

BAB II

KAJIAN TEORITIK

II.1. JENIS BANGUNAN RUMAH TINGGAL

Berdasarkan bentuk lahan dan bangunannya, rumah tinggal dibedakan menjadi 4 jenis¹, yaitu :

a) Bangunan Tunggal

Yaitu bangunan yang bentuknya tidak saling berhubungan dengan bangunan tetangga dan menyisakan lahan yang cukup untuk mendapatkan udara dan cahaya alami serta mempunyai 4 view pada bangunan.

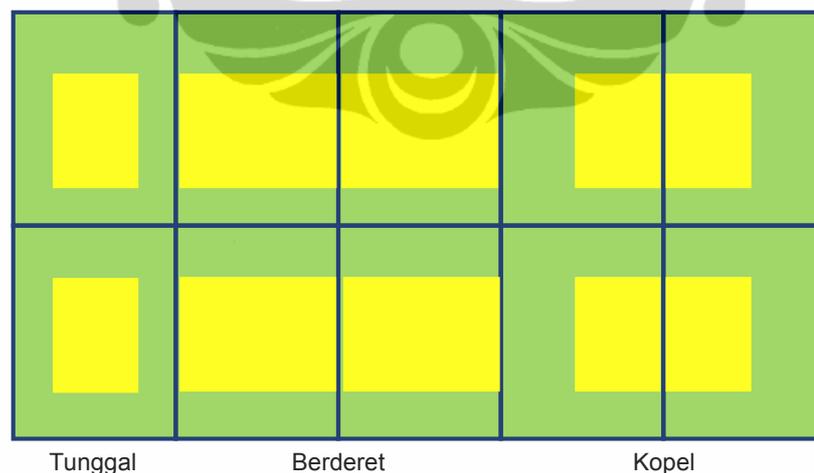
b) Bangunan Berderet/Dempet

Yaitu kumpulan bangunan yang saling berhubungan dengan dinding bangunan tetangga secara Dempet pada sisi samping kanan dan kiri bangunan dalam satu kelompok (blok).

c) Bangunan Kopel

Yaitu bangunan yang menempel pada salah satu sisi bangunan tetangga sehingga mempunyai 3 view atau arah pandang.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.1. di bawah ini :



Gambar 2.1. Jenis Bangunan Rumah Tinggal
(Sumber : Metropolitan Design Center, College of Architecture and Landscape Architecture,
University of Minnesota)

¹ <http://www.designcenter.umn.edu/housingtypes>

II.2. PENGERTIAN CAHAYA

Cahaya dapat diartikan sebagai bagian dari spektrum elektromagnet yang dapat ditangkap oleh mata. Tingkatan dimana cahaya dikeluarkan oleh sumber cahaya dianalogikan oleh banyaknya air yang disemprotkan oleh selang². (lihat gambar 2.2)



Gambar 2.2. Cahaya dan analogi banyaknya air

(Sumber : *Heating, Cooling, Lighting, Design Methods For Architect*, Norbert Lechner, 2001)

Cahaya adalah pita kecil relatif dari radiasi elektromagnetik yang sangat sensitive bagi mata. Spektrum cahaya melebar mulai dari 380 nm (violet) sampai 780 nm (merah). Setiap panjang gelombang³ mempunyai penampilan warna yang berbeda, mulai dari gelombang pendek violet, selanjutnya biru, hijau, hijau kekuningan, orange, menuju ke gelombang panjang merah, spectrum dari cahaya matahari menjabarkan sebuah sekuen yang berkelanjutan.

Masuknya sinar matahari baik *diffuse* maupun sinar langsung ke dalam ruang akan bervariasi pula, tergantung di mana terdapat lubang cahaya pada bangunan yang berfungsi sebagai sumber cahaya. Lubang cahaya itu dapat terletak pada dinding luar bangunan (*sidelighting*) maupun pada atap (*toplighting*). Dari kondisi inilah karakteristik rancangan lubang cahaya pada fasade bangunan biasanya disertai dengan elemen pembayangan (*shading device*), jenis kaca, orientasi bangunan dan ketinggian lantai bangunan, secara langsung akan mempengaruhi distribusi dan besaran iluminasi di dalam ruang.

Di dalam kehidupan kita sehari-hari pada umumnya sumber pencahayaan yang kita butuhkan dapat diperoleh melalui :

- Cahaya alami, yaitu dengan memanfaatkan sinar matahari.
- Cahaya mekanis, yaitu dengan memanfaatkan energi listrik.

Kedua cara tersebut perlu kita pertimbangkan penggunaannya di dalam suatu bangunan karena kebutuhan pencahayaan untuk setiap ruang berbeda-beda

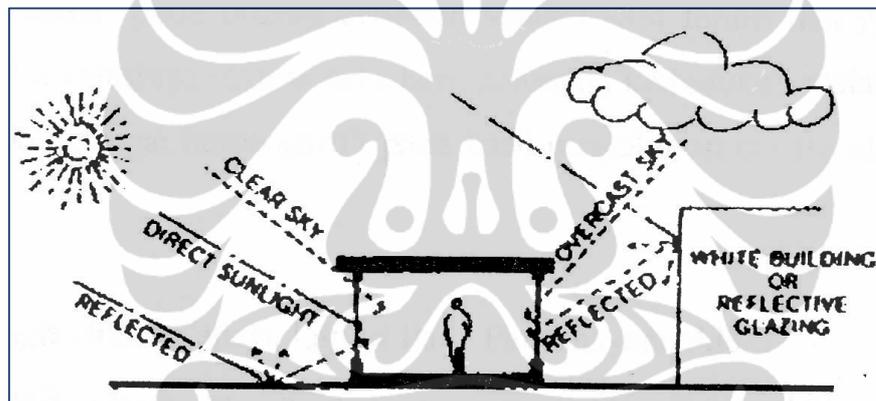
² Lechner, N, *Heating, Cooling, Lighting, Design Methods For Architect*, John Wiley & sons, 1991

³ Panjang gelombang diukur pada nanometer (nm) = 10^{-9} m = 10^{-7} cm

tergantung dari fungsi dan kegunaan ruangnya serta kegiatan atau aktifitas yang ada didalamnya. Sumber pencahayaan yang diperoleh secara alami jika kita dapat memanfaatkan dan mengendalikan secara baik dari awal perencanaan, maka akan dapat memberikan hasil yang cukup optimal pada bangunan tersebut. Dalam bangunan, pencahayaan alami ialah salah satu strategi yang paling penting untuk energi konservasi.

II.3. CAHAYA DAN TERANG ALAMI

Pencahayaan alami yang berasal dari matahari, yakni secara langsung DAN tidak langsung. Terang langsung adalah sinar dari matahari ke bangunan tanpa mendapat halangan apapun. Terang tidak langsung adalah pemantulan cahaya matahari oleh awan serta berbeda-beda pada bangunan dan di sekeliling bangunan⁴. (lihat gambar 2.3)



Gambar 2.3. Proses Cahaya sampai ke dalam Bangunan

(Sumber : *Heating, Cooling, Lighting, Design Methods For Architect*, Norbert Lechner, 2001)

Cahaya alami yang masuk ke dalam suatu ruang, bersumber dari 3 macam komponen utama yang terdiri dari :

- a) Komponen langit (*Sky Component* atau SC)
- b) Komponen refleksi luar (*Externally Reflected Component* atau ERC)
- c) Komponen refleksi dalam (*Internally Reflected Component* atau IRC)

⁴ Lechner, N, *Heating, Cooling, Lighting, Design Methods For Architect*, John Wiley & sons, 1991

Dengan demikian apabila dilihat dari posisi dan pergerakan matahari sepanjang tahun di kota-kota di pulau Jawa, maka matahari lebih dominan berada di sebelah utara.

II.4.1. Kondisi Langit untuk Cahaya Langit pada Pencahayaan Alami.

Kondisi langit untuk tujuan pencahayaan alami dapat diklasifikasikan menjadi:

- a) Langit tanpa awan (*CIE Clear*)
- b) Langit tertutup awan sebagian (*Intermediate*)
- c) Langit tertutup awan seluruhnya (*Overcast*)

Kondisi langit yang dapat dijadikan acuan untuk perhitungan perencanaan pencahayaan alami adalah kondisi langit yang tidak mudah berubah. Dan dari ketiga kondisi langit ini yang dapat dijadikan acuan adalah langit tertutup awan atau langit tanpa awan. Dan kedua kondisi langit ini kemudian disesuaikan lagi dengan letak geografisnya sehingga untuk letak geografis tertentu tersebut dapat diketahui kondisi langit mana yang lebih dominan muncul untuk dapat dijadikan acuan⁷.

II.4.2. Faktor Pencahayaan Alami Siang Hari

Tingkat pencahayaan di dalam ruangan (E_i) akibat pencahayaan alami sangat tergantung pada besarnya tingkat pencahayaan pada bidang horizontal di ruang terbuka (E_o) yang dipengaruhi oleh kondisi langit. Jumlah cahaya yang masuk ke dalam ruangan selalu berubah dari waktu ke waktu (tergantung pada waktu pagi, pagi – siang – sore dan juga keadaan cuaca pada saat itu), maka tingkat pencahayaan pada bidang kerja dalam ruangan itu pun akan selalu berubah. Namun demikian perbandingan tingkat pencahayaan pada bidang kerja dan tingkat pencahayaan di lapangan terbuka (pada saat yang sama) selalu mempunyai harga tetap.

II.4.3. Langit Perencanaan

Dalam merencanakan lubang cahaya agar tingkat pencahayaan di dalam ruangan sesuai dengan yang diinginkan, perencana membutuhkan data tentang besarnya tingkat pencahayaan pada bidang horizontal di tempat terbuka. Karena tingkat pencahayaan di tempat terbuka selalu berubah akibat

⁷ Soegijanto, Bangunan di Indonesia dengan Iklim Tropis Lembab ditinjau dari Aspek Fisika Bangunan, Dirjen Dikti, 1999

kondisi langit yang juga berubah-ubah maka akan sulit sekali melakukan perhitungan untuk merencanakan lubang cahaya. Untuk itulah diperuntukkan suatu langit perencanaan yang ditetapkan sebagai dasar untuk menghitung dan merancang lubang bukaan cahaya berdasarkan perbandingan tersebut. Tingkat kombinasi pada bidang horizontal yang ditimbulkan oleh cahaya langit, yang dapat terjadi atau terlampaui besarnya misalnya untuk 90% atau lebih dari selang waktu antara jam 08.00 sampai 16.00, pada umumnya dapat digunakan.

Kondisi langit semacam ini yang dapat menghasilkan nilai dekat minimum dari tingkat pencahayaan di tempat terbuka disebut Langit Perencanaan pada bidang horizontal⁸. Untuk Jakarta, Tangerang dan umumnya daerah tropis basah, kondisi yang paling tinggi prosentase terjadinya antara jam 08.00 sampai 16.00 wib adalah kondisi langit tertutup awan seluruhnya (*Overcast*).

II.5. RADIASI SINAR MATAHARI

Radiasi matahari adalah penyebab semua cirri umum iklim di bumi. Kekuatannya ditentukan oleh energy radiasi (insolasi) matahari, pemantulan pada permukaan bumi, berkurangnya radiasi oleh penguapan, dan arus radiasi di atmosfer. Semuanya membentuk keseimbangan termal pada bumi. Dalam perjalanannya menuju permukaan bumi, radiasi matahari harus melewati atmosfer yang sebagian mengandung debu dan uap air. Jarak pendek adalah radiasi secara vertical.

Intensitas radiasi matahari tidak pernah diketahui data yang pasti, karena disebabkan oleh variasi-variasi atmosfer, kondisi-kondisi setempat yang tidak sama, meskipun berada pada garis lintang dan ketinggian yang sama. Intensitas radiasi matahari ditentukan oleh :

- Energi radiasi absolute
- Hilangnya energy pada atmosfer
- Sudut jatuh pada bidang yang disinari

⁸ Soegijanto, Bangunan di Indonesia dengan Iklim Tropis Lembab ditinjau dari Aspek Fisika Bangunan, Dirjen Dikti, 1999

- Penyebaran radiasi

Karena terletak pada equator, Indonesia disinari matahari sepanjang tahun. Musim hujan berlangsung antara bulan November sampai dengan April, sedangkan musim kemarau berlangsung antara bulan Mei sampai Oktober. Rata-rata sinar matahari yang diterima selama bulan November – April adalah 50%, hanya pada bulan Desember di bawah 50%. Sementara pada musim kemarau, sinar matahari diterima di Indonesia berkisar 80 – 95%.

II.6. SISTEM PENCAHAYAAN ALAMI

Matahari adalah sumber terbesar cahaya. Penggunaan secara baik pada perancangan bangunan dapat membuat efisiensi energi dan keindahan estetis. Bagaimanapun jika tidak secara hati-hati dalam merancang, bangunan akan kelebihan panas (*overheat*), menjadi sangat terang, atau distribusi cahaya yang buruk. Beban panas yang berlebihan adalah masalah umum yang berkaitan erat dengan pencahayaan alami. Pencahayaan alami memberikan efisiensi tinggi (120-150 lm/W) jika dibandingkan dengan lampu fluorescent (30-100 lm/W).

Untuk semua desain pencahayaan, tujuan utama adalah memberikan iluminansi untuk aktivitas visual dan kenyamanan visual. Dengan cahaya matahari, dasar strategi desain adalah menggunakan pencahayaan alami tidak langsung. Desain pencahayaan alami juga harus terintegrasi dengan arsitektur. Desain seharusnya memasukkan cahaya dalam jumlah yang dibutuhkan, menggunakan secara efisien, dan mengubah arahnya agar iluminansi seimbang dan menghindarkan dari glare.

Secara umum, proses masuknya cahaya alami dalam bangunan dibagi menjadi tiga proses (Tim Dosen: *MIT Open Course Ware*, 2006) yaitu *collecting* (pengumpulan), *transporting* (pemasukkan), dan *distributing* (penyebaran).

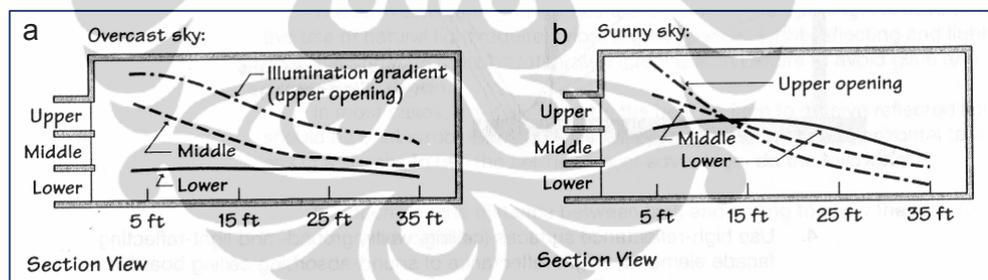
II.6.1. Pengumpulan (*Collecting*)

Collecting adalah proses mengumpulkan sinar matahari. Namun bukan berarti menampung sinar tersebut. Mengumpulkan hanya memasukkan sinar matahari ke dalam bangunan. *Collecting* sinar matahari dalam bangunan dapat dilakukan dengan dua cara, melalui *sidelighting* dan *toplighting*.

a) Sistem Pencahayaan Samping (*Sidelighting*)

Penerangan dari samping bangunan merupakan salah satu metoda penerangan yang paling praktis. Sistem penerangan ini dipengaruhi oleh spesifikasi rancangan bangunan yang berhubungan dengan orientasi, skala, elemen pemantul dan konfigurasi penerangan dari samping akan dipengaruhi oleh bentuk posisi jendela, yaitu jendela tinggi, rendah, sedang atau variasi.

Pada saat langit berawan, penggunaan jendela tinggi akan meningkatkan distribusi cahaya. Hal ini dikarenakan cahaya lebih banyak berasal dari langit, sementara cahaya refleksi luar bangunan tidak terlalu kuat (lihat gambar 2.5.a). Namun pada saat langit cerah, penggunaan jendela tinggi akan mengakibatkan kelebihan distribusi pencahayaan pada daerah sekitar jendela, hal ini dikarenakan cahaya langit terlalu banyak. Sementara penggunaan jendela rendah akan meningkatkan distribusi cahaya, seperti yang sudah dijelaskan di atas (lihat gambar 2.5.b). Penggunaan jendela sedang memang cenderung stabil pada kedua kondisi. Namun semakin jauh dari jendela, distribusi pencahayaan akan semakin menurun.



Gambar 2.5. Sistem Pencahayaan pada Sistem Pencahayaan Samping
(Sumber : *Architecture Lighting*, M. David Egan, 2002)

Pada perancangan *sidelighting*, penggunaan plafond sangat menentukan, terutama ketinggian dari plafond tersebut terhadap bidang kerja.

b) Sistem Pencahayaan pada Atap (*Toplighting*)

Untuk bangunan yang rendah dengan bentangan yang lebar, sistem penerangan atap merupakan bentuk penyinaran yang paling efisien. Kelebihan yang paling jelas dari *toplighting* dibandingkan dengan *sidelighting* adalah kebebasan untuk menempatkan sumber cahaya alami pada lokasi yang diinginkan, baik untuk disebarakan secara merata

maupun pola apapun yang diperlukan bagi kegiatan pemakai ruang yang telah direncanakan. Kelemahan dari sistem ini adalah penggunaannya pada daerah tropis dapat meningkatkan panas dalam ruangan, karena sinar masuk secara langsung ke dalam bangunan⁹. Pada bangunan di daerah tropis, penggunaan sistem ini perlu diikuti pula dengan penggunaan penahan masuknya sinar secara langsung.

II.6.2. Pemantulan (*Transporting*)

Setelah melalui proses collecting, cahaya matahari kemudian ditransportasikan. Dalam hal ini terdapat dua sistem, yaitu secara langsung dan tidak langsung.

a) Sistem Pencahayaan Langsung

Dalam system pencahayaan langsung, cahaya matahari dimasukkan ke dalam ruangan secara langsung atau tanpa ada penghalang apapun (kecuali berupa bahan tembus cahaya). Sistem ini tidak cocok diterapkan di daerah yang beriklim tropis seperti Indonesia, dimana sinar matahari bersinar terus-menerus sepanjang tahun. Penggunaan cahaya matahari secara langsung, dapat meningkatkan suhu ruangan. Pada negara sub tropis bangunan memaksimalkan efek negative ini dengan membuka bukaan selebar-lebarnya pada sisi yang terkena sinar matahari pada saat musim dingin.

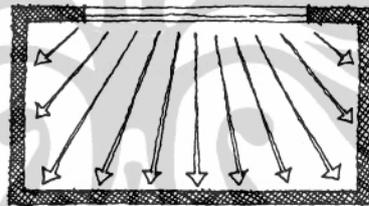
b) Sistem Pencahayaan Tidak Langsung

Cahaya yang masuk ke dalam ruangan tidak langsung diterima oleh bidang kerja oleh objek penglihatan, melainkan terlebih dahulu mengalami pemantulan. Akibat adanya pemantulan ini maka akan terjadi pencahayaan difusi. Pencahayaan alami tidak langsung secara makro dapat diuraikan berupa elemen-elemen eksterior ruangan yang dapat memantulkan sinar matahari seperti vegetasi dan bangunan di sekitar ruangan. Sedangkan secara mikro dapat diuraikan berupa elemen-elemen yang berada pada jendela serta elemen-elemen interior seperti furniture, plafond dan lantai.

⁹ Hardjarinto, Gatot Boedi, *Perbaikan Kualitas Pencahayaan Alami dalam Ruang Kelas melalui Rekayasa Komponen Pengendali Cahaya*, 2004

II.6.3. Penyebaran (*Distributing*)

Kualitas pencahayaan yang baik dalam sebuah ruangan adalah pencahayaan yang merata¹⁰. Disinilah proses distribusi dari cahaya matahari yang harus merata di semua bidang kerja pada sebuah ruangan untuk menghindari adanya efek negative. Efek negative ini berupa glare atau kesilauan. Glare adalah salah satu dari efek samping yang mengganggu dari pencahayaan. Direct glare diakibatkan oleh perbedaan contrast diantara permukaan yang sangat terang dengan yang sangat gelap. Sedangkan kesilauan adalah adanya *over-illumination* akibat adanya pemasukkan cahaya matahari secara langsung yang mengenai objek penglihatan. Berikut ini adalah distribusi dari pencahayaan atap (*toplighting*), dimana lubang cahaya pada atap dapat mengakibatkan penyinaran yang merata. (lihat gambar 2.6)



Gambar 2.6. Distribusi Cahaya pada Pencahayaan Atas
(Sumber : Ilmu Fisika Bangunan, Heinz Frick, 2008)

II.7. PENCAHAYAAN ATAS (*TOPLIGHTING*)

Satu cara yang paling sering digunakan untuk memanfaatkan pencahayaan matahari adalah melalui *skylight* dan cara lain yaitu pencahayaan atap (*top lighting*). *Toplighting* beroperasi seperti pencahayaan lampu listrik yang memancarkan cahaya secara langsung dengan arah cahaya ke bawah. Prinsip desain yang biasa digunakan pada sistem pencahayaan pencahayaan *toplighting*, yang merupakan bentuk termudah pencahayaan matahari dan secara relatif tidak terpengaruh oleh orientasi tapak dan bangunan sekitarnya.

Berikut adalah beberapa prototipe klasik dari *toplighting* :

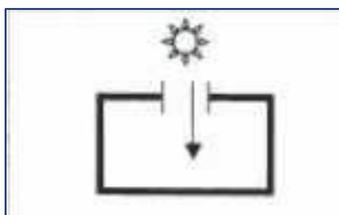
- *Skylight*, atau kaca horizontal, memungkinkan masuknya cahaya matahari langsung dan pancaran cahaya langit melalui bukaan.

¹⁰ Egan, M. David, & Olgyay, Victor W, *Architectural Lighting*, McGraw-Hill, New York, 2002

- *Single Clerestory* menghasilkan pencahayaan matahari langsung dan tidak langsung melalui jendela *clerestory* vertikal. Tergantung dari atap di sampingnya, sebagian cahaya dapat dipantulkan ke bawah oleh plafon ke dalam ruangan. Akan tetapi, tergantung dari orientasi tapak, presentasi cahaya matahari langsung yang relative tinggi dapat menyebabkan silau.
- *Sawtooth Single Clerestory* menghasilkan pencahayaan matahari langsung dan tidak langsung, namun dengan memantulkan cahaya dengan presentasi tinggi pada plafon miring di sebelahnya dapat meningkatkan jumlah cahaya yang jatuh ke arah bawah dan meminimalkan jumlah cahaya matahari langsung. Jika bukaan ini menghadap ke Utara, bukaan ini dapat menjadi sumber pencahayaan alami yang baik untuk area interior yang luas.
- *Monitor* atau *Double Clerestory* juga memungkinkan cahaya matahari yang banyak, terutama pada bangunan di mana orientasi matahari atau cuaca tidak memungkinkan dibuatnya langit-langit miring atau desain khusus lainnya. Dengan pemilihan kaca dan penahan bukaan yang baik, konsep ini dapat menghasilkan pencahayaan matahari yang seimbang dan nyaman.

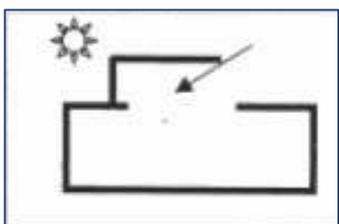
Pencahayaan atap adalah pencahayaan dimana cahaya masuk melalui lubang cahaya yang berada pada atap suatu bangunan¹¹. Konsep pencahayaan atap biasa digunakan pada bangunan dimana pencahayaan alami siang hari melalui pencahayaan jendela tidak dapat menerangi area bidang kerja. Konsep ini juga digunakan pada bangunan yang tidak menghendaki ataupun memungkinkan adanya pencahayaan alami melalui jendela.

Ada empat buah tipe pencahayaan atap yang memanfaatkan langit cerah maupun langit *overcast* untuk menerangi ruang interior pada bangunan (lihat gambar 2.7). Keempat tipe pencahayaan atap tersebut adalah :



SKYLIGHT

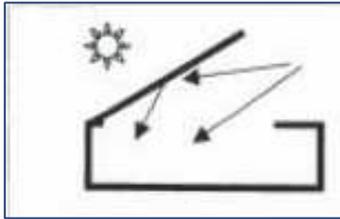
Penggunaan skylight bertujuan membawa masuk cahaya matahari dari atas. Paling baik dilakukan dengan menggunakan prisma atau penyebar cahaya untuk menahan pancaran cahaya matahari langsung yang menyebabkan silau. Skylight tidak boleh lebih besar dari 5 – 6 % dari luas atap bangunan.



CLERESTORY

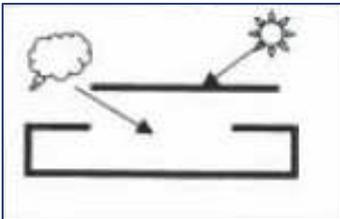
Penggunaan jendela tinggi atas, di atas tinggi langit-langit. Paling baik dilakukan dengan jendela menghadap ke Utara untuk menghindari radiasi matahari. Dengan bukaan ke arah Utara bukaan pada langit-langit tersebut dapat dibuat besar. Sentuhan akhir interior pada bukaan tersebut penting dengan permukaan yang menarik seperti kayu dapat digunakan.

¹¹ Mark, Karlen, & Benya, James, *Dasar-dasar Desain Pencahayaan*, 2007



SAWTOOTH CLERESTORY

Plafon miring menghasilkan lebih banyak cahaya tidak langsung. Meningkatkan efisiensi dan skylight dan memungkinkan penggunaan kaca yang sedikit. Paling baik jika bukaan menghadap Utara juga.



MONITOR ATAU DOUBLE CLERESTORY

Paling baik dilakukan jika orientasi sumbunya ke arah Timur dan Barat. Gunakan pelindung cahaya yang pasif pada sisi Selatan untuk menahan radiasi matahari langsung masuk ke dalam bangunan.

Gambar 2.7. Konsep Pencahayaan dari Atap

(Sumber : *Dasar-dasar Desain Pencahayaan*, Mark Karlen, James Benya, 2007)

II.8. STANDAR KENYAMANAN VISUAL¹²

Pencahayaan mengandung aspek kuantitas (intensitas cahaya) dan kualitas (warna kesilauan). Kesilauan dapat terjadi secara langsung (tersorot lampu) maupun tidak langsung (pantulan). Terlalu banyak cahaya akan menyebabkan pupil mata mengecil terlalu lama, sehingga mata lelah. Terus menerus berada di tempat bercahaya sama merugikannya dengan terus menerus di tempat gelap karena irama gelap-terang membantu pengendalian suhu tubuh serta sekresi hormon ke darah. Manusia menyukai lingkungan yang terang. Pada kumpulan manusia, mereka akan menyukai penerangan yang relatif merata, dan menghindari area yang terlalu terang. Pada umumnya manusia lebih suka berada di tempat redup dan memandang ke tempat yang terang, daripada sebaliknya.

Illuminansi yang diperlukan sangat bervariasi tergantung dari rumit tidaknya kerja visual. Semakin rumit kerja visual, semakin dibutuhkan iluminansi yang lebih besar. Kebutuhan pencahayaan berdasarkan aktivitas dapat dilihat pada tabel berikut ini :¹³

¹² Kenyamanan visual yang dimaksud dalam penelitian ini adalah terjadinya peningkatan nilai iluminansi dari kondisi eksisting sesuai dengan kebutuhan iluminansi berdasarkan aktivitas manusia dan jenis ruangnya pada rumah tinggal.

¹³ Satwiko, Prasasto, *Fisika Bangunan I*, Yogyakarta; Andi, 2004

Tabel 2.1. Kebutuhan Iluminansi Berdasarkan Aktivitas
(Sumber : Fisika Bangunan 1, Prasato satwiko, 2004)

No.	Kerja Visual	Iluminansi (Lux)	Indeks Kesilauan
1	Penglihatan Biasa	100	28
2	Kerja kasar dengan detail besar	200	25 - 28
3	Kerja umum dengan detail wajar	400	25
4	Kerja yang lumayan keras dengan detail kecil (studio gambar, menjahit)	600	19 - 22
5	Kerja keras, lama, detail kecil (perakitan barang halus, menjahit dengan tangan)	900	16 - 22
6	Kerja sangat keras, lama, detail sangat kecil (pemotongan batu mulia, tisik halus, mengukur benda-benda kecil)	1300 - 2000	13 - 16
7	Kerja luar biasa keras dengan detail sangat kecil (arloji dan pembuatan instrumen)	2000 - 3000	10

Standar kondisi pencahayaan minimal pada rumah tinggal dapat dilihat pada tabel berikut ini :¹⁴

Tabel 2.2. Kebutuhan Iluminansi Berdasarkan Jenis Ruang
(Sumber : Utilitas Bangunan, Hartono Poerbo, 1992)

No	Jenis Ruangan	Iluminansi (Lux)
1	Umum	100
2	Ruang Baca/jahit	500
3	Ruang Tidur	50
4	Dapur	300
5	Ruang Kerja	500
6	Pengemongan	150

II.9. NILAI PERPINDAHAN THERMAL ATAP (RTTV)

Roof Thermal Transfer Value (RTTV) atau nilai perpindahan thermal dari penutup atap bangunan gedung dengan orientasi tertentu dapat dihitung dengan persamaan:¹⁵

$$RTTV = \frac{\alpha (A_r \times U_r \times TD_{Ek}) + (A_s \times U_s \times \Delta T) + (A_s \times SC \times SF)}{A_0}$$

¹⁴ Poerbo, Hartono, *Utilitas B angunan*, Jakarta; Djembatan, 1992

¹⁵ *Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung*, SNI 03-6389-2000, Badan Standarisasi Nasional

RTTV	: nilai perpindahan termal atap yang memiliki arah atau orientasi tertentu (watt/m^2)
α	: absorbtansi radiasi matahari
A_r	: luas atap yang tidak tembus cahaya (m^2)
A_s	: luas <i>skylight</i> (m^2)
A_0	: luas total atap $A_r + A_s$ (m^2)
U_r	: transmitansi termal atap tak tembus cahaya ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)
TDEk	: beda temperatur ekuivalen (K)
SC	: koefisien peneduh dari sistem fenetrasi
SF	: factor radiasi matahari (W/m^2)
U_s	: transmitansi termal fenetrasi (<i>skylight</i>) ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)
AT	: beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan bagian dalam (diambil 5 K) ¹⁶

Dengan menghitung nilai perpindahan termal dari penutup atap dengan menggunakan *skylight*, maka dapat diketahui luasan *skylight* yang memasukkan panas tanpa melebihi standar yang telah ditetapkan yaitu sebesar 45 watt/m^2 .

II.10. PERGERAKAN UDARA DALAM BANGUNAN

Udara akan mengalir baik karena arus konveksi yang natural, yang disebabkan oleh adanya perbedaan suhu. Udara bergerak dari tekanan yang lebih kuat ke tekanan yang lebih lemah. Jadi bukaan-bukaan (misalnya jendela), bila diletakkan pada sisi bangunan yang berbeda besar tekanannya, maka pergerakan udara didalam bangunan akan lebih signifikan. Perbedaan tekanan itu biasanya disebabkan oleh angin diluar bangunan. Angin yang meniup dari depan ke belakang bangunan, misalnya, menyebabkan bagian depan bertekanan positif (+) dan bagian belakang bertekanan negatif (-). Bila di depan dan belakang diberikan bukaan, maka udara di dalam ruangan akan bergerak dari depan ke belakang.

a) Tipe-tipe Aliran Udara

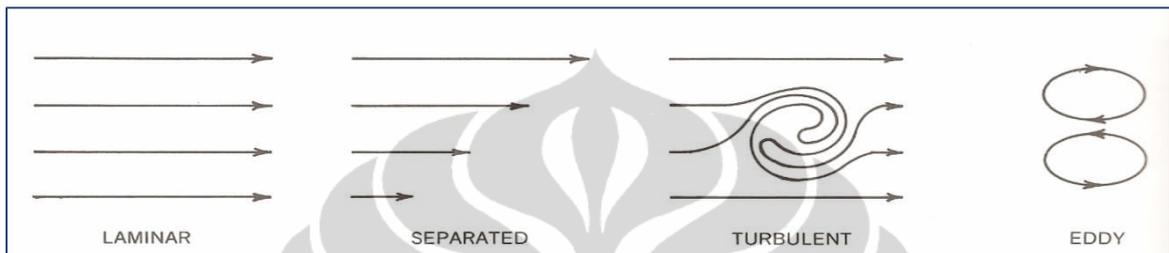
Ada empat tipe dasar aliran udara yaitu :

- Arus Berlapis (*laminar*)
- Arus Terpisah (*separate*)

¹⁶ Ketentuan dari rumus RTTV pada SNI 03-6389-2000; *Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung*

- Arus Bergolak (*turbulent*)
- Arus Berpusar (*eddy*)

Aliran udara akan berubah dari lapisan-lapisan (*laminar*) ke arus yang bergolak bila ia tersudut dengan obstruksi yang tajam, seperti halnya bangunan-bangunan. Arus berpusar merupakan aliran udara memutar yang dipengaruhi oleh aliran udara berlapis atau bergolak. (lihat gambar 2.8)



Gambar 2.8. Jenis Aliran Udara

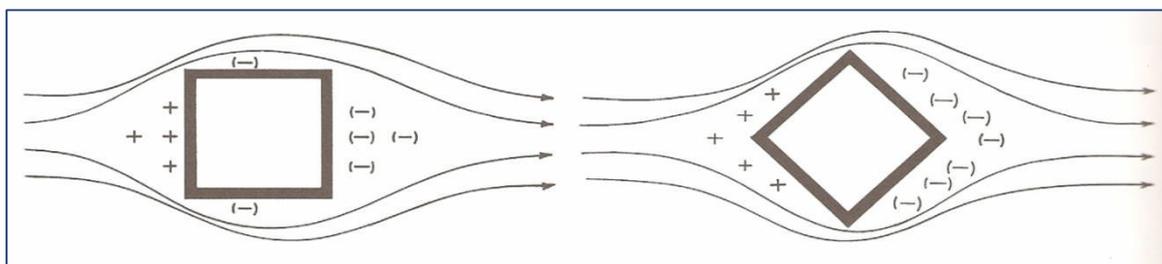
(Sumber : *Heating, Cooling, Lighting, Design Methods For Architect, Norbert Lechner, 2001*)

b) Konservasi Udara

Karena udara tidak diciptakan maupun dirusak pada tapak bangunan, udara yang sedang mendekati suatu bangunan harus setara dengan udara yang keluar dari bangunan tersebut. Jadi, garis-garis yang mewakili arus udara harus digambarkan secara terus-menerus.

c) Area dengan Tekanan Udara yang Tinggi dan Rendah

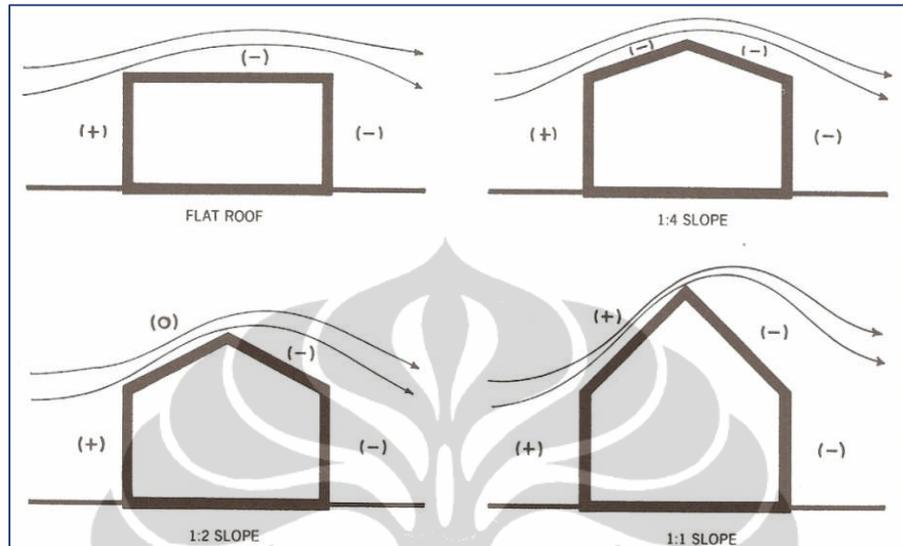
Udara akan dibelokkan ke sekitar bagian bangunan yang secara umum juga akan menciptakan tekanan yang negatif (-), tekanan-tekanan ini tidak akan didistribusikan secara keseluruhan. (lihat gambar 2.9)



Gambar 2.9. Aliran Udara di sekitar Bangunan

(Sumber : *Heating, Cooling, Lighting, Design Methods For Architect, Norbert Lechner, 2001*)

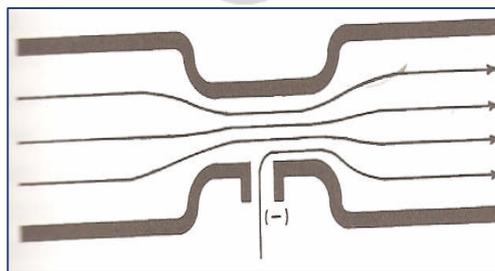
Tipe tekanan yang tercipta di bagian atas atap akan bergantung pada faktor lantainya atap itu sendiri. Area-area tekanan di sekitar bangunan akan menentukan bagaimana udara mengalir melalui bangunan tersebut. (lihat gambar 2.10)



Gambar 2.10. Tipe Tekanan Angin yang tercipta di bagian Atas Atap Bangunan
(Sumber : *Heating, Cooling, Lighting, Design Methods For Architect*, Norbert Lechner, 2001)

d) Efek Bernoulli

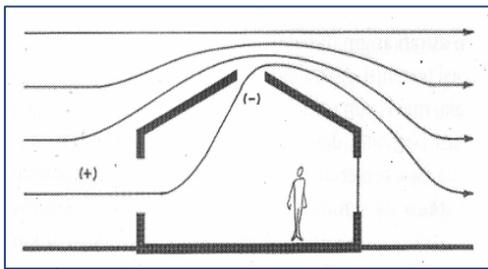
Efek Bernoulli menyatakan bahwa “Adanya peningkatan kecepatan udara akan menurunkan tekanan statiknya”. Fenomena dari efek Bernoulli yaitu adanya suatu tekanan negatif pada pembatasan tabung ‘venturi’ seperti pada gambar 2.11.



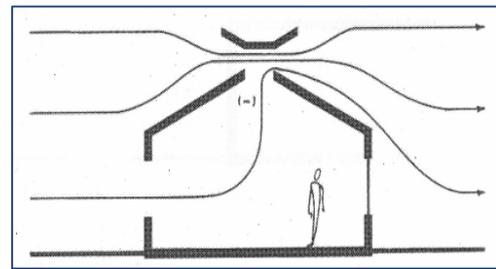
Gambar 2.11. Tabung venturi menggambarkan efek Bernoulli
(Sumber : *Heating, Cooling, Lighting, Design Methods For Architect*, Norbert Lechner, 2001)

Atap yang berbentuk *gable* (bubungan) merupakan setengah dari tabung ‘venturi’. Dengan demikian, udara akan terisap keluar pada setiap lubang udara yang berada dekat dengan bubungan. Dampaknya pun akan lebih kuat dengan

merancang atap tersebut menyerupai tabung venturi yang penuh. (lihat gambar 2.12 dan gambar 2.13).



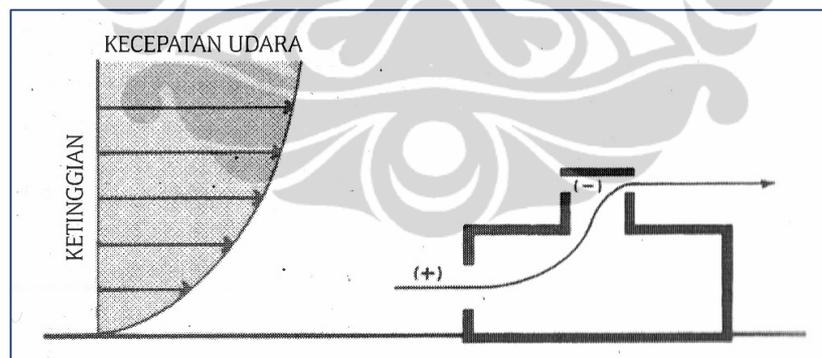
Gambar 2.12.
Efek venturi menyebabkan udara dibuang melalui lubang di atap, dan pada atau dekat bubungan.



Gambar 2.13.
Tabung venturi digunakan sebagai ventilator atap.

(Sumber : *Heating, Cooling, Lighting, Design Methods For Architect*, Norbert Lechner, 2001)

Fenomena lainnya dari efek Bernoulli adalah kecepatan udara akan meningkat secara cepat dengan ketinggian di atas bagian dasarnya. Dengan demikian, tekanan pada bagian bubungan atap akan lebih rendah dibanding tekanan yang ada di jendela bagian dasar. Akibatnya meskipun tanpa bantuan factor geometri tabung 'venturi', efek Bernoulli akan membuang udara melalui lubang-lubang angin yang terdapat di bagian atap. (lihat 2.14)

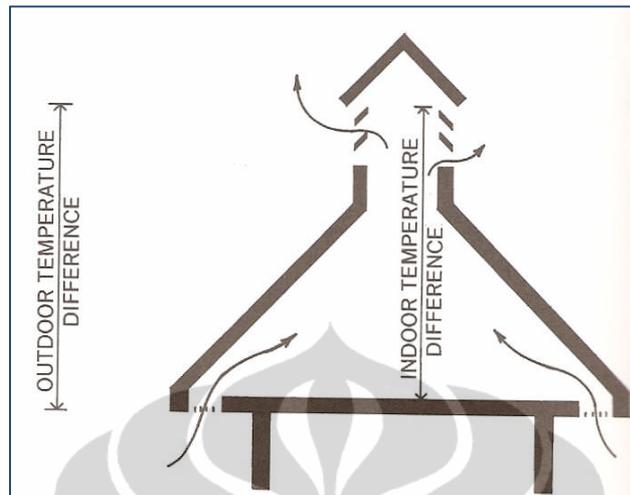


Gambar 2.14. Karena kecepatan angin meningkat dengan ketinggian di atas grade, udara memiliki tekanan statik yang kurang di bagian atap dibandingkan di bagian dasarnya. (Sumber : *Heating, Cooling, Lighting, Design Methods For Architect*, Norbert Lechner, 2001)

e) Efek Cerobong Asap

Efek cerobong asap akan membuang udara dari bangunan melalui aksi konveksi yang alami. Udara akan dibuang meskipun terdapat perbedaan suhu ruang dalam antara dua lubang vertikal yang lebih besar daripada perbedaan suhu luar antara dua lubang yang sama. Untuk memaksimalkan efek lemah yang mendasar ini, suatu lubang haruslah dibuat sebesar mungkin dan terpisah secara

vertikal sejauh mungkin. Udara harus bisa mengalir secara bebas dari lubang yang lebih rendah ke lubang yang lebih tinggi (meminimalkan hambatan). (lihat gambar 2.15)



Gambar 2.15. Efek cerobong asap akan membuang udara panas meskipun perbedaan suhu ruang dalam lebih besar daripada perbedaan suhu ruang luar di antara lubang-lubang vertikal. (Sumber : *Heating, Cooling, Lighting, Design Methods For Architect*, Norbert Lechner, 2001)

Kelebihan efek cerobong asap dibandingkan dengan efek Bernoulli adalah tidak bergantung pada angin dan juga merupakan gabungan dari efek Bernoulli dan efek venturi untuk menciptakan ventilasi vertikal yang baik secara khusus pada hari-hari yang panas di musim panas. Sedangkan kekurangannya adalah efek cerobong asap merupakan kekuatan yang sangat lemah dan tidak bisa memindahkan udara secara cepat.

f) Aliran Udara Pada Bangunan

Faktor-faktor yang mendukung pola aliran udara yang melewati suatu bangunan adalah :

- Proses distribusi pada tekanan di sekitar bangunan
- Arah angin yang masuk melalui jendela
- Ukuran jendela
- Lokasi jendela
- Detail jendela
- Detail partisi ruang dalam

Pergerakan udara di dalam terjadi karena adanya beberapa hal :

- Adanya gaya angin / perbedaan tekanan udara. Udara akan mengalir dari daerah yang memiliki tekanan lebih tinggi menuju ke daerah yang memiliki tekanan lebih rendah
- Terjadinya pergerakan bangunan dengan gaya angin di dalam bangunan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor :
 - V : Kecepatan angin
 - A : Luas permukaan bukaan (inlet dan outlet)
 - Arah angin terhadap bangunan
 - Hambatan yang terjadi di antara inlet dan outlet
 - Bentuk bangunan
- Adanya gaya thermal/perbedaan suhu antara dua tempat. Udara akan mengalir dari daerah yang bersuhu rendah menuju ke tempat dengan suhu udara tinggi.

Berdasarkan teori ini, maka adanya ventilasi atap dan bukaan pada plafon berpengaruh terhadap kenyamanan di dalam ruangan tanpa adanya bukaan di samping. Ruang atap yang terletak di antara penutup atap dan plafon akan lebih cepat panas dibandingkan dengan suhu ruangan di bawah plafond. Adanya ventilasi atap akan mengganti udara panas di dalam ruang atap dan adanya ventilasi plafon tentunya akan mendorong udara yang lebih panas menuju ke atas (ruang atap) untuk selanjutnya akan digantikan dengan udara yang lebih baru melalui lubang ventilasi atap.

II.11. PENTINGNYA VENTILASI

Ventilasi merupakan pergantian udara yang keluar masuk dan merupakan proses untuk mendapatkan udara segar ke dalam bangunan gedung dalam jumlah yang sesuai kebutuhan.

Ventilasi sangat penting sekali untuk penghuni yang mendiami suatu bangunan karena untuk menjamin :

a) Kenyamanan

Untuk mendapatkan udara segar di dalam suatu ruangan dan untuk mencegah panas dari radiasi sinar matahari. Energi panas yang keluar dari tubuh manusia dan juga panas dari peralatan listrik.

b) Kesehatan

Untuk mengurangi jumlah debu, bakteri, dan bau tak sedap yang dibawa oleh angin. Hal ini untuk menjamin udara yang ada di sekitar kita tetap bersih.

c) Bahaya kebakaran

Untuk mengontrol asap atau gas toxic yang dihasilkan oleh api.

II.12. VENTILASI ALAMI

Ventilasi alami terjadi karena adanya perbedaan tekanan di luar suatu bangunan gedung yang disebabkan oleh angin dan karena adanya perbedaan temperatur, sehingga terdapat gas-gas panas yang naik di dalam saluran ventilasi.

Ventilasi alami yang disediakan harus terdiri dari bukaan permanen, jendela, pintu atau sarana lain yang dapat dibuka, dengan ketentuan sebagai berikut :

- a) Jumlah bukaan ventilasi tidak kurang dari 5% terhadap luas lantai ruangan yang membutuhkan ventilasi; dan
- b) Arah yang menghadap ke :
 - Halaman ber dinding dengan ukuran yang sesuai, atau daerah yang terbuka keatas.
 - Teras terbuka, pelataran parkir, atau sejenis.
 - Ruang yang bersebelahan.

II.13. TUJUAN PENGUDARAAN (VENTILASI)

Tujuan Pengudaraan adalah untuk mendapatkan penyejukan, pengeringan, serta peredaran udara yang bersih untuk mendapatkan kenyamanan, menghilangkan rasa panas, dan mendapatkan udara bersih. Pergerakan udara pada badan akan menyebabkan panas dalam tubuh dikeluarkan secara pergolakan dan penguapan. Semakin tinggi pergerakan angin pada badan semakin cepat panas pada tubuh dilepaskan. Secara terperinci tujuan pengudaraan adalah :

1. Menghalangi pemasukan panas yang berlebih dari luar banugnan.
2. Memaksimalkan kehilangan panas dalam ruang.
3. Mempertahankan kenyamanan lingkungan ruang yang dihuni.
4. Mengadakan pengudaraan langsung.

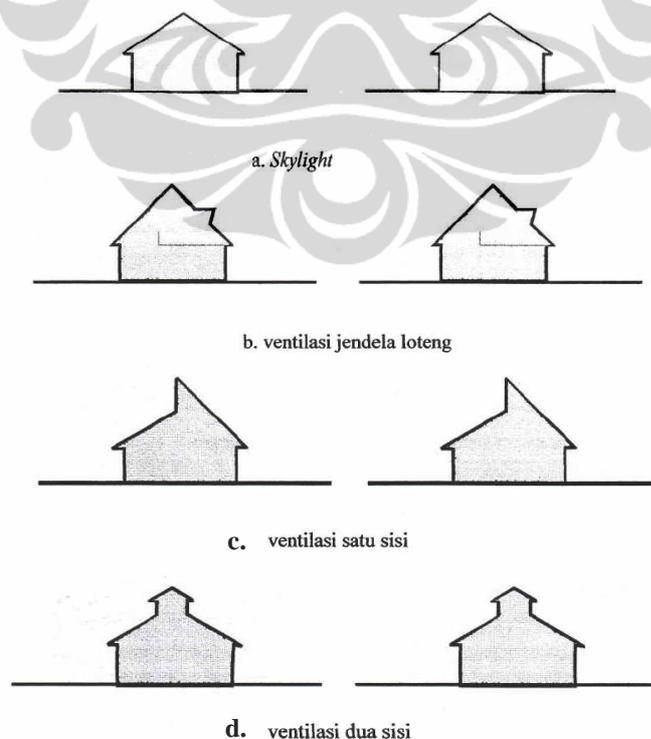
5. Menghilangkan gas-gas yang tidak menyenangkan yang ditimbulkan oleh keringat dan sebagainya dan gas-gas pembakaran (CO₂) yang ditimbulkan oleh pernafasan dan proses-proses pembakaran.
6. Menghilangkan uap air yang timbul sewaktu memasak, mandi dan sebagainya.
7. Menghilangkan kalor yang berlebihan.
8. Membantu mendapatkan kenyamanan termal.

II.14. VENTILASI ATAP (JENDELA ATAP)

Pada wilayah beriklim tropis, panas radiasi matahari merupakan permasalahan yang penting. Atap merupakan bagian bangunan yang terus menerus terkena sinar matahari sepanjang hari, dan akan memanaskan suhu dalam ruangan. Apabila panas tidak dilepaskan ke luar ruangan, akan terjadi *green house effect* dimana suhu ruangan akan semakin bertambah karena panas terus menerus masuk dan dipantulkan kembali ke dalam ruangan tanpa bisa keluar melalui ventilasi.

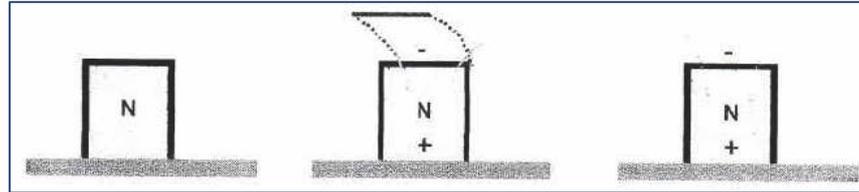
Masalah ini juga akan terjadi pada ruangan tanpa adanya bukaan pada dinding, sehingga fungsi ventilasi atap menjadi unsur yang penting untuk membuang panas ke luar ruangan.

Beberapa penyelesaian ventilasi atap dapat dilihat pada gambar 2.16 :



Gambar 2.16. Jenis Ventilasi Atap
(Sumber : Prasasto Satwiko, Fisika Bangunan 1, 2004)

Prinsip ventilasi atap dapat bermanfaat untuk membuang udara panas akibat terjadinya *bouyancy*. Pergerakan udara yang dapat keluar melalui ventilasi atap merupakan penggabungan dari perbedaan tekanan udara dan dorongan udara ke atas (*bouyancy*)¹⁷. (lihat gambar 2.17)



Gambar 2.17. Udara Positif *Bouyancy* bergerak dari kepadatan tinggi melalui wilayah netral ke kepadatan rendah

(Sumber : *Controlling Air Movement; A Mannual for Architects and Builders*, Terry S Boutet, 1987)

II.15. KENYAMANAN TERMAL

II.15.1. Faktor Kenyamanan Termal pada Ruang

Menurut Szokolay (1980: 272), suhu udara merupakan faktor yang paling penting dalam penentuan kenyamanan termal, tetapi bukan satu-satunya. Berbagai proses pertukaran panas pada permukaan tubuh dipengaruhi oleh sejumlah faktor lingkungan dan tingkat sensasi kenyamanan atau ketidaknyamanan yang tergantung dari efek gabungan dari berbagai faktor. Empat faktor utama yang saling mempengaruhi tingkat kenyamanan termal adalah: suhu udara (DBT), kelembaban (RH), pergerakan udara dan radiasi.

Keseimbangan termal tubuh manusia dalam persepsi kenyamanan termal secara fisiologis dipengaruhi oleh kondisi klimatologis. Faktor klimatologis yang mempengaruhi tubuh manusia tersebut adalah suhu luar bangunan dan dalam bangunan, kelembaban udara dalam bangunan dan kecepatan angin/udara dalam bangunan. Permasalahan yang timbul dalam pencapaian kenyamanan termal untuk daerah yang beriklim tropis panas lembab diakibatkan oleh: suhu rata-rata tinggi; kelembaban udara tinggi; kecepatan pergerakan udara rata-rata rendah; dan radiasi matahari rata-rata tinggi.

¹⁷ Boutet, Terry S, *Controlling Air Movement; A Mannual for Architects and Builders*, New York, McGraw-Hill Book Company, 1987, hal.130

Faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan thermal antara lain:

- a) Faktor Obyektif, yaitu faktor yang dapat diukur misalnya kelembaban, temperature, kecepatan angin, radiasi panas permukaan.
- b) Faktor Subyektif, yaitu faktor yang tidak dapat diukur dan lebih didasarkan pada perasaan setiap individu misalnya makan minum yang masuk, warna kulit, jenis kelamin, umur, ukuran badan (turus/gemuk), adaptasi, jenis pakaian dan lain-lain.

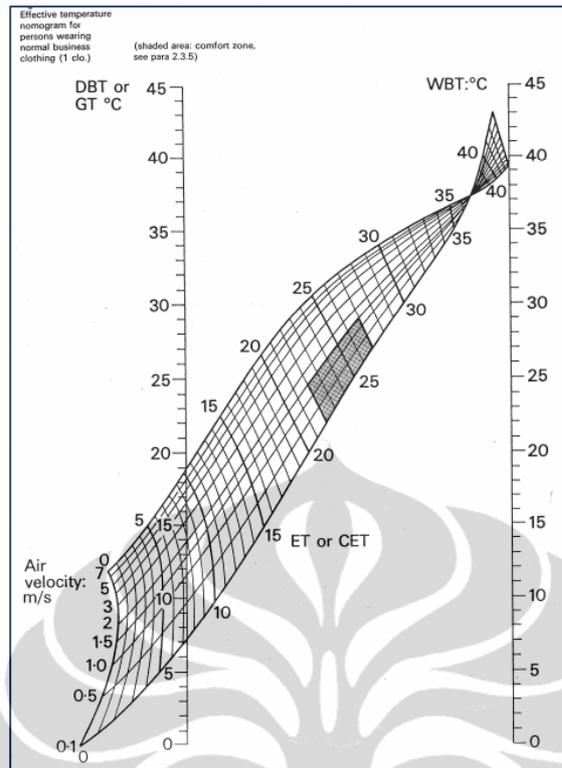
Kontribusi utama yang memberikan panas paling besar adalah radiasi panas matahari dan radiasi gelombang panjang yang diterima oleh permukaan bangunan. Permukaan bangunan pada siang hari akan menerima radiasi matahari yang terdiri dari radiasi matahari langsung, radiasi matahari difus dan radiasi matahari refleksi. Selain radiasi matahari, kepadatan manusia di dalam ruangan juga dapat menjadi kontribusi panas terbesar dalam kenaikan suhu dalam ruangan.

Standar zona kenyamanan termal di Indonesia adalah sebagai berikut:

- a) Sejuk Nyaman : 22,5 - 22,8°C
- b) Nyaman Optimal : 22,0 - 26°C
- c) Nyaman Hangat : 26 - 27,1°C
- d) Panas : > 27.1°C

II.16. SUHU EFEKTIF

Suhu efektif (*effective temperature*; ET) merupakan variable untuk menilai tingkat kenyamanan termal suatu ruang. Suhu efektif merupakan besaran suhu yang didapat dari kombinasi tiga pengukuran antara suhu bola kering (DBT), suhu bola basah (kelembaban/WBT), dan kecepatan pergerakan udara. Kombinasi tersebut apabila dikoreksi dengan radiasi matahari maka akan menghasilkan Suhu Efektif Terkoreksi (CET). Besarnya ET dan CET merupakan kombinasi tiga variable berdasarkan Nomogram Suhu Efektif pada gambar 2.18.



Gambar 2.18. Nomogram Suhu Efektif
 (Sumber : *Manual of Tropical Housing and Building, Part I Climatic Design*, Koenigsberger, Ingersoll, Mayhew, Szokolay, 1973)

Kombinasi-kombinasi tertentu antara suhu, kelembaban dan kecepatan udara dapat menghasilkan kondisi termal yang sama¹⁸. Berarti untuk mendapatkan Suhu Efektif tidak diharuskan suhu udara rendah, selama kecepatan udara yang tepat dapat mendukung kelembaban udara yang tepat, maka untuk daerah iklim tropis basah dengan suhu udara yang cukup tinggi masih dimungkinkan untuk mendapatkan tingkat kenyamanan termal yang memadai.

Zona kenyamanan termal dalam skala suhu efektif menurut Soegijanto menunjukkan bahwa kenyamanan termal optimum batas bawah adalah 21°C dengan kelembaban relatif 90% sampai dengan 22,5°C dengan kelembaban relatif 35%. Keyamanan optimal untuk batas atas berada pada 26°C dengan kelembaban relatif 90% sampai dengan 29°C dengan kelembaban relatif 30%. Kecepatan udara yang dipakai dalam penelitian tersebut adalah 0,1 - 0,2 m/det. Jika dinyatakan dalam skala suhu efektif maka berkisar pada 19,3°C dan 25,1°C.

¹⁸ Soegijanto, RM; (1991); *Bangunan di Indonesia Dengan Iklim Tropis Panas Lembab Ditinjau dari Aspek Fisika Bangunan*; Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan; hlm. 240

Kecepatan pergerakan udara, suhu bola kering (DBT) dan suhu bola basah WBT serta besar radiasi matahari dapat diukur kemudian dikorelasikan menggunakan diagram Suhu Efektif, sehingga dapat diperoleh suhu efektif yang menggambarkan kondisi tingkat kenyamanan termal yang ada. Kemudian gambaran tingkat kenyamanan ini dibandingkan dengan standar tingkat kenyamanan termal untuk Indonesia dari SNI T-14-1993-037, yang membagi tingkat kenyamanan tersebut berdasarkan suhu efektif sebagai berikut :

- Sejuk Nyaman dengan Suhu Efektif 20,5°C – 22,8°C
- Nyaman Optimal dengan Suhu Efektif 22,8°C - 25,8°C
- Hangat Nyaman dengan Suhu Efektif 25.8°C – 27,1°C

Nilai-nilai suhu efektif tersebut yang merupakan gabungan dari beberapa faktor lingkungan merupakan suatu tolok ukur untuk menilai tingkat kenyamanan termal suatu ruang.

II.17. PENGERTIAN EFISIENSI ENERGI

Yang dimaksud dengan efisiensi energi adalah ketepatan cara (usaha, kerja) dalam menjalankan sesuatu (dengan tidak membuang waktu, tenaga, biaya), kedayagunaan, ketepatangunaan atau kemampuan menjalankan tugas dengan baik dan tepat dalam penggunaan energi.¹⁹ Dengan kata lain efisiensi energi adalah bagian energy yang disalurkan menjadi proses yang berguna.

Efisiensi energy pada penelitian ini adalah efisien dalam penggunaan energi listrik untuk pencahayaan buatan (*artificial lighting*) dengan mengurangi penggunaan lampu pada siang hari dimana pencahayaan pada siang hari didapat dari pencahayaan alami melalui *toplighting*, dan efisien dalam penggunaan energi pengkondisian udara (AC) untuk memperoleh kenyamanan termal pada bangunan akibat dari radiasi panas yang dibawa oleh pencahayaan alami melalui *toplighting*.

¹⁹ Sumber : *Kamus Besar Bahasa Indonesia Edisi Ketiga*, Balai Pustaka, Departemen Pendidikan Nasional

Berdasarkan kajian teori di atas, ada lima teori yang menjadi landasan bagi metode penelitian :

1. Teori Pengumpulan Cahaya (Leslie, 2004)

“Cahaya alami sangat erat kaitannya dengan masalah orientasi, dimana orientasi Utara – Selatan merupakan orientasi terbaik untuk pencahayaan alami”.

2. Teori Pemasukkan Cahaya (Leslie, 2004)

“Penggunaan cahaya matahari secara langsung, dapat meningkatkan suhu ruangan”.

3. Teori Distribusi Cahaya pada Skylight (Bayu, 2005)

“Tipe skylight yang paling baik dalam memasukkan dan mendistribusikan cahaya alami ke dalam ruangan adalah dengan satu buah bukaan di tengah-tengah bidang atap dan dua bukaan pada langit-langit yang letaknya tersebar dan tidak berada tepat di bawah skylight.

4. Teori Ventilasi Atap (Surjamanto, 1997)

“Pemberian ventilasi atap akan memberikan keuntungan termal ruang hunian, membuat temperatur selubung atas bangunan/atap menjadi lebih dingin daripada temperatur luar dan besar pengaruhnya terhadap temperatur efektif (TE) dalam ruang hunian”.

5. Teori Hemat Energi (Priatman, 2002)

“Arsitektur hemat energi merupakan salah satu tipologi arsitektur yang berorientasi pada konservasi lingkungan global alami”.

II.18. HIPOTESIS

Berdasarkan teori-teori tersebut, maka hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut:

Dengan rekayasa kombinasi desain skylight dan jendela atap serta bukaan pada plafon akan mengendalikan dan memasukkan cahaya beserta udara ke dalam ruang, sehingga dapat meningkatkan intensitas cahaya (lux) dan menurunkan temperatur panas (°C) pada ruang tanpa bukaan samping.