

PANDUAN PENGGUNA BANGUNAN GEDUNG HIJAU JAKARTA  
Berdasarkan Peraturan Gubernur No. 38/2012

VOL. 3

# SISTEM PENCAHAYAAN

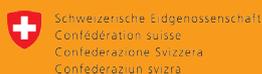


Pemerintah Provinsi  
DKI Jakarta

Didukung oleh:



IFC bekerjasama dengan:



Federal Department of Economic Affairs FDEA  
State Secretariat for Economic Affairs SECO







PANDUAN PENGGUNA BANGUNAN GEDUNG HIJAU JAKARTA  
VOL. 3

# SISTEM PENCAHAYAAN

## *daftar isi*

	PENDAHULUAN	2
01	P E R S Y A R A T A N P E R A T U R A N	4
02	P E N J E L A S A N P E R A T U R A N	5
03	P R I N S I P - P R I N S I P D E S A I N	8
	MEMANFAATKAN PENCAHAYAAN ALAMI	8
	Desain Pencahayaan Alami	10
	Kontrol Pencahayaan Alami	17
	PENGURANGAN DAYA PENCAHAYAAN TERPASANG	18
	PENGGUNAAN LAMPU DAN RUMAH LAMPU YANG EFISIEN	21
	Lampu	21
	Efisiensi Rumah lampu	23
	Reflektansi Permukaan	25
	Jarak Sumber Cahaya	26
	PENGGUNAAN KONTROL PENCAHAYAAN	27

# Sistem Pencahayaan: Pendahuluan

Cahaya merupakan suatu keharusan agar dapat melakukan aktivitas dengan baik serta untuk menciptakan kenyamanan visual. Cahaya matahari dan kubah langit telah menjadi sumber utama cahaya hingga saat ini. Bahkan sampai saat ini, sebagian besar kebutuhan kita akan pencahayaan sebenarnya dapat dipenuhi oleh pencahayaan alami jika bangunan dirancang dengan tepat. Namun, pencahayaan buatan dengan listrik tidak dapat dihindari pada saat cahaya alami tidak tersedia, atau di dalam ruangan tanpa akses ke pencahayaan alami.

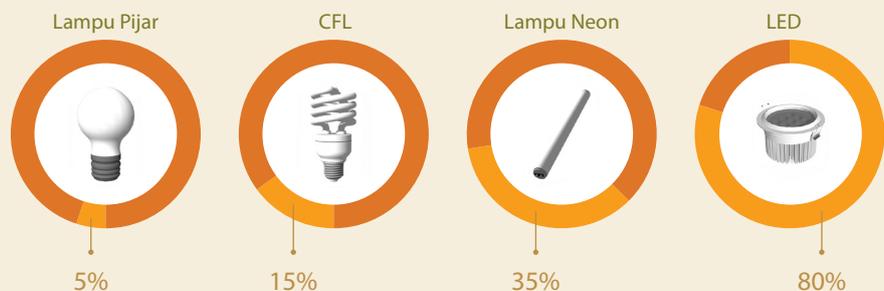
Lampu biasanya menggunakan listrik untuk memproduksi cahaya, tetapi listrik yang digunakan juga menghasilkan panas. Ini mengurangi efisiensi sistem pencahayaan disamping juga meningkatkan beban pendinginan didalam bangunan. Sebagai aturan praktis, setiap 3 watt energi pencahayaan yang dihemat menghasilkan 1 watt pengurangan energi pendinginan. Rasio ini bervariasi dan tergantung pada jenis lampu, bangunan, desain dan pengoperasiannya.

G A M B A R . 0 1

Karakteristik Output dari Beberapa Jenis Lampu

■ Cahaya  
■ Panas

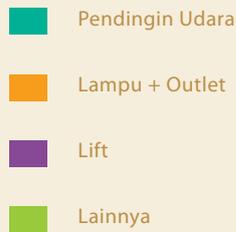
Lampu biasanya menghamburkan 72% dari energi yang digunakan sebagai panas. Di samping itu, 28% dari energi pendinginan (AC) digunakan hanya untuk menghilangkan panas dari lampu.



Secara umum, sistem pencahayaan pada bangunan di Indonesia mengkonsumsi energi terbesar kedua, setelah sistem pendinginan udara.

G A M B A R . 0 2

Rincian Konsumsi Energi untuk Berbagai Jenis Bangunan<sup>1</sup>



Desain sistem pencahayaan yang cermat, perlengkapan yang efisien dan kontrol yang baik memiliki potensi untuk mengurangi total konsumsi energi pada bangunan di Jakarta hingga 10%<sup>2</sup>.

Penerapan peraturan ini diharapkan dapat menghemat energi pencahayaan dan pendinginan serta sekaligus meningkatkan kenyamanan visual dalam bangunan.

<sup>1</sup> Sumber: Japan International Cooperation Agency (JICA).2009. A Study of Electricity Use in Multiple Jakarta Buildings.

<sup>2</sup> Analisis simulasi energi yang dilakukan oleh IFC untuk bangunan tipikal Jakarta, 2011.

# 01 *persyaratan peraturan*

MENGACU PADA PASAL 10 DAN 11

- 1 Sistem pencahayaan pada area berikut harus memiliki kontrol sensor cahaya:
  - a. perimeter kantor terbuka (open layout) yang lebih luas dari 100 m<sup>2</sup> dan dengan jendela
  - b. perimeter ruang konferensi/pertemuan yang lebih luas dari 100m<sup>2</sup> dan dengan jendela
  - c. perimeter lobi/ruang tunggu yang lebih luas dari 100 m<sup>2</sup> dan dengan jendela

Zona pencahayaan yang dikendalikan oleh sensor cahaya harus memiliki kedalaman 1,5 kali tinggi lantai ke langit-langit.

- 2 Desain interior penerangan listrik tidak melebihi daya pencahayaan terpasang maksimum untuk setiap jenis ruang per SNI 03-6197.

# 02 *rincian persyaratan peraturan*

Peraturan ini berlaku untuk semua ruang interior yang menggunakan penerangan listrik, kecuali untuk kasus-kasus di mana pencahayaan khusus diperlukan. Hal-hal tersebut dapat mencakup kawasan yang diperuntukkan bagi pertunjukkan teater, siaran televisi, presentasi audio visual dan bagian-bagian dari fasilitas hiburan, monumen publik, fasilitas manufaktur khusus dll. Untuk pengecualian lebih lanjut, instansi pemerintah yang berwenang harus dihubungi.

**P E R S Y A R A T A N**  
1 Semua ruangan perimeter dengan lebih luas dari 100 m<sup>2</sup> dan memiliki jendela dengan fungsi sebagai berikut:

- kantor terbuka (open layout)
- ruang konferensi/pertemuan, atau
- lobi/ruang tunggu

Panduan lebih lanjut tentang desain cahaya alami yang efektif disediakan di bagian "Prinsip-prinsip Desain" dari dokumen ini.

harus memiliki zona pencahayaan perimeter dengan kedalaman minimal 1,5 kali tinggi lantai ke langit-langit. Dalam hal ini, ketinggian langit-langit dekat jendela menjadi referensi untuk perhitungan ini. Semua titik lampu permanen dalam zona ini (dengan pengecualian tanda "exit" dan lampu darurat) harus dikendalikan oleh sensor cahaya. Sensor cahaya harus ditempatkan di perimeter zona cahaya alami dan dikalibrasi untuk secara akurat mengukur tingkat pencahayaan.

G A M B A R . 0 3

Zona Pencahayaan Perimeter yang Harus Dikendalikan oleh Sensor Cahaya



- P E R S Y A R A T A N** Perencanaan sistem pencahayaan buatan tidak boleh melebihi daya pencahayaan terpasang maksimum per SNI 03-6197 2011, seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini. Harap dicatat bahwa daya pencahayaan (watt) untuk keseluruhan bangunan tidak boleh melebihi daya pencahayaan yang diperbolehkan dihitung dengan menggunakan tabel di bawah. Trade-off antar ruang diperbolehkan asalkan total watt tidak melebihi persyaratan yang ditentukan.

**T A B E L . 0 1**  
Kepadatan Daya Pencahayaan Maksimum

FUNGSI RUANGAN	DAYA PENCAHAYAAN MAKSIMUM ( W / M 2 ) Termasuk Rugi-rugi Ballast	FUNGSI RUANGAN	DAYA PENCAHAYAAN MAKSIMUM ( W / M 2 ) Termasuk Rugi-rugi Ballast
<b>TEMPAT TINGGAL</b>		<b>RUMAH SAKIT</b>	
Teras	3	Ruang Gawat Darurat	15
Kamar Tamu	7	Ruang Tindakan	15
Ruang Makan	7	Ruang Rekreasi & Rehabilitasi	15
Ruang Kerja	7	Kamar Pemulihan	10
Ruang Tidur	7	Ruang Koridor (siang)	8
Kamar Mandi	7	Ruang Koridor (malam)	9
Dapur	7	Ruang Staf/Kantor	3
Garasi	3	Kamar Istirahat & Kamar Pasien	10
<b>PERKANTORAN</b>			7
Ruang Resepsionis	13	<b>TOKO / RUANG PAMER</b>	
Ruang Direktur	13	Ruang Pamer dengan Benda-benda Besar (contoh: mobil)	13
Ruang Kerja	12	Kawasan Penjualan Kecil	10
Ruang Komputer	12	Kawasan Penjualan Besar	15
Ruang Pertemuan	12	Tempat Kasir	15
Ruang Gambar	20	Toko Roti & Pasar Makanan	9
Gudang Arsip	6	Toko Bunga	9
Ruang Arsip Aktif	12	Toko Buku & Alat Tulis	9
Tangga Darurat	4	Toko Perhiasan & Jam	15
Tempat Parkir	4	Toko Sepatu & Barang dari Kulit	15
<b>LEMBAGA PENDIDIKAN</b>		Toko Pakaian	15
Ruang Kelas	15	Supermarket	15
Perpustakaan	11	Toko Mainan	15
Laboratorium	13	Toko Peralatan Listrik	9
Ruang Praktek Komputer	12	Toko Musik & Peralatan Olahraga	9
Ruang Laboratorium Bahasa	13	<b>INDUSTRI ( U M U M )</b>	
Ruang Guru	12	Gudang	5
Ruang Olahraga	12	Pekerjaan Kasar	7
Ruang Gambar	20	Pekerjaan Menengah	15
Kantin	8	Pekerjaan Halus	25
<b>HOTELS &amp; RESTORAN</b>		Pekerjaan Sangat Halus	50
Ruang Resepsionis & Kasir	12	Pemeriksaan Warna	20
Lobi	12	<b>TEMPAT IBADAH</b>	
Ruang Serbaguna	8	Masjid	10
Ruang Pertemuan	10	Gereja	13
Ruang Makan	9	Biara	10
Kafetaria	8		
Kamar Tidur	7		
Koridor	5		
Dapur	10		

Tata cara perhitungan untuk memenuhi persyaratan tersebut harus dilakukan dengan menempuh langkah-langkah sebagai berikut:

**Tentukan daya pencahayaan yang diperbolehkan:**

- A. Menghitung luas ruang untuk setiap jenis ruangan (misalnya kantor, lobi, ruang kelas).
- B. Menentukan watt per meter persegi yang diperbolehkan dari tabel di atas.
- C. Menghitung daya pencahayaan yang diperbolehkan untuk setiap jenis ruangan ( $A \times B$ ).
- D. Jumlahkan daya pencahayaan yang diperbolehkan dari semua ruangan untuk mendapatkan kepadatan daya pencahayaan yang diperbolehkan.

**Tentukan daya pencahayaan yang dirancang:**

- E. Menentukan watt lampu untuk semua jenis lampu yang dirancang.
- F. Menentukan watt untuk tiap rumah lampu/titik lampu (watt lampu  $\times$  jumlah lampu per titik lampu).
- G. Menghitung total watt ruangan (jumlahkan nilai watt per titik lampu sesuai dengan jumlah titik lampu dalam ruangan).
- H. Jumlahkan semua watt ruangan dalam bangunan untuk mendapatkan total daya pencahayaan yang dirancang.

Sebuah kalkulator spreadsheet tersedia di situs web DPK untuk melakukan perhitungan di atas.

Persyaratan ini mengharuskan bahwa H (total daya pencahayaan Watt yang dirancang) harus sama atau kurang dari D (total daya pencahayaan Watt yang diperbolehkan).

# 03

## *prinsip-prinsip desain*

Prinsip-prinsip desain dan contoh aplikasi terbaik yang dibahas di bagian ini menggambarkan beragam cara untuk memenuhi peraturan yang disyaratkan, dan bahkan melampauinya untuk mendapatkan manfaat tambahan.

Penggunaan energi dalam pencahayaan terutama bergantung pada:

- Seberapa banyak cahaya alami dimanfaatkan?
- Seberapa banyak titik lampu yang dipasang untuk memberikan tingkat cahaya yang dibutuhkan?
- Sebagaimana efisiennya lampu dan rumah lampu dalam mengkonversi listrik menjadi cahaya yang dapat digunakan dan didistribusikannya ke meja kerja?
- Berapa lama lampu dibiarkan terus menyala?

Energi pencahayaan dapat dikurangi secara signifikan dengan cara:

1. Pemanfaatan cahaya alami
2. Pengurangan jumlah titik lampu terpasang
3. Penggunaan lampu dan rumah lampu yang efisien
4. Penggunaan kontrol pencahayaan

# MEMANFAATKAN CAHAYA ALAMI

Cara paling logis untuk mengurangi energi pencahayaan secara signifikan adalah dengan sebanyak mungkin menggunakan cahaya alami yang tersedia.

GAMBAR . 04

Sistem Pencahayaan yang Mengintegrasikan Cahaya Alami dengan Penerangan Listrik secara Seimbang<sup>3</sup>

- Tingkat Pemeliharaan Cahaya
- Penerangan Listrik
- Cahaya Alami



Pencahayaan alami yang diintegrasikan dengan teknologi sistem kontrol pencahayaan yang tersedia, dapat menghemat hingga 50% dari total energi yang digunakan untuk penerangan di kantor.<sup>4</sup>

Sebuah bangunan dengan pencahayaan alami yang baik tidak hanya terlihat lebih hidup dan luas tetapi juga menunjukkan peningkatan produktivitas kerja dan kesehatan. Dua studi terbaru menunjukkan bahwa dampak positif yang signifikan dari pencahayaan alami meliputi peningkatan penjualan retail<sup>5</sup> dan nilai tes siswa yang lebih tinggi.<sup>6</sup>

Hasil sebuah penelitian menunjukkan, bahwa orang yang bekerja di kantor dengan jendela secara signifikan menghabiskan waktu lebih banyak (15%) pada pekerjaannya dibandingkan dengan orang yang bekerja di kantor tanpa jendela.<sup>7</sup>

Manfaat yang optimal dari pencahayaan alami dapat dicapai dalam dua langkah yang berbeda, desain pencahayaan alami dan sistem kontrol pencahayaan alami.

<sup>3</sup> Smart Energy User. Saving Dollars through Lighting Control. (<http://www.wisdompage.com/SEUhtmDOCS/3SE11.htm>)

<sup>4</sup> LRC, 1994; Rubenstein et al., 1984; Nilsson et al., 1991; Zonneveldt et al., 1998.

<sup>5</sup> Heschong L, Wright R, Okura S. 2001a. Daylighting impacts on Retail Sales Performance. Conference Proceedings of the Illuminating Engineering Society of North America.

<sup>6</sup> Heschong L, Wright R, Okura S. 2001b. Daylighting impacts on Human Performance in Schools. Conference proceedings of the Illuminating Engineering Society of North America.

<sup>7</sup> Daylight and Productivity: A Field Study. ([http://eec.ucdavis.edu/ACEEE/2002/pdfs/panel08/06\\_15.pdf](http://eec.ucdavis.edu/ACEEE/2002/pdfs/panel08/06_15.pdf))

DESAIN  
PENCAHAYAAN  
ALAMI

Desain pencahayaan alami mencakup perancangan selubung bangunan dan tata letak yang dirancang sedemikian rupa sehingga sebagian besar ruang dalam memiliki akses ke cahaya alami yang dibutuhkan.

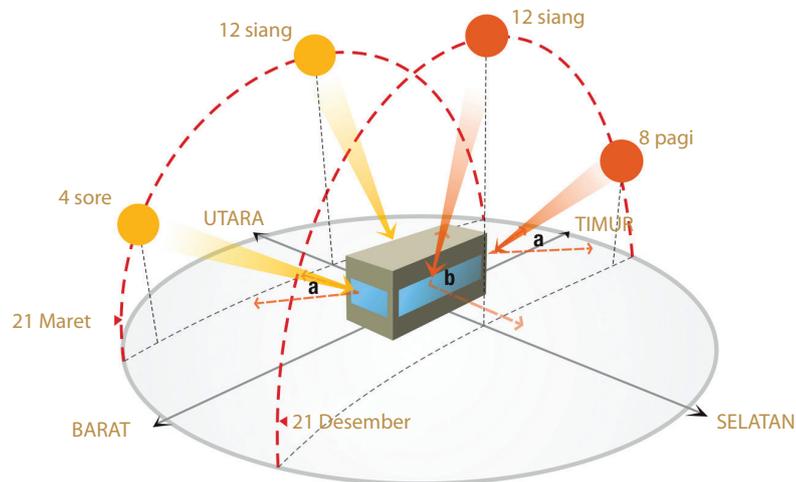
A. Orientasi Jendela

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5, sudut matahari yang rendah di pagi dan sore hari sangat sulit untuk diblokir dengan menggunakan peneduh horisontal. Ketika posisi matahari berada lebih tinggi di langit pada siang hari, peneduh horisontal bekerja sangat baik terutama di lokasi khatulistiwa seperti Jakarta. Oleh karena itu, peneduh jendela yang baik yang menghadap selatan dan utara akan memungkinkan penyebaran penetrasi cahaya alami tanpa adanya terlalu banyak radiasi matahari langsung.

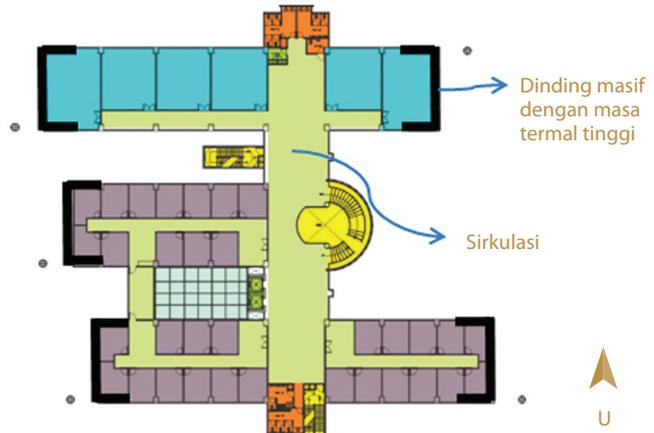
GAMBAR . 05

Diagram Jalur Matahari

- a Sudut Bayangan Vertikal Rendah
- b Sudut Bayangan vertikal Tinggi



Sebuah contoh desain cahaya alami optimal disajikan di Gambar 6. Dalam hal ini, meskipun jalan utama terletak di sisi barat dari lokasi, sebagian besar jendela mengarah ke utara dan selatan. Menggunakan sistem peneduh dan lightshelves, jendela ini mampu memasukkan cahaya alami yang cukup tanpa perolehan panas berlebihan, sehingga memungkinkan untuk mematikan lampu hampir sepanjang hari. Selain itu, dinding dengan massa termal tinggi mendominasi bagian timur dan barat bangunan untuk mengurangi konduksi termal akibat radiasi matahari langsung dengan sudut datang yang rendah.



### B. Ukuran Jendela/Skylight

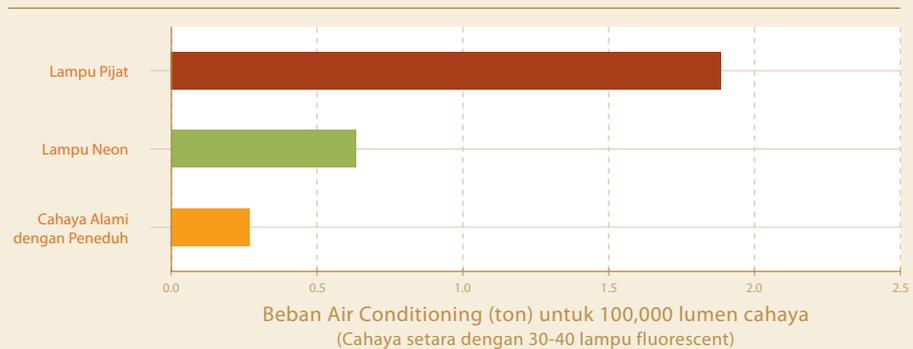
G A M B A R . 0 6

Fakultas Ilmu Sosial dan Politik, UIN Jakarta<sup>8</sup>

Bukan pada selubung bangunan memasukkan cahaya alami namun juga radiasi panas matahari yang merupakan salah satu sumber panas terbesar pada bangunan, sehingga menyebabkan peningkatan beban pendinginan yang signifikan. Namun, cahaya matahari tak langsung masih merupakan sumber pencahayaan yang jauh lebih dingin dibandingkan dengan kebanyakan sumber cahaya lainnya. Grafik di bawah ini menunjukkan tambahan beban AC dalam sebuah bangunan tipikal karena panas yang dikeluarkan oleh sumber cahaya yang dibutuhkan untuk menyediakan 100.000 lumens cahaya di dalam ruangan.

G A M B A R . 0 7

Beban Air Conditioning untuk 100,000 Lumen Cahaya<sup>9</sup>



Bagian tentang “Selubung Bangunan” dari buku panduan ini memuat petunjuk lebih lanjut untuk mengetahui rasio dari bidang Jendela ke Dinding yang tepat.

Mengoptimalkan ukuran jendela untuk pencahayaan alami dapat menghemat energi untuk operasional bangunan serta biaya konstruksi, karena konstruksi dinding biasanya lebih murah daripada kaca. Banyak standar global menetapkan batas maksimum dari rasio bidang jendela ke dinding (Window to Wall Ratio-WWR) antara 25% dan 50%.

Bahkan jendela kaca ganda low-e berkinerja tinggi dengan insulasi (R-0.5 Km<sup>2</sup>/W) memiliki kinerja termal yang sama seperti dinding bata standar tanpa insulasi (R-0.4 Km<sup>2</sup>/W).

<sup>8</sup> Sumber: Jatmika Adi Suryabrata.

<sup>9</sup> Sumber: Horn, Abby Vogen. Energy Center of Wisconsin. Daylighting Design “...light every building using the sky. (<http://www.daylighting.org/usgbc2008presentation.pdf>)



Rasio Bidang Jendela ke Dinding sekitar 30%



Rasio Bidang Jendela ke Dinding sekitar 70%



**G A M B A R . 0 8**

Tipikal Bangunan Jakarta dengan Rasio Jendela ke Dinding<sup>10</sup>

Peraturan bangunan yang ada menekankan perletakan jendela dan skylight dirancang sedemikian rupa sehingga sebagian besar dari interior bangunan mendapatkan cahaya alami, tanpa menyebabkan peningkatan beban pendinginan yang signifikan dan ketidaknyamanan visual.

**G A M B A R . 0 9**

Hubungan Antara Penetrasi Cahaya Alami dengan Konfigurasi Jendela



Acuan Standar SNI 03-2396 memberikan beberapa panduan desain pada bangunan untuk mendapatkan pencahayaan alami yang baik. Panduan tambahan termasuk daylight factor disajikan pada Tabel 1, 2, dan 3 dari standar ini.

**C. Properti Kaca**

Transmisi cahaya (Visible Transmittance - VT) menunjukkan persentase cahaya yang dimungkinkan menembus kaca. Meningkatkan transmisi cahaya juga biasanya meningkatkan koefisien perolehan panas matahari (Solar Heat Gain Coefficient - SHGC) dari kaca, sehingga menyebabkan lebih banyak panas matahari masuk ke dalam ruangan. Oleh karena itu, VT dan SHGC dari kaca harus dipertimbangkan saat memilih produk kaca. Pilihan kaca yang tepat untuk bangunan besar di Jakarta harus memiliki transmisi cahaya (VT) yang tinggi dan SHGC yang rendah.

<sup>10</sup> Sumber: Jatmika Adi Suryabrata.

#### D. Peneduh Kaca

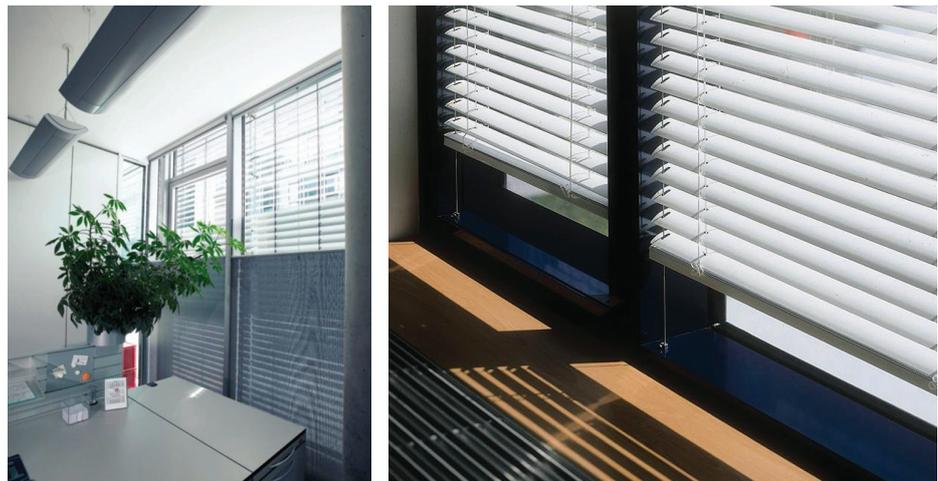
Pencahayaan alami memiliki sifat dinamis karena pergerakan matahari dan awan di langit serta konfigurasi jendela atau skylight. Akibatnya, jumlah dan arah cahaya alami dalam ruangan dapat bervariasi secara signifikan. Karena radiasi matahari langsung tidak diinginkan, pendekatan desain yang paling logis adalah dengan menaungi jendela untuk sedapat mungkin mencegah masuknya sinar matahari langsung ke dalam bangunan. Secara umum, peneduh eksterior lebih banyak menghemat energi pendinginan daripada peneduh interior, karena menghentikan panas matahari sebelum memasuki ruangan ber AC.

Peneduh interior (blinds, roller shades) sangat efisien untuk mencegah silau (glare), tetapi kecenderungan sebagian penghuni adalah membiarkan tirai tetap tertutup bahkan ketika tidak silau. Akibatnya, cahaya alami yang diperlukan untuk penerangan juga ikut diblokir, dan lampu dinyalakan meskipun cahaya alami diluar bangunan sangat terang.

Jika tirai (blind) horizontal digunakan untuk mengendalikan silau, tirai tersebut dapat diposisikan sedemikian rupa sehingga memantulkan cahaya ke langit-langit ruangan.

#### G A M B A R . 1 0

Tirai (Blind) Horizontal untuk Mengarahkan Pantulan Cahaya



Panduan perancangan lainnya tentang peneduh jendela tersedia di pembahasan tentang “Selubung Bangunan”.

Cara yang efisien untuk memblokir radiasi matahari langsung namun tetap memungkinkan penggunaan cahaya alami untuk penerangan, adalah dengan menggunakan lightshelves. Lightshelves adalah peneduh horizontal interior dari bahan yang reflektif.

Seperti ditunjukkan pada contoh di Gambar 11, lightshelves pada jendela yang menghadap utara dan selatan dapat memblokir sinar matahari langsung dan memantulkan cahaya alami ke area yang lebih dalam dari ruangan, sehingga menghasilkan suasana interior yang lebih cerah tanpa silau.

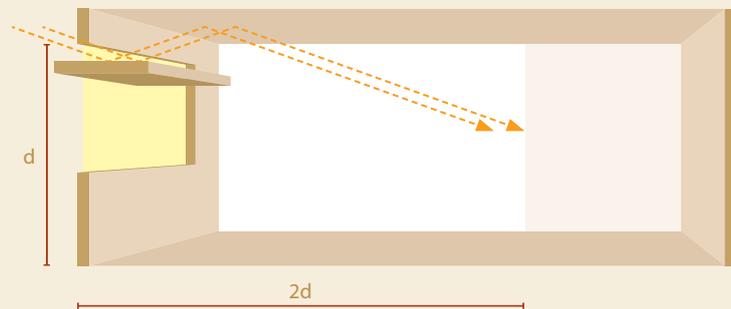
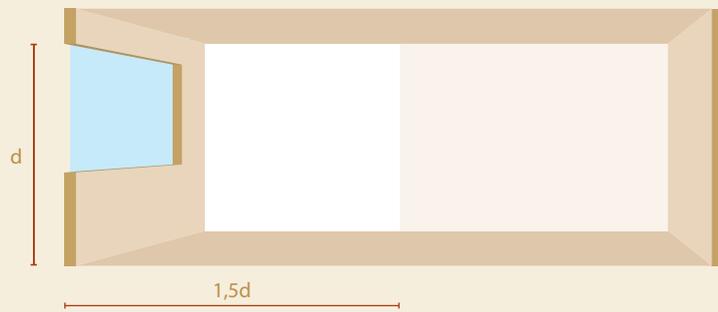
G A M B A R . 1 1

Reflektor Cahaya (Lightshelves) di Sisi Selatan dan Utara Pada Sebuah Ruang Kelas<sup>11</sup>



G A M B A R . 1 2

Jika lightshelves digunakan, penetrasi cahaya alami bisa menjadi  $2d$



G A M B A R . 1 3

Integrasi Sistem Pencahayaan Alami dan Buatan yang Efisien

Perhatikan lampu pada zona perimeter yang dimatikan karena tingkat cahaya alami yang cukup<sup>12</sup>



<sup>11</sup> Sumber: Jatmika Adi Suryabrata.

<sup>12</sup> Sumber: Jatmika Adi Suryabrata.

Sebuah cara efektif untuk mendistribusikan cahaya alami adalah menempatkan jendela tinggi di dalam ruangan dan memantulkannya ke langit-langit. Sebuah aplikasi desain yang baik yang didasarkan pada prinsip ini adalah membagi jendela menjadi dua bagian secara vertikal, dengan menggunakan kosen jendela atau lightshelves. Bagian atas jendela (untuk pencahayaan alami) menggunakan kaca dengan transmisi cahaya yang lebih tinggi, sedangkan bagian bawah jendela untuk "vision" menggunakan kaca dengan transmisi cahaya (VT) dan koefisien perolehan panas matahari (SHGC) yang lebih rendah. Masing-masing jendela dengan fungsi yang berbeda tersebut dapat dipasang tirai secara terpisah. Ketika diperlukan kontrol terhadap silau dan sinar matahari langsung maka tirai pada jendela bawah bisa ditutup dan yang atas dibiarkan terbuka. Pada beberapa kasus, tirai dengan sudut pantul tetap (fixed angle blinds) dapat digunakan untuk jendela atas. Sebagai alternatif, tergantung pada sudut matahari, jendela atas dapat dioperasikan tanpa menggunakan tirai.

G A M B A R . 1 4

Pilihan Desain Jendela untuk Pencahayaan Alami

(Efektifitas lebih tinggi pada jendela-jendela di sebelah kanan)

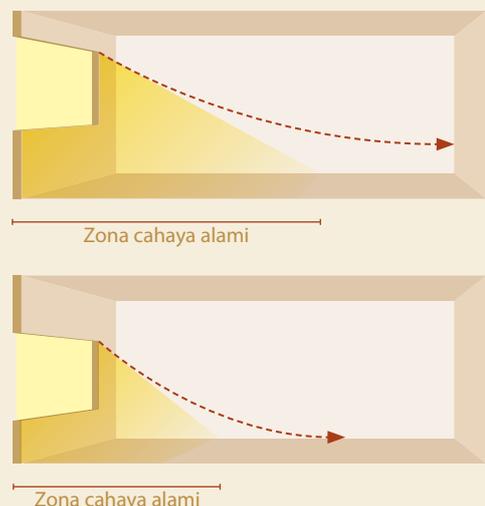


#### E. Ketinggian Kosen Atas Jendela

Penetrasi cahaya alami sangat tergantung pada ketinggian kosen atas jendela. Sebagai aturan praktis, kedalaman penetrasi pencahayaan alami dengan tingkat pencahayaan yang cukup adalah 1,5 kali ketinggian kosen jendela atas. Di sisi lain, kaca di bawah 80 cm biasanya tidak berkontribusi pada kinerja pencahayaan alami sehingga sebisa mungkin dihindari.

G A M B A R . 1 5

Ketinggian Jendela dan Penetrasi Cahaya Alami



#### F. Denah Lantai dan Tata Letak Ruang

Denah bangunan yang lebih tipis memungkinkan distribusi cahaya alami untuk sebagian besar ruangan sehingga dapat menghemat penggunaan energi untuk pencahayaan secara signifikan.

G A M B A R . 1 6

Gambar Denah yang Menunjukkan Kinerja Pencahayaan Alami pada Denah Bangunan Tipis vs Bangunan Tebal



Pada bangunan perkantoran, penempatan area open layout pada zona perimeter dekat jendela dan private office pada zona dalam memungkinkan distribusi pencahayaan alami yang lebih luas. Penggunaan partisi interior yang transparan juga membantu penetrasi cahaya alami.

G A M B A R . 1 7

Partisi-Partisi Internal yang Transparan<sup>13</sup>



Beragam alat bantu perancangan (design tools) dan alat uji untuk perancangan pencahayaan alami tersedia di Daylighting Collaborative, Daylighting Design Aids (<http://www.daylighting.org/designaids.php>)

<sup>13</sup> Sumber: Jatmika Adi Suryabrata.

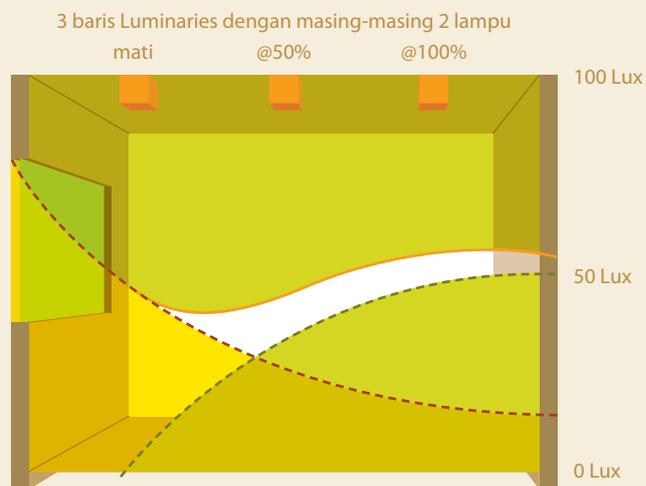
## KONTROL PENCAHAYAAN ALAMI

Merancang sebuah bangunan dengan akses cahaya alami yang baik merupakan langkah yang penting, namun hal ini tidak menjamin penghematan energi. Bahkan jika sebuah ruangan mendapatkan cahaya alami yang cukup, beberapa penghuni mungkin tidak mematikan lampu secara proaktif, sehingga tidak mengurangi biaya energi. Penghematan energi hanya tersedia jika lampu-lampu dimatikan atau diredupkan. Meskipun ini dapat dilakukan secara manual, penghematan energi lebih besar dimungkinkan dengan menggunakan sensor cahaya yang ditempatkan secara strategis di dalam ruangan. Sensor ini meredupkan atau mematikan lampu untuk mempertahankan tingkat cahaya yang diinginkan. Penggunaan peredupan menerus (continuous dimming) menghasilkan penghematan lebih besar dibandingkan dengan peredupan bertingkat (stepped on-off), tetapi juga lebih mahal untuk diterapkan.

GAMBAR . 18

Tipikal Distribusi  
Cahaya dalam Sistem  
Peredupan Bertingkat  
(Stepped On-off System)

- Cahaya alami
- Cahaya lampu
- Total



Permasalahan potensial pada penggunaan sistem kontrol peredupan bertingkat adalah perasaan terganggu dari pengguna karena lampu yang tiba-tiba mati, saat tingkat pencahayaan alami mencukupi. Dengan sistem peredupan menerus, tingkat cahaya lampu diatur secara bertahap sehingga tingkat cahaya secara keseluruhan (lampu listrik + cahaya alami) dapat dipertahankan tanpa perubahan yang mendadak. Dengan demikian, perubahan tingkat pencahayaan terjadi secara perlahan dan biasanya tidak dirasakan oleh pengguna. Namun sistem tersebut memerlukan ballast yang harganya lebih mahal daripada ballast biasa.

TABEL . 02

Dampak Sistem Pencahayaan  
Alami yang Terintegrasi pada  
Total Penghematan Energi

Dampak Sistem Pencahayaan Alami yang Terintegrasi pada  
Total Penghematan Energi

	Kantor	Sekolah
Tanpa Cahaya Alami	0,0%	0,0%
Dengan Cahaya Alami	4,9%	3,5%

Dalam sebuah bangunan kantor tipikal dengan pencahayaan alami yang baik maka kontrol peredupan menerus (continuous dimming) dapat mengurangi energi pencahayaan hingga 50%, sedangkan kontrol bertahap (stepped on-off) dapat mengurangi hingga 36%.

Panduan lebih banyak tentang desain dan kontrol pencahayaan alami tersedia dari sumber-sumber berikut:

- Energy Design Resources. Your Guide to Energy Efficient Design Practices. Daylighting Design (<http://energydesignresources.com/technology/daylighting-design.aspx>)
- Daylighting Collaborative. Light Every Building Using the Sky (<http://www.daylighting.org>)

## PENGGURANGAN DAYA PENCAHAYAAN TERPASANG

Tujuan utama desain pencahayaan adalah menyediakan cahaya dalam jumlah yang cukup untuk bekerja di dalam ruangan. Tingkat cahaya minimum yang dapat diterima (iluminans) ditentukan oleh standar seperti tercantum pada Tabel 1 dari SNI 03-6197. Sistem pencahayaan dapat dirancang untuk memenuhi persyaratan minimum ini, dan jangan berlebihan karena dapat berakibat pada meningkatnya penggunaan energi.

Persyaratan pencahayaan ini dapat dicapai dengan berbagai tingkat efisiensi yang berbeda. Melalui desain pencahayaan yang baik, tingkat pencahayaan yang diinginkan mungkin dicapai dengan kepadatan daya pencahayaan (Light Power Density - LPD) yang relatif rendah guna menghemat energi operasional tanpa mengorbankan kenyamanan visual.

TABEL 03

Dampak LPD (W/m<sup>2</sup>) pada Total Penghematan Energi<sup>14</sup>

Dampak LPD (W/m<sup>2</sup>) pada Total Penghematan Energi

LPD (W/m <sup>2</sup> )	Kantor	Retail	Hotel	Rumah Sakit	Apartemen	Sekolah
20		-10,0%				
17			0,0%			
15	0,0%	0,0%		0,0%		-5,0%
13				4,6%		0,0%
10,8	7,3%	8,3%	7,0%	9,5%	0,0%	5,3%
8	12,9%		10,0%	15,9%	5,6%	12,2%
6					9,6%	

<sup>14</sup> Sumber: Analisis Energi IFC.

## G A M B A R . 1 9

Penghematan Energi  
Melalui Pilihan Desain  
Pencahayaannya dengan  
Tingkat Cahaya yang Sama



Pada Gambar 19 di atas, interior hasil olahan komputer memperlihatkan suasana kantor dengan tingkat cahaya yang sama tetapi dengan LPD yang jauh berbeda. Satu sistem menggunakan fluorescent (lampu neon) 2x36 W yang memproduksi  $14.54 \text{ W/m}^2$  (atas), sementara yang lain hanya menggunakan LED 1x27W dengan konsumsi energi sebesar  $6.54 \text{ W/m}^2$  (bawah).

Alat bantu perancangan (design tools) sistem pencahayaan yang gratis dan murah banyak tersedia, seperti dalam daftar berikut ini. Dengan alat bantu perancangan tersebut, tingkat pencahayaan dan kepadatan daya pencahayaan dapat dihitung dengan cepat dan mudah.

- Lightswitch Wizard NRC ([www.buildwiz.com](http://www.buildwiz.com))
- Daysim NRC ([www.daysim.com](http://www.daysim.com))
- COMcheck-EZ PNW National Laboratory ([www.energycodes.gov](http://www.energycodes.gov))
- SPOT Architectural Energy Co. ([www.archenergy.com/SPOT](http://www.archenergy.com/SPOT))

Persyaratan tingkat pencahayaan biasanya ditentukan untuk bidang kerja (task lighting), misalnya meja kantor, jalur industri perakitan dll. Tingkat pencahayaan umum (general/ambient lighting) sekitar dan di luar bidang kerja bisa dirancang dengan tingkat pencahayaan yang lebih rendah. Sebuah contoh pendekatan design yang biasa digunakan adalah merancang tingkat pencahayaan umum sebesar 100-150 lux, dan tingkat pencahayaan pada bidang kerja sebesar 350 lux. Pendekatan ini sering disebut sebagai “task-ambient lighting system”.

## GAMBAR . 2 0

Suspended T5 2x25W fluorescent. Sebagian cahaya diarahkan ke atas untuk menciptakan suasana interior yang lebih terang dan luas dan tingkat pencahayaan yang cukup pada bidang kerja (300 lux), dengan LPD sebesar 3.3 W/m<sup>2</sup>



## GAMBAR . 2 1

Pencahayaan bidang kerja: LED; output cahaya = 282 lm; daya = 8.7W; tingkat pencahayaan desktop = 350 lux. Pencahayaan umum: 2 x 14 W T5; daya = 32W; output cahaya = 2400 lm. LPD total = 2.5 W/m<sup>2</sup>



Gambar 22 di bawah ini menunjukkan sistem pencahayaan yang mengintegrasikan pencahayaan alami dan tata letak perabotan untuk menciptakan sistem pencahayaan yang hemat energi dengan suasana pencahayaan yang nyaman. Cahaya alami dari jendela terintegrasi secara baik dengan tata letak meja kerja. Penggunaan lampu gantung (suspended lighting) yang memancarkan sebagian cahaya ke atas menciptakan suasana pencahayaan yang lebih nyaman dan memberikan kesan ruangan yang lebih lapang. Ukuran jendela dioptimalkan untuk memberikan pencahayaan yang cukup tanpa disertai silau.

## GAMBAR . 2 2

Ruang Kerja di Kedutaan Austria Jakarta<sup>15</sup>



<sup>15</sup> Sumber: Jatmika Adi Suryabrata.

Persyaratan tingkat pencahayaan juga terkait dengan kenyamanan visual dari para penghuni. Tabel 1 dari SNI 03-6197 menunjukkan tingkat cahaya minimum untuk jenis-jenis ruangan yang berbeda. Tingkat penerangan yang disyaratkan adalah persyaratan minimum yang dibutuhkan pada permukaan bidang kerja untuk melaksanakan tugas dengan baik. Setiap penerangan tambahan yang disediakan pada dasarnya adalah pemborosan, dan dapat menyebabkan ketidaknyamanan visual akibat silau.

Perlu dicatat bahwa tingkat terang cahaya yang diinginkan dapat dicapai dengan berbagai tingkat konsumsi energi. Tata letak pencahayaan yang dirancang dengan baik, disertai dengan penggunaan lampu dan rumah lampu yang efisien akan mengkonsumsi listrik lebih sedikit untuk memberikan tingkat terang yang diinginkan.

## PENGGUNAAN LAMPU DAN RUMAH LAMPU YANG EFISIEN

Langkah penting lainnya dalam mengoptimalkan penggunaan energi pencahayaan adalah memilih lampu dan rumah lampu yang tepat.

### EFISIENSI LAMPU

Pemilihan sumber cahaya atau lampu yang tepat sangat penting dalam desain pencahayaan untuk menciptakan suasana interior yang nyaman dan menghemat energi. Ada sejumlah karakteristik sumber cahaya yang harus dipertimbangkan pada saat merancang pencahayaan:

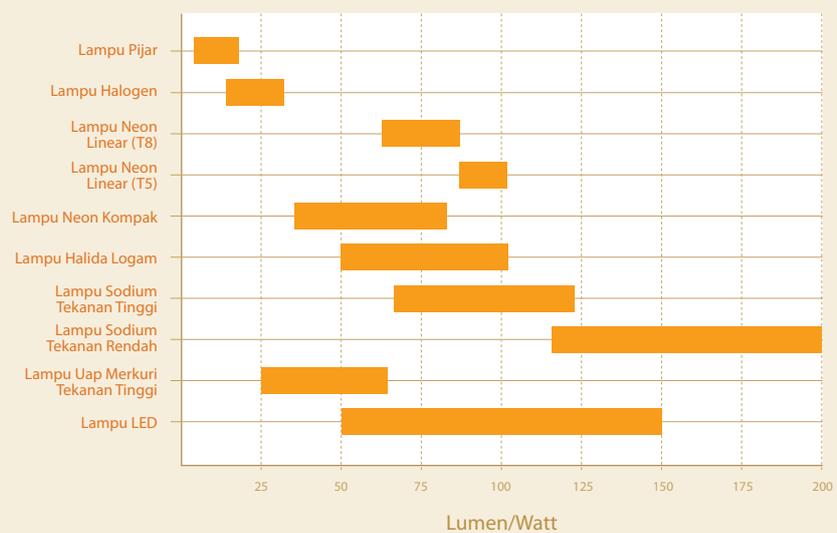
- **Efisiensi sumber cahaya (luminous efficacy):** efisiensi lampu dalam mengkonversi listrik menjadi cahaya yang terlihat. (Lumens/watt)
- **Umur lampu:** jumlah jam operasi yang diperlukan sebelum total cahaya yang dikeluarkan oleh lampu berkurang sampai tingkat tertentu.
- **Indeks penghasil warna (color rendering index - CRI):** kemampuan sumber cahaya untuk mereproduksi warna sesungguhnya dari berbagai objek dibandingkan dengan sumber cahaya yang ideal atau cahaya alami.
- **Warna cahaya (correlated color temperature - CCT):** tampilan warna sumber cahaya. Ini sering ditunjukkan sebagai cahaya yang hangat (warm), putih hangat (warm white) dan sejuk (cool daylight).

Untuk konservasi energi, efisiensi sumber cahaya merupakan kriteria utama, sedangkan 3 karakteristik lainnya berdampak pada anggaran proyek, biaya penggantian dan suasana. Lampu dengan efisiensi yang tinggi menggunakan lebih sedikit energi. Namun, pemilihan lampu juga harus mempertimbangkan semua kriteria yang disebutkan di atas.

Warna cahaya (color temperature) dan indeks penghasil warna (color rendering index) merupakan indikator-indikator warna cahaya dan bagaimana kesan warna suatu benda terlihat di bawah sinar lampu. Meskipun tidak mempengaruhi konsumsi energi secara langsung, warna cahaya dan indeks penghasil warna sangat berpengaruh pada kenyamanan visual dan kualitas pencahayaan. Misalnya, lampu sodium (high pressure and low pressure sodium lamps) memiliki efisiensi yang sangat tinggi tetapi sangat buruk dalam hal indeks penghasil warna (CRI), sehingga tidak sesuai untuk aplikasi interior. Sebagian besar lampu fluorescent memiliki efisiensi dan indeks penghasil warna (CRI) yang sangat baik.

G A M B A R . 2 3

Efisiensi Sumber Cahaya - Luminous Efficacy (lm/W)<sup>16</sup>



Beberapa lampu efisiensi tinggi yang tersedia tercantum di bawah ini:

- **Lampu High Intensity Discharge (HID)**  
Salah satu jenis lampu yang paling efisien dan banyak digunakan untuk sistem pencahayaan khusus karena kuat terang yang sangat tinggi. Lampu ini paling cocok untuk ruangan dengan langit-langit tinggi serta aplikasi sistem pencahayaan eksterior.
- **Lampu Fluorescent T8**  
Berbagai tipe tersedia mulai dari 58W hingga 10W, termasuk varian dengan kinerja tinggi yang menyediakan lumen awal yang lebih tinggi dibandingkan dengan T8 standar. Sebagian lampu dengan sistem watt rendah mungkin tidak bisa diredukkan.
- **Lampu Fluorescent T5**  
Lampu T5 atau lampu T5 dengan output tinggi (HO) menawarkan lumens per watt yang sama atau lebih tinggi dibandingkan dengan lampu T8. Karena diameternya lebih kecil, lampu ini terlihat lebih terang sehingga membutuhkan pengendalian silau yang tepat.

<sup>16</sup> Sumber: Energy Efficiency Best Practice Guide Lighting (Panduan Kebiasaan Terbaik Pencahayaan Hemat Energi).

- **Lampu Fluorescent kompak (CFL)**  
Menawarkan efisiensi sekitar 30% lebih rendah (lumens/watt) dibandingkan dengan fluorescent linier, tetapi sangat cocok sebagai pengganti lampu pijar untuk dipasang pada rumah lampu tabung atau rumah lampu tertanam (recessed).
- **Lampu Light Emitting Diodes (LED)**  
Karena lampu LED berumur panjang dan pancaran cahaya yang terarah, menjadi LED populer dan layak untuk beberapa aplikasi khusus, seperti lampu kulkas, tanda keluar, lampu kerja dll. Jika sifat cahaya yang terarah dari lampu ini dimanfaatkan dengan baik, lampu LED dapat berkinerja lebih baik daripada fluorescent linear.

Kriteria lain untuk pemilihan lampu adalah potensinya yang membahayakan lingkungan setelah tidak digunakan. Sebagian besar lampu fluorescent, kecuali beberapa tipe dengan merkuri rendah, memiliki kadar merkuri tinggi yang dapat mencemari aliran air dan kehidupan biota laut. Sementara, lampu LED tidak mengandung merkuri. Meskipun lampau LED mengandung semikonduktor yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, umur lampu LED yang lebih panjang berarti kurangnya jumlah sampah lampu LED yang akan berakhir di TPA dibandingkan dengan lampu fluorescent.

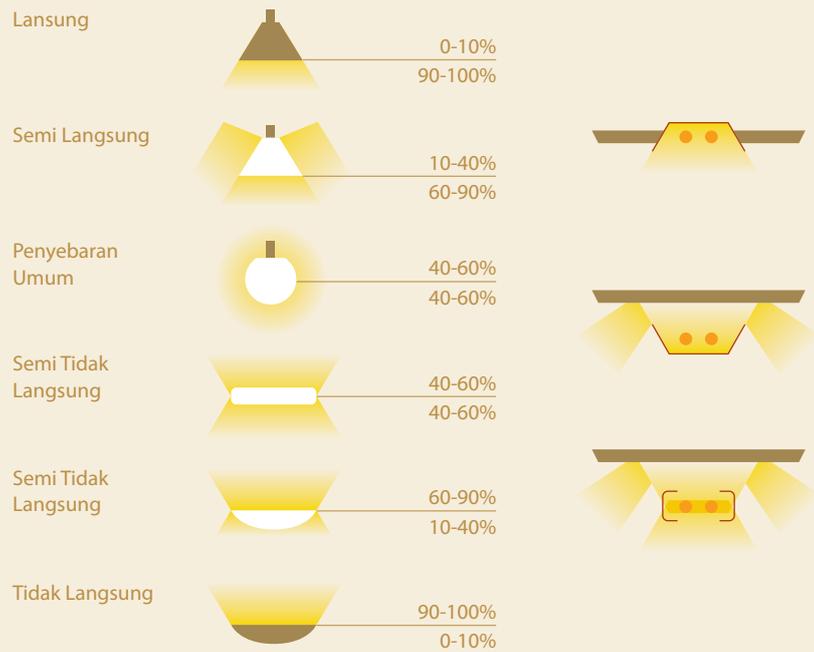
---

**E F I S I E N S I  
R U M A H  
L A M P U** Efektivitas sistem pencahayaan juga ditentukan oleh seberapa baik cahaya yang dihasilkan oleh lampu dapat didistribusikan oleh rumah lampu. Efisiensi ini diukur dengan Light Output Ratio (LOR), yang merupakan rasio antara output lumen dari lampu dengan total lumen yang didistribusikan keluar dari rumah lampu. SNI 6197 merekomendasikan minimal LOR sebesar 60%. LOR untuk rumah lampu dapat dilihat pada kemasannya atau di situs web dari produsen.

Konfigurasi distribusi cahaya rumah lampu yang umum adalah “langsung” (direct), “tidak langsung” (indirect) dan “langsung-tidak langsung” (direct-indirect). Sebagian besar tipe rumah lampu dengan distribusi cahaya “tidak langsung” dan “langsung-tidak langsung” merupakan sistem digantung (suspended lighting). Sebuah varian rumah lampu “tidak langsung” adalah rumah lampu tertanam dengan cahaya tidak langsung (recessed indirect fixture) yang dapat menggantikan tipikal panel troffer yang banyak digunakan.

G A M B A R . 2 4

Konfigurasi Distribusi Cahaya Rumah Lampu



Rumah lampu dengan distribusi cahaya langsung ke bawah biasanya paling efisien dalam menerangi permukaan bidang kerja, karena mengarahkan sebagian besar cahaya langsung pada permukaan bidang kerja tanpa memantulkannya ke sekitar ruangan. Namun, rumah lampu tersebut dapat menyebabkan silau jika tidak dirancang dengan baik. Rumah lampu “tidak langsung” dan “langsung-tidak langsung” juga mendistribusikan sebagian cahaya ke langit-langit sehingga menciptakan nuansa ruangan yang terang. Seringkali ruangan dengan langit-langit yang terang dianggap memiliki tingkat pencahayaan yang lebih tinggi dari sesungguhnya. Dalam situasi seperti itu, tingkat pencahayaan mungkin dapat diturunkan tanpa mengurangi kenyamanan dan tetap dapat diterima oleh penghuni. Rumah lampu dengan distribusi “tidak langsung” yang ditanam (recessed) dapat menyebarkan cahaya secara tidak langsung dengan baik, tetapi tidak efisien dalam menerangi langit-langit.

## GAMBAR . 25

Lampu yang diarahkan ke bawah (downlight) yang sangat terarah dapat menciptakan lingkungan visual yang suram meskipun tingkat cahaya pada desktop adalah sangat tinggi



## REFLEKTANSI PERMUKAAN

Sebagian cahaya dari lampu yang mencapai permukaan bidang kerja merupakan hasil pantulan dari permukaan di sekitarnya, seperti dinding dan langit-langit. Dengan demikian, nilai reflektansi yang tinggi dari permukaan ini akan menghasilkan lebih banyak cahaya yang mencapai bidang kerja. Nilai reflektansi yang dianjurkan untuk permukaan interior ditunjukkan pada Gambar 26, sedangkan Gambar 27 menunjukkan dampak tipikal perbedaan nilai reflektansi interior pada tingkat pencahayaan dan suasana interior dengan sistem pencahayaan yang sama.

## GAMBAR . 26

Daya Pemantulan Permukaan Interior yang Dianjurkan oleh Buku Pegangan Pencahayaan IESNA



## G A M B A R . 2 7

Permukaan-permukaan interior yang lebih gelap menyebabkan interior yang suram (bawah) meskipun sistem pencahayaannya persis sama



## J A R A K S U M B E R C A H A Y A

Intensitas cahaya pada sebuah bidang sangat dipengaruhi oleh jaraknya terhadap sumber cahaya. Menurut “hukum kuadrat terbalik” (inverse square law), intensitas cahaya berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari sumbernya. Ini berarti bahwa rumah lampu yang dirancang untuk menyediakan 300 lux pada permukaan kerja bila dipasang pada ketinggian langit-langit 3 meter, akan memberikan tingkat cahaya sekitar 44% lebih tinggi (432 lux) jika rumah lampu tersebut digantung 0,5 meter. Demikian pula rumah lampu yang dipasang pada ketinggian 3 meter akan menghasilkan tingkat pencahayaan hampir 3 kali lipat dibandingkan dengan rumah lampu serupa yang dipasang pada ketinggian 5 meter. Dengan demikian rumah lampu yang digantung lebih rendah akan memerlukan output cahaya yang lebih rendah dan penggunaan energi yang lebih sedikit. Prinsip ini juga dapat diamati pada lampu kerja, karena lampu ini memberikan pencahayaan yang relatif tinggi bahkan dengan lampu berdaya rendah.

## G A M B A R . 2 8

Sistem Pencahayaan yang Digantung di Ruang Kantor Terbuka<sup>17</sup>



<sup>17</sup> Sumber: Jatmika Adi Suryabrata.

Di sisi lain, pilihan lampu dan rumah lampu yang tidak tepat untuk langit-langit yang tinggi dapat menyebabkan pemborosan cahaya dan energi. Gambar 29 memperlihatkan sistem pencahayaan yang menggunakan rumah lampu dan jarak pemasangan yang persis sama untuk ruang cafe dengan langit-langit rendah dan lobi dengan langit-langit tinggi. Akibat berlakunya “hukum kuadrat terbalik” (inverse square law) tingkat cahaya tingkat pencahayaan pada area lobi hanya sekitar 11 lux, sedangkan pada area cafe bisa mencapai sekitar 100 lux.

#### G A M B A R . 2 9

Contoh Pengaruh “Hukum Kuadrat Terbalik” pada Ruang yang Memiliki Ketinggian Langit-Langit Bervariasi<sup>18</sup>



Selain efisiensi lampu dan rumah lampu, efisiensi ballast juga harus dipertimbangkan. Untuk lampu fluorescent, rapid start ballast biasanya yang paling hemat energi, dan paling kecil pengaruhnya terhadap umum lampu. Instant start Ballast dapat digunakan bilamana lampu dibiarkan hidup untuk waktu lama. Dimming Ballast dapat digunakan jika diinginkan peredupan manual atau peredupan secara menerus (continuous dimming) sesuai tingkat pencahayaan alami.

## P E N G G U N A A N K O N T R O L P E N C A H A Y A A N

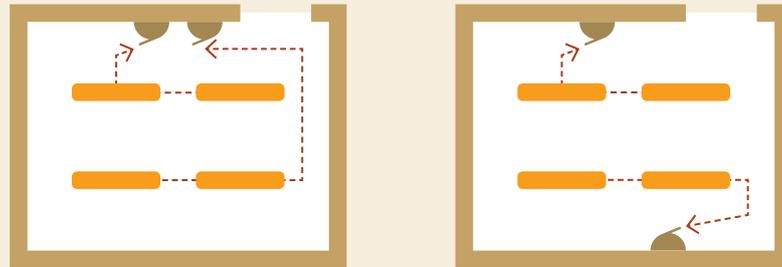
Kontrol pencahayaan merupakan cara untuk mematikan atau meredupkan lampu ketika tidak diperlukan. Kontrol paling sederhana dapat berupa saklar ganda yang dapat mematikan sebagian lampu dalam satu rumah lampu, atau sebagian rumah lampu dalam satu ruangan. Sistem kontrol manual ini sangat sederhana dengan biaya instalasi yang murah. Namun, efektifitas sistem manual ini sangat tergantung pada perilaku pengguna. Jika pengguna ruangan tidak mematikan lampu ketika tidak diperlukan maka penghematan energi tidak akan terjadi.

<sup>18</sup> Sumber: Jatmika Adi Suryabrata.

Sebuah variasi kecil dari strategi ini adalah menempatkan beberapa saklar di beberapa lokasi yang berbeda, sehingga pengguna tidak diperbolehkan menghidupkan semua lampu sekaligus. Contoh dari pendekatan “saklar strategis” ini adalah penempatan saklar yang terpisah dalam ruang kelas. Salah satu saklar yang mengendalikan 1/3 dari jumlah lampu terpasang diletakkan dekat dengan papan tulis sehingga guru dapat leluasa mengendalikannya.

#### G A M B A R . 3 0

Saklar Ganda (kiri) dan Saklar Strategis (kanan)



Dalam situasi di mana pola penggunaan ruangan berlangsung secara konsisten, kontrol waktu secara otomatis mungkin digunakan untuk mematikan lampu pada waktu tertentu. Kontrol ini dapat diimplementasikan pada ruangan secara individu atau terhadap keseluruhan bangunan melalui sistem pengelolaan gedung terpadu. Biasanya sistem seperti ini memiliki sistem peringatan sebelum lampu dimatikan. Misalnya dengan lampu yang berkedip atau mati sebagian, sehingga pengguna ruangan bisa secara manual membatalkan pemadaman lampu secara otomatis. Karena sistem ini kurang bergantung pada perilaku pengguna, penghematan energi dapat lebih diandalkan.

Sering menyalakan-matikan lampu bisa mempersingkat masa pakai lampu fluorescent dan lampu HID tetapi tidak secara signifikan mempengaruhi umur lampu pijar dan lampu LED.

Jika pada siang hari ketika ruangan sering ditinggalkan kosong, sensor orang dapat digunakan untuk menghidupkan dan mematikan lampu. Sensor inframerah (memonitor gerakan) atau sensor teknologi ganda (termasuk panas tubuh dengan penginderaan ultrasound) bisa dipasang untuk mengendalikan semua atau beberapa lampu didalam sebuah ruangan. Sistem ini bekerja paling baik jika sensor dapat memonitor semua penghuni di dalam ruangan. Biasanya sistem ini diaplikasikan pada toilet, ruangan stok barang dan kantor pribadi.

Variasi lainnya adalah kontrol sensor orang “tingkat ganda” yang biasa digunakan dalam ruangan kecil seperti kantor pribadi. Ini menggabungkan saklar tingkat ganda dan teknologi sensor orang dalam satu panel yang terpasang pada dinding dan memungkinkan kontrol dalam beberapa tingkatan.

Informasi lebih lanjut tentang sistem ini dapat ditemukan di situs web dari berbagai produsen.<sup>19</sup>

Informasi lebih lanjut tentang lampu efisiensi tinggi tersedia di situs web Whole Building Design Guide.<sup>20</sup>

Informasi dan panduan lebih lanjut tentang desain dan kontrol pencahayaan tersedia di:

- ASHRAE/IESNA Standard User's Manual 2004
- Daylighting and Window Design - CIBSE Lighting Guide 1999
- CIBSE Code for Lighting, CIBSE 2002
- Advanced Lighting Guidelines, National Buildings Institute (NBI) 2001 ([www.newbuildings.org/lighting.htm](http://www.newbuildings.org/lighting.htm))
- Daylighting Design Guidelines, Daylighting Collaborative (<http://www.daylighting.org/designguidelines.php>)
- Sensors and Controls- Tips for Daylighting with Windows, LBL, 1997. (<http://windows.lbl.gov/daylighting/designguide/section8.pdf>)

---

<sup>19</sup> Dual-Circuit Switch with Occupancy/Partial-On Sensor. (<http://www.lutron.com/TechnicalDocumentLibrary/369758a.pdf>)

<sup>20</sup> Whole Building Design Guide, A Program of the National Institute of building Sciences. Energy Efficient Lighting. (<http://www.wbdg.org/resources/efficientlighting.php>)



DINAS PENATAAN KOTA  
PEMERINTAH PROVINSI DKI JAKARTA

Jalan Taman Jati Baru No. 1  
Jakarta Barat

t. (62-21) 856 342

f. (62-21) 856 732

[www.dppb.jakarta.go.id](http://www.dppb.jakarta.go.id)