaringan cahaya atau penciptaan bayangan yang baik (Frick, 2008), seperti pada gambar 2.20.

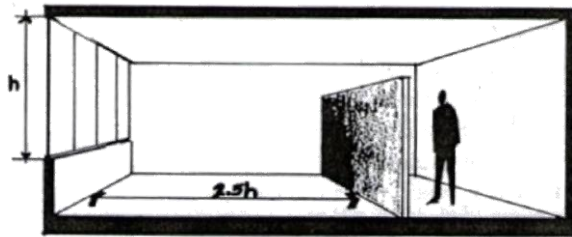
Lebar bukaan (jendela) juga berpengaruh pada kuantitas pencahayaan yang masuk ke dalam ruangan. Semakin besar ukuran bukaan maka semakin banyak cahaya alami yang masuk ke dalam sebuah ruangan. Pada penelitian sebelumnya Neufert (1977) dalam Samuel (2010) mengatakan bahwa ukuran jendela yang baik adalah  $1/8$  dari ukuran ruangan, namun hal ini perlu dipertimbangkan kembali mengenai distribusi kenaikan iluminasi. Kenaikan iluminasi dapat

dirasakan pada ukuran  $1/6$  sampai  $1/3$  ukuran jendela dibanding ruangnya.

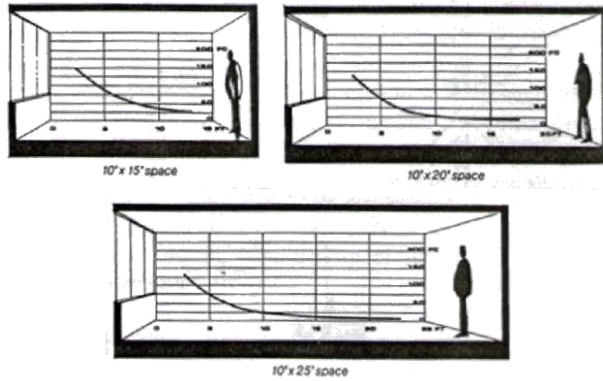


Gambar 4.13 Semakin jauh dari lubang jendela maka semakin sedikit juga jumlah cahaya yang datang pada bidang kerja (Frick et.all, 2008)

Tingkat iluminasi yang masuk ke dalam bangunan tidak hanya ditentukan oleh material penutup bukaan saja tetapi juga ukuran bukaan dan geometri ruang. Intensitas cahaya alami yang masuk ke dalam ruang akan semakin berkurang pada kedalaman ruang yang lebih jauh (Ander, 1995).



Gambar 4.14 Konfigurasi bukaan menentukan kuantitas cahaya alami yang masuk (Ander, 1995)



Gambar 4.15 Kedalaman ruang menentukan intensitas pencahayaan alami (Ander, 1995)

10. *Uniformity*, untuk mengetahui rasio perbandingan *uniformity* dari DF, maka ada dua cara yang bisa dilakukan, yaitu:

- $$\frac{DF_{\text{minimum}}}{DF_{\text{rata-rata}}} \quad (4.7)$$

- $$\frac{DF_{\text{minimum}}}{DF_{\text{maksimum}}} \quad (4.8)$$

Menurut metode BREEAM, rasio  $DF_{\text{minimum}} / DF_{\text{rata-rata}}$  setidaknya harus 0,4 atau memiliki nilai DF minimum 0,8% pada setiap titiknya (Iversen, 2013), sedangkan menurut Steffy (2008) sebuah ruangan dikatakan seragam (*uniformity*) didapat dari rasio nilai iluminan minimum terhadap rata-rata dan atau nilai iluminan minimum terhadap maksimum. Persyaratan rasio perbandingan nilai iluminan dapat juga dilihat pada tabel 2.1.



## Daftar Pustaka

- Al-Homoud Mohammad S (2005), “Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials”, Sciencedirect. Building and Environment 40 (2005) 353–366
- Baker Nick dan Koen Steemers, (2005), Energy and Environmental in Architecture, Taylor & Francis Group, New York
- Barong Lin, Tan Gang, Wang Peng, Song Ling, Zhu Yinxing, Zhai Guangkui (2003), “Study on the thermal performance of the Chinese traditional vernacular dwellings in Summer”, Science Direct, Energy and Buildings 36 (2004) 73–79
- Chirarattananon Surapong & Juntakan Taveekun, “An OTTV-based energy estimation model for commercial buildings in Thailand”, Science Direct, Energy and Buildings 36 (2004) 680–689
- Crawford Robert H, Czerniakowski Isabella, Fuller Robert J (2010), “A comprehensive framework for assessing the life cycle energy of building construction assemblies”, Science Direct, Architectural Science Review 53 (2010) 288–296.
- Crawford Robert H, Czerniakowski Isabella, Fuller Robert J (2011), “A comprehensive model for streamlining low-energy building design”, Science Direct, Building and Environment 43 (2011) 1748–1756

- Depecker P, C. Menezo, J. Virgone, S. Lepers (2001), “Design of buildings shape and energetic consumption”, Science Direct, Building and Environment 36 (2001) 627–635
- Givoni B (1976), Man, Climate and Architecture, Applied Science Publishers, London
- Givoni B. (1998). Climate Considerations in Building and Urban Design, Van Nostrand Reinhold, USA
- Gonzalo Roberto dan Karl J Hbermann (2006), Energy Efficient Architecture, Birkhauser, Berlin
- Gratia Elisabeth dan Herde Andre De (2003), “Design of low energy office building”, Science Direct, Energy and Buildings 35 (2003) 473–491
- Hancock Mary dan Susan Roaf (1992), Energy Efficient Building, Blackwell Scientific Publication, London
- HausladenGerhard, et all (2006), Climate Skin, Birkhauser, Berlin
- Hilmawan Edi dan Said Mustafa (2009), “Energy Efficiency Standart and Labeling Policy in Indonesia”, International cooperation for Energy Efficiency Standart and Labelinmg Policy, Tokyo
- Hwang dan Shu (2011), “Building envelope regulations on thermal comfort in glass facade buildings and energy-saving potential for PMV-based comfort control”, Science Direct, Building and Environment 46 (2011) 824-834
- Ibrahim Mohammed H (1996), “A Typology of Building Form. J. King Saud Univ”, Arch. &Planning, Vol. 9, pp. 1-30

- Juniwati Anik dan Asri Dinapradipta (2008), “Optimum Façade Design For Energy Efficient High-Rise Office Building In Hot Humid Tropics”, Proceedings 9<sup>th</sup> SENVAR + 2<sup>nd</sup> ISESEE 2008, Malaysia
- Knowles, R.L. (2003), “The Solar Envelope: Its Meaning for Energy and Buildings”, Journal of Energy and Buildings
- Koenigsberger, O. H., Ingersoll, T. G., Mayhew, Alan and Szokolay, S. V. (1973). Manual of Tropical Housing and Building. Part One: Climatic Design, fourth edition, Longman Group Limited, London
- Koranteng Christian dan Mahdavi Ardeshir (2010), An investigation into the thermal performance of office buildings in Ghana, Science Direct, Energy and Buildings 43 (2011) 555–563
- Lenchner Norbert (2007), Heating, Cooling and Lighting, PT. Raja Grafindo Persda, Jakarta
- Lahji Khotijah, Apritasari Yasser.D, Rasyad Eka Sediadi, The Influence of Building Envelope Design Towards Internal Heatgain, Thermal Comfort and AC system. Proceedings 9<sup>th</sup> SENVAR + 2<sup>nd</sup> ISESEE 2008, Malaysia
- Ling C.S (2007), Minimising Solar Insolation In High Rise Buildings Trough Self Shaded Form, Universiti Teknologi, Malaysia
- Matus, Vladimir (1988), Design for Northern Climates -Cold-Climate Planning and Environmental Design. Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Markus T.A, Morris E.N (1980), Buildings, Climate and Energy, Pitman Publishing Limited, London
- Moore Fuller (1993), Environmental Control Systems: Heating Cooling Lighting, McGraw – Hill, New York

- Neufert Ernst (1996), *Data Arsitej Edisi 33 Jilid 1*, Erlangga, Jakarta
- Noerwasito Totok (2006), *Pengaruh Disain dinding dan Ruang terhadap Temperatur dalam Ruangan yang Berdinding Beton Ringan di Surabaya, untuk Efisiensi Energi*. Surabaya: Jurusan Arsitektur ITS
- Olgay, V (1972). *Design with Climate- Bioclimatic approach to architectural regionalism*, Princeton University Press, New Jersey
- Priatman Jimmy (1999), *Tradisi Dan Inovasi Material Fasade Bangunan Tinggi*. FT UK Petra: *Dimensi Teknik Arsitektur vol 27 no 2*
- Priatman Jimmy (2003), “Energy Conscious Design” *Konsepsi Dan Strategi Perancangan Bangunan Di Indonesia*. FT UK Petra: *Dimensi Teknik Arsitektur vol 31 no 1*
- Priatman Jimmy (2002), “*Energy-Efficient Architecture*” *Paradigma Dan Manifestasi Arsitektur Hijau*. FT UK Petra: *Dimensi Teknik Arsitektur vol 31 no 1*
- Ratti Carlo, Raydan Dana, Steemers Koen (2003), *Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate*. Science Direct: *Energy and Buildings 35 (2003) 49–59*
- Satwiko Prasasto (2004), *Fisika Bangunan 1*, Andi, . Yogyakarta
- Satwiko Prasasto (2004), *Fisika Bangunan 2*, Andi, Yogyakarta
- Siregar Pesta (2013), *Perkembangan Pasar Properti Perkantoran di Surabaya*, <http://vibiznews.com/2013-07-08/perkembangan-pasar-properti-perkantoran-di-surabaya>
- Szokolay, S.V. (1987), *Thermal Design of Buildings*. RAI Education Division, Canberra, Australia.
- Szokolay, S.V. (2004), *Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design*. Oxford: Elsevier Science

- Yeang Ken (1994), *Bioclimatic Skyscraper*. London: Artemis London Limited
- Yeang Ken (1996), *The Green Skyscraper*. London: Prestel
- Yuan, et all (2005), Effect of the thermal conductivity of building materials on the steady-state thermal behaviour of underground building envelopes, *Science Direct, Building and Environment* 41 (2006) 330–335
- Crawford, et all (2011), A comprehensive model for streamlining low-energy building design. *Science Direct: Energy and Buildings* 43 (2011) 1748–1756
- Ratti, et all (2003), Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate. *Science Direct: Energy and Buildings* 35 (2003) 49–59
- Oral (2003), Building form for cold climatic zones related to building envelope from heating energy conservation point of view. *Science Direct: Energy and Buildings* 35 (2003) 383–388
- Depecker, et all (2001), Design of buildings shape and energetic consumption. *Science Direct: Building and Environment* 36 (2001) 627–635
- Choi, et all (2012), Energy consumption characteristics of high-rise apartment buildings according to building shape and mixed-use development. *Science Direct: Energy and Buildings* 46 (2012) 123–131
- Yilmaz Z (2007), Evaluation of energy efficient design strategies for different climatic zones: Comparison of thermal performance of

- buildings in temperate-humid and hot-dry climate. *Science Direct: Energy and Buildings* 39 (2007) 306–316
- Wood Antony (2004), *New Paradigms in High Rise Design*. Chicago: Journal of the Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Issue No. 3. Fall 2004. pp. 16-24. Council on Tall Buildings and Urban Habitat
- Wood Antony (2007), *Sustainability: A New High Rise Vernacular*. UK: Journal of the Structural Design of Tall and Special Buildings, Vol. 16, Issue No. 4
- Zerefos Stelios C, Christos A. Tساس, Anastasios M. Kotsiopoulos, Dimitra Founda, Angeliki Kokkini (2012), The role of building form in energy consumption: The case of a prismatic building in Athens. *Science Direct: Energy and Buildings* 48 (2012) 97–102

## Tentang Penulis



**Dian P.E. Laksmiyanti** lahir di Kota Malang tanggal 22 Februari 1987. Lulus Sarjana Arsitektur di Universitas Brawijaya Malang jurusan Arsitektur yang dilanjutkan pendidikan Magister Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada Jurusan Arsitektur, dengan bidang keahlian Arsitektur Lingkungan. Menjadi anggota Ikatan Arsitek

Indonesia (IAI) sejak tahun 2009, dan memiliki sertifikasi sebagai Arsitek Madya dan Ahli Iluminasi dari LPJK. Saat ini penulis berstatus sebagai Dosen Tetap Jurusan Arsitektur di Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya sejak 2013-sekarang. Selama menjadi dosen penulis aktif dalam kegiatan perancangan arsitektur dan melakukan beberapa riset serta publikasi ilmiah

Email : [dianpramita@itats.ac.id](mailto:dianpramita@itats.ac.id) .



**Poppy F Nilasari** lahir di Kota Surabaya, 24 Juni 1985. Lulus Sarjana Arsitektur Interior di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya Program Studi Arsitektur Interior yang dilanjutkan pendidikan Magister Teknik di kampus yang sama pada Prodi Arsitektur, dengan bidang keahlian Arsitektur Lingkungan. Saat ini penulis berstatus sebagai Dosen Tetap

Program Studi Desain Interior di Universitas Kristen Petra sejak 2008-sekarang. Selama menjadi dosen penulis aktif dalam kegiatan perancangan interior dan melakukan beberapa riset serta publikasi ilmiah.

Email : [popie@peter.petra.ac.id](mailto:popie@peter.petra.ac.id)



**Failasuf Herman Hendra** lahir di Kota Malang tanggal 3 Agustus 1964. Lulus Sarjana Arsitektur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya jurusan Arsitektur yang dilanjutkan pendidikan Magister Teknik di kampus yang sama pada Jurusan Arsitektur, dengan bidang keahlian Arsitektur Lingkungan.

Saat ini penulis sedang melakukan studi S3 di Universitas Brawijaya Malang. Penulis menjadi anggota Iatan Arsitek Indonesia (IAI) sejak tahun 2012, dan saat ini penulis berstatus sebagai Dosen Tetap Jurusan Arsitektur di Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya sejak 1996-sekarang. Selama menjadi dosen penulis aktif dalam kegiatan perancangan arsitektur dan melakukan beberapa riset serta publikasi Ilmiah

Email : [failasuf\\_herman@yahoo.com](mailto:failasuf_herman@yahoo.com)