

BAB I PENDAHULUAN

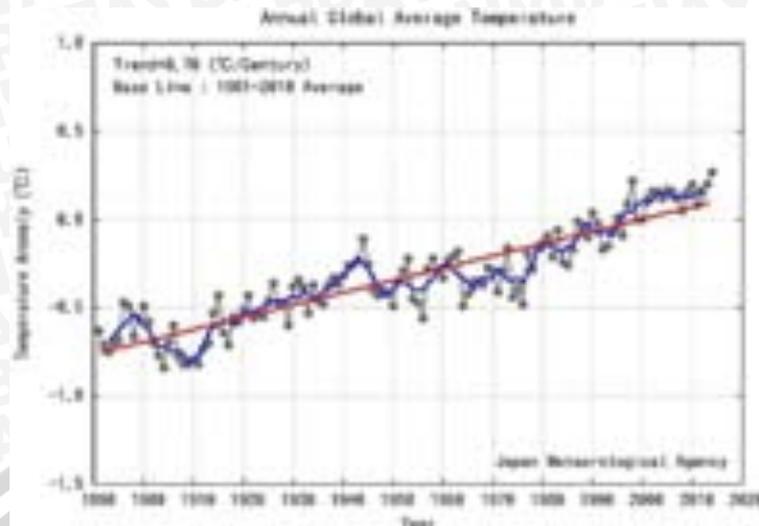
1.1 Latar Belakang

Global warming menjadi isu yang banyak dibahas dalam kurun waktu beberapa tahun terakhir. *Global warming* atau pemanasan global merupakan peningkatan suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan bumi (Wikipedia, 2015). Pada permukaan bumi, selama seratus tahun terakhir suhu rata-rata telah meningkat $0.74 \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ ($1.33 \pm 0.32^{\circ}\text{F}$). Penyebab *global warming* salah satunya adalah efek rumah kaca.

Radiasi matahari ke permukaan bumi mengandung energi yang sebagian besar berupa gelombang pendek, yang berubah menjadi panas dan menghangatkan bumi. Sebagian panas akan diserap oleh permukaan bumi, sedangkan sisanya akan dipantulkan kembali sebagai radiasi panas berwujud radiasi infra merah gelombang panjang ke angkasa luar. Namun sebagian panas tetap terperangkap di atmosfer bumi, sehingga menyebabkan penumpukan jumlah gas rumah kaca, antara lain karbon dioksida, uap air, sulfur dioksida, dan metana yang menjadi perangkap gelombang radiasi. Gas-gas tersebut menyerap dan memantulkan kembali radiasi gelombang yang dipancarkan bumi, sehingga panas tersimpan di permukaan bumi, mengakibatkan suhu rata-rata tahunan bumi terus meningkat.

Perubahan iklim global, menurut Karyono (2010: 59), akan berdampak terhadap perubahan parameter iklim (suhu radiasi, suhu udara, kelembaban, kecepatan angin) di dalam kota, kawasan di sekitar bangunan, serta di dalam bangunan itu sendiri. Terkadang terdapat kekeliruan arsitek dalam merancang bangunan, yang menyebabkan bangunan tidak nyaman karena terlalu panas, sehingga dibutuhkan AC untuk mendinginkannya.

Pada tahun 2014 rata-rata suhu bumi tercatat 0.27°C lebih panas dari tahun 1981 hingga 2010, dan 0.63°C lebih panas bila dibandingkan dengan rata-rata suhu di abad ke-20. **Gambar 1.1** menunjukkan grafik perubahan suhu rata-rata bumi dari tahun 1890- 2014. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa suhu rata-rata bumi selalu mengalami peningkatan, salah satunya dikarenakan efek pemanasan global (dhnlr, 2015).



- Perubahan suhu rata-rata di permukaan bumi setiap tahun.
- Perubahan suhu pada setiap jangka waktu lima tahun.
- Perubahan suhu rata-rata secara garis besar (1890- 2014).

Gambar 1.1 Rata-rata suhu udara tahunan

Sumber: <http://dhnlr.com/content/2014-tahun-terpanas-di-dunia>

Selain peningkatan suhu rata-rata di permukaan bumi, Karyono (2010: 68) menyebutkan bahwa perubahan pola iklim, kekeringan dan kebakaran hutan, peningkatan hujan badai dan banjir, merebaknya berbagai penyakit, pemanasan air laut, serta mencairnya es di kutub, dan kenaikan permukaan air laut juga merupakan konsekuensi dari pemanasan bumi. Perubahan pola iklim dan kenaikan suhu udara rata-rata bumi secara tidak langsung mempengaruhi kehidupan di bumi, salah satunya adalah bangunan, karena akan mengubah lingkungan fisik tempat tinggal dan kegiatan sehari-hari manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung.

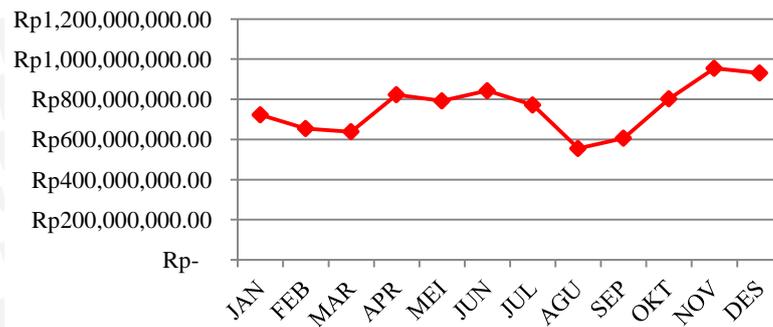
Faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan dan kemampuan mental dan fisik pengguna ruang adalah radiasi matahari, silau matahari, temperatur udara, curah hujan, kelembaban udara, serta angin (Lippsmeier, 1994: 19). Kenaikan suhu rata-rata di luar bangunan seharusnya dapat diantisipasi dan dimodifikasi melalui rancangan bangunan yang tepat, sehingga suhu yang dihasilkan di dalam bangunan sesuai dengan tingkat kenyamanan pengguna. Radiasi matahari di wilayah beriklim tropis seperti Indonesia, berlangsung sedang sampai tinggi (Lippsmeier, 1994: 14), akan berakibat pada besarnya panas yang diterima oleh bangunan, yang selanjutnya akan mempengaruhi performa bangunan.

Performa bangunan berkaitan dengan kinerja bangunan dalam menjalankan fungsinya, baik secara struktural maupun arsitektural. Semakin

besar volume bangunan, maka dibutuhkan performa bangunan yang lebih bila dibandingkan dengan bangunan yang lebih kecil. *Mid rise building* merupakan bangunan dengan ketinggian lima sampai dengan delapan lantai, sedangkan *high rise building* memiliki ketinggian lebih dari delapan lantai. Dengan ketinggian bangunan yang lebih dari empat lantai, sangat memungkinkan permukaan bangunan untuk lebih banyak terpapar radiasi matahari. Apabila dikaitkan dengan kondisi iklim, maka elemen bangunan yang berkaitan langsung dengan radiasi matahari adalah selubung bangunan, seperti atap, dinding luar, pintu, dan jendela.

Salah satu contoh performa bangunan yang berkaitan dengan penerimaan radiasi matahari adalah berupa desain fasad bangunan yang menggunakan *shading device* di atas jendelanya. Penggunaan *shading device* bertujuan untuk melindungi atau menaungi fasad agar tidak terpapar sinar dan panas matahari yang berlebihan. Performa *shading device* akan menjadi tidak maksimal apabila dirancang dengan tidak memperhitungkan kondisi matahari setempat, sehingga menyebabkan panas dan silau matahari tidak menaungi bukaan secara maksimal. Contoh lain adalah apabila permukaan fasad cukup luas, maka panas yang diterima oleh permukaan bangunan akan menjadi lebih besar, terutama apabila orientasi fasad kurang tepat. Oleh karena itu pada saat proses perancangan, arah hadap serta posisi bukaan harus diperhatikan dan diperhitungkan sesuai dengan kondisi matahari setempat.

Gedung kantor merupakan salah satu fungsi bangunan yang mayoritas jenis bangunannya berupa *mid rise building* atau *high rise building*. Penerimaan radiasi matahari pada fasad sangat dipengaruhi oleh orientasi, bentuk massa, dan desain fasad bangunan. Studi kasus yang digunakan adalah *mid rise building* di lingkungan Universitas Brawijaya, yang terdiri dari enam sampai dengan delapan lantai. dengan fungsi bangunan kantor dan perkuliahan (ruang kelas). Sebagian besar bangunan fakultas menggabungkan kedua fungsi tersebut dalam satu gedung. Pembangunan beberapa gedung bertingkat yang dilakukan Universitas Brawjaya, berdampak pada meningkatnya tagihan listrik yang mencapai milyaran rupiah per tahun, sehingga menuntut Universitas Brawijaya untuk melakukan tindakan konservasi energi listrik (prasetya.ub, 2009).



Gambar 1.2 Grafik tagihan listrik Universitas Brawijaya tahun 2014
Sumber: Data tagihan rekening listrik Universitas Brawijaya tahun 2014

Berdasarkan data tagihan rekening listrik pada tahun 2014, total tagihan listrik Universitas Brawijaya mencapai Rp 9.093.694.322,00. Tagihan rekening listrik terendah pada bulan Agustus sebesar Rp 554.996.464,00, sedangkan yang tertinggi pada bulan November sebesar Rp 954.285.600,00. Pada grafik dapat dilihat bahwa tagihan rekening listrik cenderung mengalami peningkatan pada bulan September hingga November (**Gambar 1.3**).

Salah satu indikasi dari tingginya tingkat konsumsi energi adalah besarnya beban pendinginan yang menuntut penggunaan mesin pendingin ruangan. Beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya beban pendinginan adalah orientasi bangunan, bentuk massa bangunan, dan desain fasad bangunan. Orientasi bangunan yang terdapat di lingkungan Universitas Brawijaya harus menyesuaikan dengan tapak dan bangunan sekitar, sehingga sangat kecil kemungkinan untuk merancang bangunan dengan orientasi yang optimal. Orientasi yang membujur dari Utara ke Selatan akan menyebabkan sisi terpanjang bangunan terpapar matahari lebih banyak.

Sebagian besar bentuk massa bangunan bertingkat di lingkungan Universitas Brawijaya adalah persegi panjang, sehingga memiliki volume bangunan dan luas permukaan luar bangunan yang cukup besar. Semakin besar luas permukaan luar bangunan (fasad), akan menyebabkan semakin besar radiasi panas yang diterima bangunan. Fasad bangunan eksisting umumnya terdiri dari dinding, pintu, dan jendela. Beberapa gedung menggunakan kaca menerus pada beberapa sisi fasadnya. Desain fasad, terutama jendela dan *shading device* yang tidak disesuaikan dengan kondisi iklim dan matahari setempat, maka akan mempengaruhi penerimaan panas pada permukaan bangunan. Bukaan yang luas tanpa pelindung akan memperbesar intensitas radiasi matahari yang mengenai

permukaan bangunan. Oleh karena itu perlu dilakukan simulasi untuk mengetahui penerimaan panas matahari pada fasad.

Apabila panas yang diterima bangunan berlebih, akan mengakibatkan suhu di dalam bangunan turut meningkat, sehingga menyebabkan ketidaknyamanan pengguna di dalam bangunan. Untuk mereduksi paparan panas matahari maka dibutuhkan rekomendasi desain fasad. Simulasi pada fasad eksisting dan fasad alternatif dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Autodesk Ecotect Analysis 2011*. Rekomendasi desain fasad, khususnya *shading device* nantinya akan berfungsi untuk mengurangi radiasi matahari langsung yang mengenai permukaan luar bangunan.

1.2 Identifikasi Masalah

1. Perubahan iklim akibat *global warming* secara tidak langsung turut mempengaruhi performa bangunan, khususnya fasad yang berkaitan dengan penerimaan radiasi panas matahari (*incident solar radiation*) pada permukaan luar bangunan.
2. Semakin besar luas permukaan luar (fasad) bangunan dan bukaan pada fasad, maka akan berpotensi menerima radiasi panas matahari yang semakin besar.
3. Universitas Brawijaya memiliki beberapa *mid rise building* dengan ketinggian mencapai enam sampai dengan delapan lantai, dengan orientasi dan bentuk massa bangunan yang berbeda-beda. Sebagian besar orientasi bangunan membujur dari Utara ke Selatan.
4. Beberapa gedung dekanat memiliki permukaan fasad yang cukup luas, dengan geometri bentuk bangunan adalah persegi panjang.
5. Jendela dan bukaan pada fasad ternaungi dengan ukuran *shading device* yang sama pada setiap sisi, baik sisi Utara, Selatan, Timur, maupun Barat.

1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh *shading devices* terhadap penerimaan radiasi matahari langsung (*direct radiation*) pada fasad Gedung Fakultas Peternakan Universitas Brawijaya?

2. Bagaimana rekomendasi desain *shading devices* yang dapat mengurangi penerimaan radiasi matahari langsung (*direct radiation*) pada fasad Gedung Fakultas Peternakan Universitas Brawijaya?

1.4 Batasan Masalah

1. Sampel dipilih berdasarkan data hasil observasi awal (jumlah lantai dan orientasi), dengan kriteria ketinggian bangunan delapan lantai serta orientasi massa bangunan membujur Utara-Selatan.
2. Objek yang akan diteliti adalah Gedung Fakultas Peternakan Universitas Brawijaya.
3. Aspek bangunan yang akan diteliti berkaitan dengan penerimaan radiasi matahari adalah permukaan luar bangunan (fasad), pada masing-masing sisi Utara, Selatan, Timur, dan Barat.
4. Aspek sains yang diteliti dan dibahas hanya melingkupi penerimaan radiasi matahari (*incident solar radiation*), sehingga tidak membahas mengenai kenyamanan termal, visual, dan audio pada fasad bangunan.
5. Jenis radiasi panas matahari sebagai variabel tetap adalah radiasi matahari langsung (*direct radiation*).
6. Aspek arsitektural sebagai rekomendasi untuk mengurangi penerimaan radiasi matahari langsung adalah elemen fasad, khususnya jendela adalah berupa *shading device* (pasif), dan tidak membahas mengenai rekonstruksi rekomendasi *shading device* pada fasad eksisting.
7. Rekomendasi *shading device* tidak berkaitan dengan karakteristik arsitektural *shading device* yang ada di lingkungan Universitas Brawijaya.
8. Simulasi penerimaan radiasi panas matahari (*incident solar radiation*) pada fasad menggunakan perangkat lunak *Autodesk Ecotect Analysis 2011*.

1.5 Tujuan

1. Mengetahui pengaruh *shading devices* terhadap penerimaan radiasi matahari langsung (*direct radiation*) pada fasad Gedung Fakultas Peternakan Universitas Brawijaya.
2. Mengetahui rekomendasi desain *shading devices* yang dapat mengurangi penerimaan radiasi matahari langsung (*direct radiation*) pada fasad Gedung Fakultas Peternakan Universitas Brawijaya.

1.6 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi beberapa pihak, antara lain:

1. Pihak Universitas Brawijaya

Diharapkan rekomendasi desain *shading device* dapat diterapkan pada gedung kantor dan perkuliahan yang lain di lingkungan Universitas Brawijaya agar dapat mengurangi penerimaan radiasi matahari langsung.

2. Akademisi

Dapat memberikan sumbangan pengetahuan tambahan, sebagai bahan acuan untuk studi selanjutnya.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi penjelasan secara umum mengenai latar belakang, identifikasi masalah, rumusan masalah, dan batasan masalah yang mengarah pada tujuan dan manfaat penulisan yang hendak dicapai.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi deskripsi mengenai objek penelitian, tinjauan teori mengenai penerimaan radiasi matahari (*incident solar radiation*) pada fasad bangunan, tinjauan mengenai tanggapan performa bangunan terhadap radiasi matahari khususnya elemen fasad (*shading device*), tinjauan instrumen simulasi, dan studi penelitian terdahulu.

BAB III : METODE PENELITIAN

Berisi gambaran umum mengenai metodologi yang digunakan untuk memproses data yang ada untuk kemudian menghasilkan rekomendasi desain *shading device*.

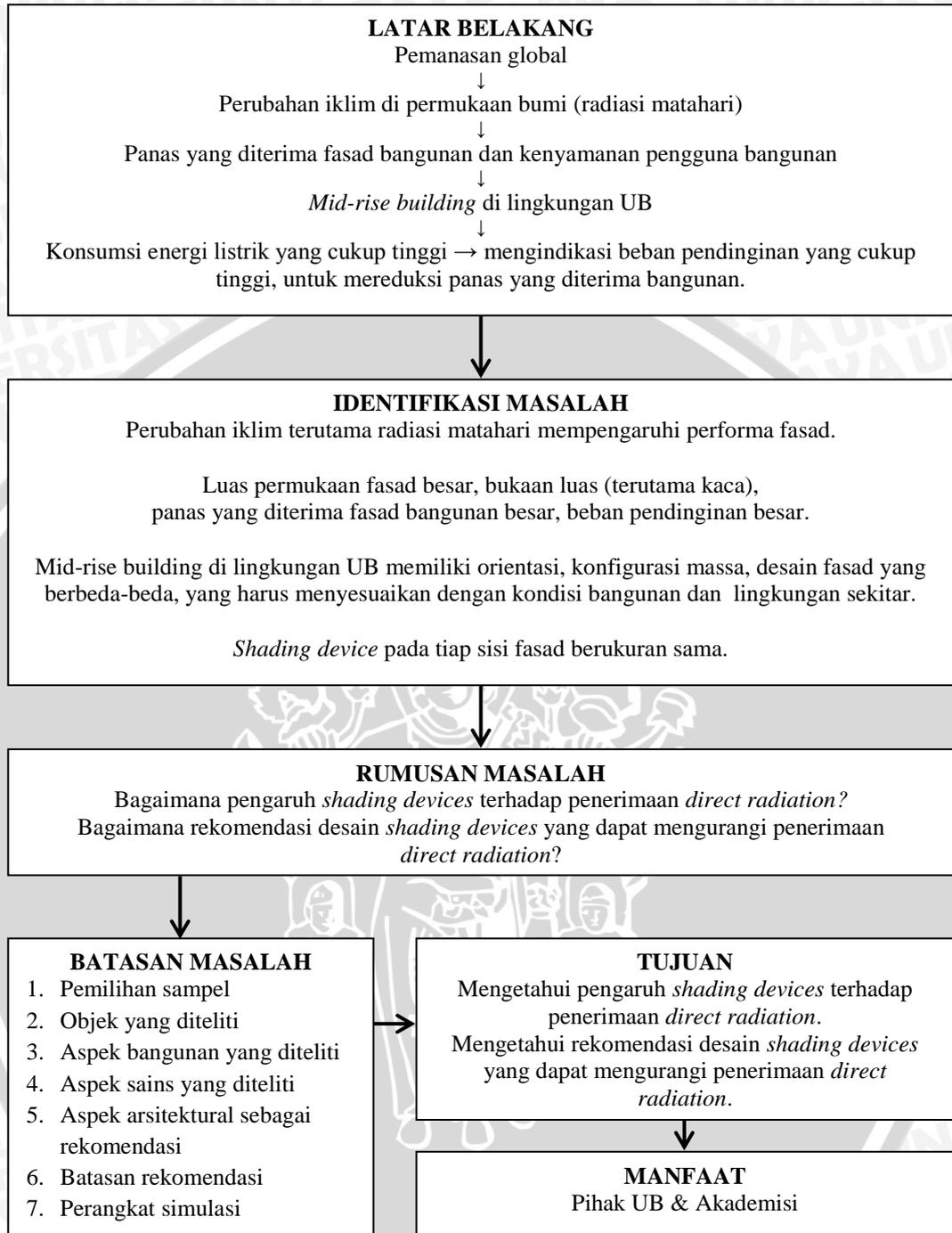
BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi proses analisis data dan pembahasan untuk memperoleh rekomendasi desain *shading device* yang menjadi satu dalam rangkaian proses penelitian.

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran yang diambil dari keseluruhan proses penelitian.

1.8 Kerangka Pemikiran



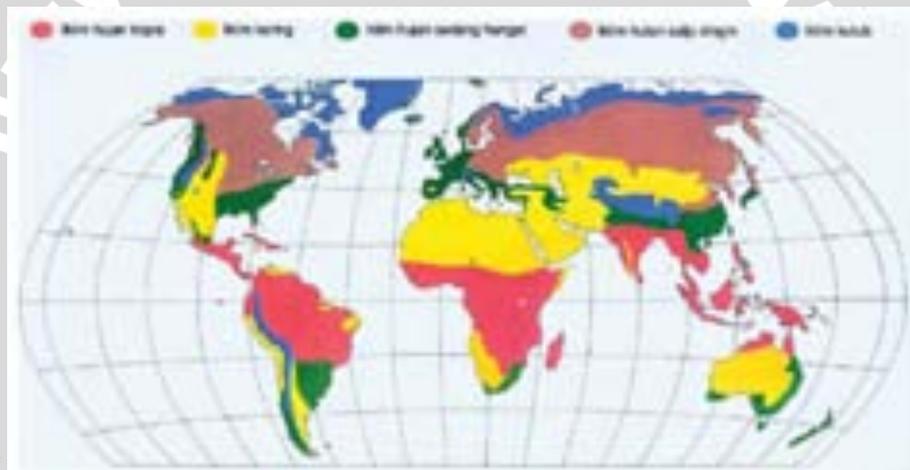
Gambar 1.3 Bagan kerangka pemikiran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kondisi Iklim Tropis

Dalam proses perancangan perlu diperhatikan mengenai aspek iklim, karena sangat berpengaruh terhadap performa dan pengguna bangunan. Aspek iklim tersebut antara lain nilai-nilai menengah dan ekstrim serta fluktuasi dari temperatur (siang-malam), nilai kelembaban, kondisi atmosfer, arah pergerakan matahari, intensitas hujan, dan sebagainya. Indonesia berada di wilayah iklim tropis, dengan ciri utama iklim tropis adalah temperatur yang cukup tinggi, sehingga diperlukan konstruksi bangunan, terutama yang memiliki fungsi perlindungan terhadap pengaruh panas yang berlebihan (Lippsmeier, 1994: 18).



Gambar 2.1 Penggolongan iklim

Sumber: <http://cantikaIndonesia.blogspot.com/search/label/klimatologi>

Indonesia berada di daerah hutan hujan tropis, yang terletak di sekitar khatulistiwa sampai sekitar 15° Utara dan Selatan dengan perbedaan musim yang cukup kecil. Pada belahan bumi Selatan, bulan April- Juni merupakan bulan terdingin, sedangkan bulan Oktober- Februari merupakan bulan terpanas dengan curah hujan tertinggi.

Menurut Lippsmeier (1994: 14), ciri-ciri radiasi matahari dan panas pada daerah hutan hujan tropis adalah sebagai berikut:

- Radiasi matahari berlangsung sedang sampai tinggi.
- Bayangan alamiah yang terbentuk sangat banyak.
- Radiasi matahari yang terdifusi menembus awan dan uap.
- Pantulan radiasi matahari oleh awan sedang.

- Refleksi radiasi matahari secara langsung pada tanah hanya sedikit, karena tanah banyak menyerap panas, sehingga pertukaran panas dari tanah ke tubuh manusia juga sedikit.

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada bangunan yang berada di daerah hutan hujan tropis adalah bangunan sebaiknya terbuka dengan jarak yang cukup antar massa agar sirkulasi udara dapat berlangsung dengan baik. Untuk mencegah pemanasan pada fasad yang lebih lebar, maka orientasi yang baik adalah Utara-Selatan. Ruang di sekitar bangunan dapat dimanfaatkan sebagai ruang peneduh, tanpa mengganggu sirkulasi udara. Salah satu jenis bangunan yang cukup baik adalah bangunan dengan konstruksi ringan dengan daya serap panas yang rendah.

2.2 Radiasi Matahari

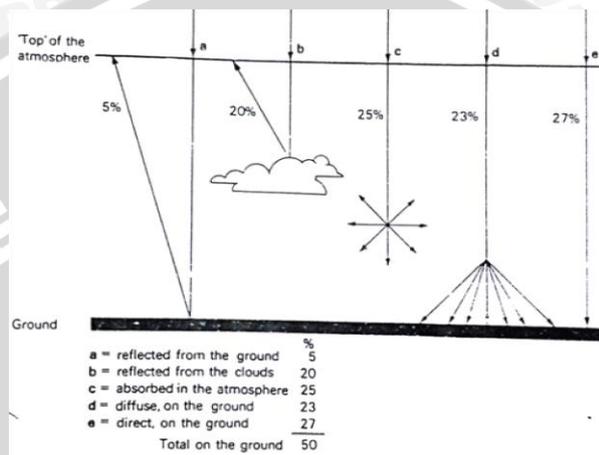
Radiasi matahari merupakan penyebab utama terjadinya iklim dan sangat berpengaruh terhadap kehidupan manusia, khususnya yang berkaitan dengan kenyamanan termal dan visual. Kekuatan efektif radiasi matahari ditentukan oleh energi radiasi (insolasi) matahari, pemantulan pada permukaan bumi, berkurangnya radiasi oleh penguapan, dan arus radiasi di atmosfer. Menurut Szokolay (2004: 25), radiasi matahari dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

- Radiasi (W/m^2), yang selanjutnya disebut intensitas, yaitu kepadatan aliran sesaat atau energi massa jenis.
- Iradiasi (J/m^2 atau Wh/m^2), merupakan kuantitas energi yang terintegrasi dalam periode waktu tertentu (jam, hari, bulan, atau tahun).

Permukaan matahari memiliki suhu sekitar $6000^\circ C$. Puncak emisi radiasi spektrum matahari adalah sekitar 500 nm panjang gelombang cahaya, dengan batas minimum 200 nm dan maksimum 3000 nm. Radiasi matahari terdiri dari beberapa unsur radiasi (Szokolay, 2004: 25), yaitu:

- Sinar ultraviolet, 200- 380 nm, yang menghasilkan *photochemical effects*, *bleaching*, *sunburn*, dan lain-lain.
- Cahaya, atau radiasi yang tidak terlihat, dari 380 (ungu) hingga 700 nm (merah).
- Sinar infrared pendek, 700- 3000 nm, atau radiasi termal dengan beberapa *photochemical effects*.

Menurut Koenigsberger (1973: 7), pada saat menuju permukaan bumi, radiasi matahari melewati atmosfer yang sebagian mengandung debu dan uap air. Sebanyak 5% radiasi matahari akan dipantulkan kembali dari tanah, 20% dipantulkan dari awan, 25% diserap oleh atmosfer. Radiasi matahari yang menuju permukaan bumi, adalah sebesar 23% merupakan radiasi langsung, sedangkan 27% merupakan radiasi yang menyebar, seperti yang terlihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Radiasi matahari
Sumber: Koenigsberger, 1973: 7

Menurut Lippsmeier (1994: 19), radiasi yang diterima bumi dipengaruhi oleh empat faktor, yaitu:

- Jarak matahari

Jarak bumi dan matahari yang mengalami perubahan akan menimbulkan fluktuasi terhadap penerimaan radiasi matahari sebesar $\pm 3.5\%$.

- Intensitas radiasi matahari

Intensitas radiasi merupakan jumlah energi matahari yang diterima permukaan bumi. Besarnya intensitas radiasi matahari ditentukan oleh energi radiasi absolut, energi yang hilang pada atmosfer, sudut jatuh pada bidang yang disinari, dan penyebaran radiasi. Jumlah energi yang diterima berbanding dengan besarnya sudut datang.

- Lama penyinaran matahari (*sun duration*)

Sun duration merupakan jarak dan lamanya waktu antara matahari terbit dan matahari terbenam. Lamanya penyinaran dapat diukur dengan otografis sinar matahari secara fotografis dan termoelektris. Lama penyinaran maksimum mencapai 90%. Durasi harian penyinaran matahari dipengaruhi oleh musim, garis lintang geografis lokasi bangunan, dan densiti awan.

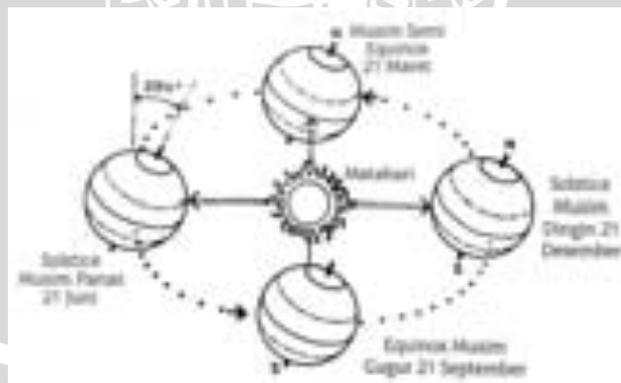
- Sudut jatuh sinar matahari

Sudut jatuh ditentukan oleh posisi relatif matahari, serta dipengaruhi oleh sudut lintang geografis bangunan, musim pada wilayah setempat, dan lama penyinaran harian, yang ditentukan oleh garis bujur geografis bangunan.

2.2.1 Posisi Bumi terhadap Matahari

Secara astronomis Indonesia terletak pada koordinat 6°LU - $11^{\circ}08'\text{LS}$ dan 95°BT - $141^{\circ}45'\text{BT}$. Berada di sekitar garis khatulistiwa, menyebabkan iklim di Indonesia adalah iklim tropis lembab, sehingga memiliki dua musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau dengan lama penyinaran matahari rata-rata 12 jam per hari. Musim hujan berlangsung pada bulan Oktober- Maret, sedangkan musim kemarau berlangsung pada bulan April- September.

Garis edar bumi mengelilingi matahari tidak berbentuk lingkaran, tetapi berbentuk elips, yang menyebabkan jarak antara bumi dan matahari bervariasi. Jarak tersebut bervariasi sekitar 3.5%, sehingga mengakibatkan perubahan kecil pada intensitas radiasi matahari yang diterima bumi setiap tahunnya. Letak matahari yang sangat jauh dan posisinya yang berada di permukaan orbit bumi, radiasi matahari yang mencapai bumi selalu paralel dengan permukaan bumi. Pada saat bumi berputar mengelilingi matahari, bumi berputar pada porosnya, yaitu Utara-Selatan dengan kemiringan sudut sebesar 23.5° dari sudut tegak lurus.

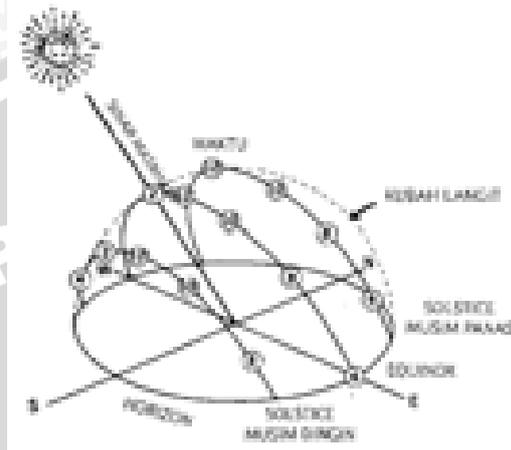


Gambar 2.3 Posisi bumi terhadap matahari
Sumber: Lechner, 2007: 145

Karena bumi berputar mengelilingi matahari pada porosnya dengan kemiringan tetap sebesar 23.5° , menyebabkan sudut datang sinar matahari pada permukaan bumi selalu berubah sepanjang tahun. Pada tanggal 21 Maret dan 21 September matahari berada tegak lurus pada garis khatulistiwa, yang dikenal

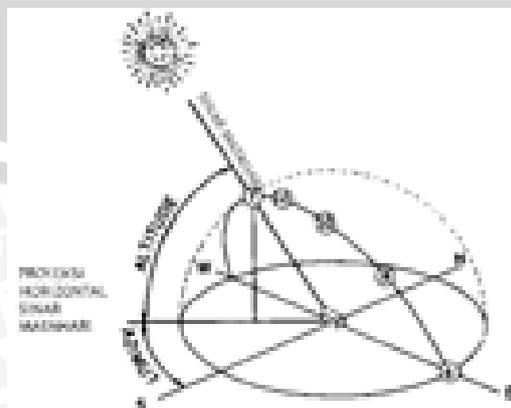
sebagai *equinox*. Pada tanggal 21 Juni sisi belahan bumi bagian Utara akan menerima cahaya matahari selama 24 jam, sebaliknya pada tanggal 21 Desember sisi belahan bumi bagian Selatan yang akan menerima cahaya matahari lebih panjang (Lechner, 2007: 144).

2.2.2 Sudut Datang Sinar Matahari



Gambar 2.4 Kubah langit
Sumber: Lechner, 2007: 148

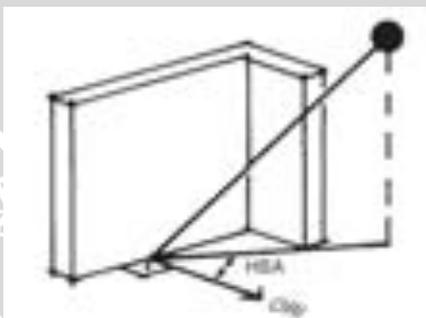
Menurut Lechner (2007: 148), kubah langit merupakan garis khayal yang ditempatkan di atas lokasi bangunan. Apabila titik-titik jam di saat sinar matahari menembus dalam satu hari dihubungkan, maka akan didapatkan suatu garis jalur matahari (*sun path*) di hari itu. Matahari masuk kubah langit hanya di antara jalur matahari pada titik balik matahari paling tinggi (21 Juni) dan paling rendah (21 Desember). Pada kubah langit, radiasi matahari sangat lemah pada awal dan akhir hari, sehingga sisi yang paling bermanfaat untuk masuknya sinar matahari disebut jendela matahari (*solar window*). Jendela matahari yang konvensional diasumsikan mulai pukul 09.00- 15.00.



Gambar 2.5 Altitude – azimuth
Sumber: Lechner, 2007: 150

Komponen paling berguna untuk menghitung sudut sinar matahari adalah menggunakan komponen sudut. *Altitude* merupakan sudut vertikal dari proyeksi matahari, sedangkan azimut merupakan sudut horizontal yang diukur dari garis Utara-Selatan. Posisi matahari terhadap bangunan akan membentuk sudut vertikal dan horizontal. Geometri shading akan terbentuk melalui dua sudut bayangan, yaitu sudut bayangan vertikal (*vertical shadow angle/ VSA*) dan sudut bayangan horizontal (*horizontal shadow angle/ HSA*). HSA merupakan sudut horizontal matahari terhadap orientasi dinding. Dinding dengan orientasi Utara, maka HSA sama dengan azimut. Sudut HSA dapat dihitung dengan menggunakan rumus pada **Persamaan 2.1**.

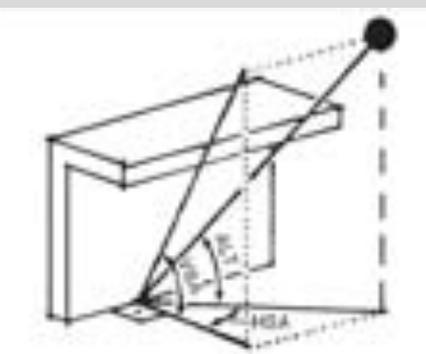
Sudut HSA = sudut azimut – sudut ORI (orientasi fasad)



Gambar 2.6 Horizontal Shadow Angle (HSA)
Sumber: Szokolay, 2004: 270

VSA merupakan sudut antara orientasi dinding dengan garis vertikal yang diambil tegak lurus dari tangen *altitude*. VSA dipengaruhi oleh *altitude* dan HSA. Sudut HVA dapat dihitung dengan menggunakan rumus pada **Persamaan 2.2**.

Sudut VSA = $\tan^{-1} \{ \tan (ALT) / \cos (HSA) \}$



Gambar 2.7 Vertical Shadow Angle (VSA)
Sumber: Szokolay, 2004: 270

2.2.3 Radiasi Matahari di Kota Malang

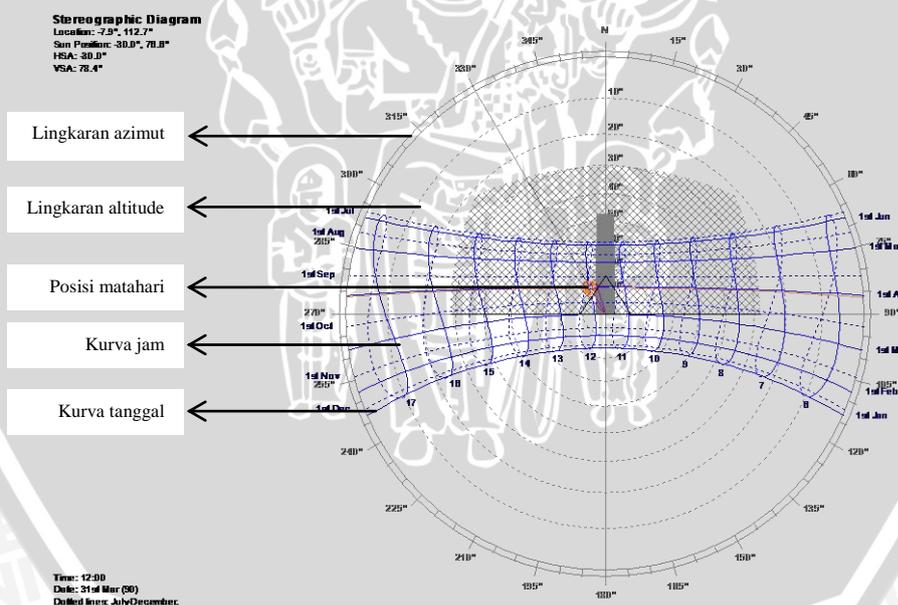
Besar intensitas radiasi matahari di Kota Malang berdasarkan data *Weather Tools* pada program simulasi *Ecotect* terdapat pada **Tabel 2.1**. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa intensitas radiasi tertinggi pada bulan Oktober sebesar 6891 Wh/m², sedangkan intensitas radiasi terendah pada bulan Februari sebesar 4379 Wh/m².

Tabel 2.1 Solar Radiasi di Kota Malang

Bulan	Solar Radiai (Wh/m ²)	Bulan	Solar Radiai (Wh/m ²)
Januari	4930	Juli	6008
Februari	4379	Agustus	6673
Maret	5847	September	6281
April	5053	Oktober	6891
Mei	5368	November	5453
Juni	5353	Desember	4710

Sumber: Autodesk Ecotect Analysis 2011

Gambar 2.8 menunjukkan diagram jalur matahari vertikal (sun path) Kota Malang. Sun path menunjukkan jalur matahari dan informasi pembayangan pada diagram matahari. Posisi kurva tanggal dan kurva jam sesuai dengan posisi lintang bangunan.



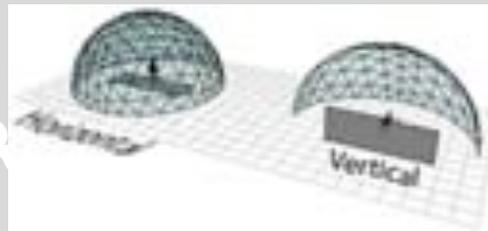
Gambar 2.8 Sun path Kota Malang
 Sumber: Autodesk Ecotect Analysis 2011

2.2.4 Incident Solar Radiation

Berdasarkan teori *solar radiation* yang dijelaskan pada *software Autodesk Ecotect Analysis 2011*, *incident solar radiation* atau yang disebut dengan *insolation* merupakan jumlah total energi radiasi matahari yang diterima

pada suatu permukaan (bangunan) pada waktu tertentu. *Insolation* terdiri dari *direct radiation* dan *diffuse radiation*.

Direct radiation merupakan radiasi yang berasal dari matahari itu sendiri (sunshine), yang dihitung pada permukaan vertikal (bangunan) yang langsung menghadap bangunan. *Diffuse radiation* merupakan radiasi yang berasal dari komponen langit (*skylight*) dikurangi dengan jumlah *direct radiation*, yang dihitung pada permukaan horizontal (bangunan), seperti yang terlihat pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2.9. *Direct dan diffuse radiation*
Sumber: Autodesk Ecotect Analysis 2011

Satuan yang digunakan untuk menunjukkan energi radiasi matahari adalah Wh/m^2 (*watt-hour per square metre*). Apabila energi tersebut dibagi dengan jumlah waktu penghitungan radiasi (*hour*), maka densitas energinya disebut *irradiance*, satuannya adalah W/m^2 (*watt per square metre*).

Agar panas yang diterima bangunan tidak berlebih, maka perlu batas minimum intensitas radiasi matahari. Berdasarkan SNI 03-6389-2000, batas perolehan panas dari radiasi matahari melalui selubung bangunan, yaitu dinding dan atap, nilai perpindahan termal menyeluruh untuk selubung bangunan tidak lebih dari 45 Watt/m^2 .

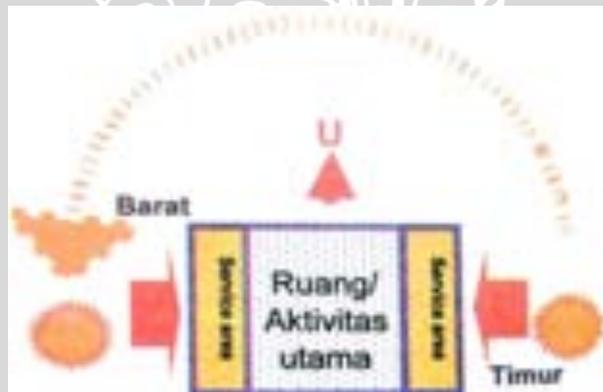
2.3 Bangunan di Kawasan Iklim Tropis

Menurut Yeang (1999: 202), bangunan yang berada di kawasan tropis membutuhkan beberapa mode rancangan pasif seperti penghawaan alami, pencahayaan alami, dan *solar control/ shading*, sehingga dibutuhkan beberapa strategi untuk mencapai kenyamanan fisik di dalam bangunan, terutama untuk bangunan yang berada di kawasan tropis lembab, seperti Indonesia. Kondisi bangunan yang menyesuaikan dengan kondisi iklim setempat, akan menghasilkan bangunan tanggap iklim. Selain untuk mencapai kenyamanan fisik, keuntungan dari bangunan yang dikondisikan dengan iklim setempat adalah pengurangan penggunaan energi pada bangunan.

Salah satu unsur iklim yang menjadi perhatian adalah radiasi matahari. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa intensitas radiasi matahari selalu berubah sepanjang waktu. Semakin besar radiasi matahari yang mengenai bangunan, maka akan meningkatkan suhu (panas) di dalam bangunan, yang kemudian akan menuntut penggunaan mesin pendingin di dalam ruangan, sehingga meningkatkan beban pendinginan dan konsumsi energi bangunan.

Menurut Lippsmeier (1994: 33), panas di dalam suatu konstruksi bangunan, tergantung pada pertukaran panas antara dinding-dinding luar dengan daerah di dekat bangunan tersebut, sedangkan radiasi langsung pada sebuah dinding tergantung pada orientasi dinding terhadap matahari. Di wilayah beriklim tropis, fasad timur dan barat paling banyak terpapar radiasi matahari, tetapi radiasi tidak-langsung dapat berpengaruh dari arah hadap fasad atau bagian bangunan yang disebabkan oleh awan yang menutupi langit. Jika tidak dicegah, panas yang diterima bangunan akan masuk melalui atap dan dinding. Oleh karena itu, pemilihan bahan material pada atap maupun dinding sangat perlu diperhatikan, karena sebagian besar material akan menyerap sekitar 50%-95% radiasi matahari.

2.3.1 Orientasi Bangunan

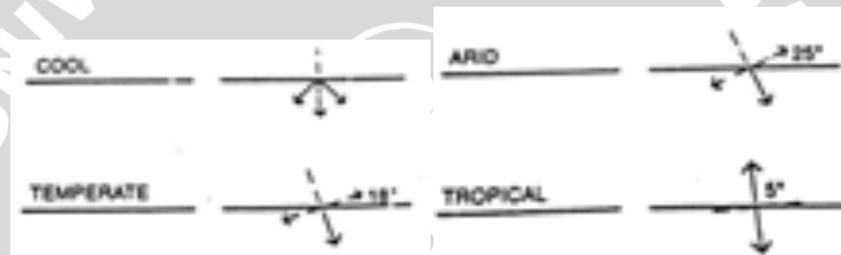


Gambar 2.10 Alternatif orientasi bangunan
Sumber: Karyono, 2010: 142

Berdasarkan percobaan Giovani dalam Karyono (2010: 141), sisi Barat-Timur bangunan yang berada di kawasan garis khatulistiwa mendapatkan panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan sisi Utara-Selatan. Orientasi bangunan juga berpengaruh terhadap suhu di dalam bangunan. Suhu rata-rata ruang pada sisi dinding Timur-Barat lebih tinggi bila dibandingkan dengan suhu ruang pada sisi Selatan. Orientasi yang cukup baik untuk bangunan adalah Utara-Selatan

(memanjang Timur-Barat). Seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 2.10**, area servis dapat diletakkan di sisi Timur dan Barat, sedangkan ruang aktivitas utama sebisa mungkin dihindarkan dari sisi Barat, karena dinding sisi Barat akan mendapatkan radiasi matahari siang dan sore hari yang sangat tinggi.

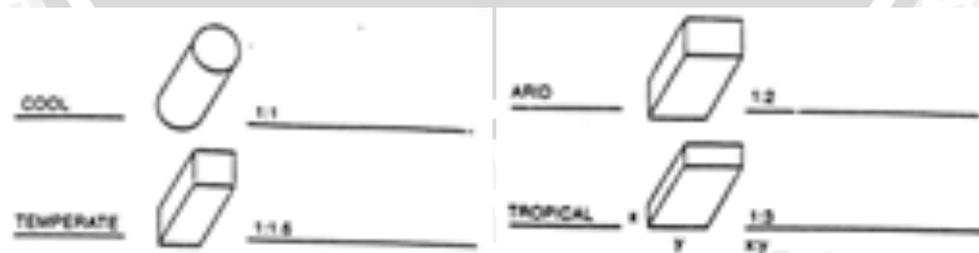
Menurut Yeang (1999: 209), strategi rancangan pasif yang berkaitan dengan bentuk bangunan adalah posisi bangunan di tapak dan orientasi bangunan terhadap arah datang matahari serta arah angin. Karena orientasi bangunan erat kaitannya dengan sudut datang matahari, maka bangunan yang berada di zona iklim tropis, harus melintang dari Timur ke Barat untuk mereduksi radiasi panas matahari terhadap sisi terpanjang bangunan. Pada iklim tropis, orientasi utama bangunan menghadap ke Utara dan Selatan dengan kemiringan 5° dari Utara ke Timur, seperti yang terlihat pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2.11 Orientasi bangunan
Sumber: Yeang, 1999: 210

Orientasi bangunan dan perlindungan terhadap cahaya matahari, sebaiknya bukaan pada fasad menghadap ke selatan atau utara, untuk menghindari radiasi langsung dari sinar matahari rendah yang menimbulkan penambahan panas. Khususnya pada bangunan di wilayah iklim tropis basah, diperlukan pelindung untuk semua bukaan pada fasad terhadap radiasi matahari langsung maupun tidak langsung Lippmeier (1994: 21).

2.3.2 Konfigurasi Massa Bangunan



Gambar 2.12 Konfigurasi massa bangunan
Sumber: Yeang, 1999: 205

Secara umum konfigurasi massa bangunan pada bangunan tinggi sebaiknya memiliki rasio W/L atau perbandingan lebar dengan panjang bangunan adalah 1:2 sampai dengan 1:3, seperti yang terlihat pada **Gambar 2.12**. Konfigurasi massa dan rasio W/L tersebut perlu diperhatikan, terutama untuk bangunan yang berada zona garis ekuator, yaitu konfigurasi yang sesuai adalah panjang dua kali lebih besar dari lebar (Yeang, 1999: 205).

2.3.3 Desain Fasad Bangunan

Fasad merupakan permukaan luar bangunan, yang seringkali dirancang semenarik mungkin, tanpa memperhatikan kondisi iklim setempat. Pada beberapa bangunan tinggi, banyak ditemukan penggunaan kaca sebagai material penyusun fasad. Sinar matahari yang langsung menembus bidang kaca, radiasi yang dipancarkan matahari dalam bentuk gelombang pendek akan memanaskan benda-benda di dalam ruangan, seperti meja, kursi, manusia, dan kaca itu sendiri. Akibat pemanasan tersebut, benda-benda akan memancarkan kembali radiasinya dalam bentuk gelombang panjang, ke udara di sekelilingnya.

Material kaca umumnya tidak dapat meneruskan gelombang panjang, sehingga panas yang ditimbulkan oleh benda-benda tersebut akhirnya tidak dapat keluar dari ruangan, sehingga terperangkap di dalamnya. Hal tersebut mengakibatkan kenaikan suhu di dalam ruangan akibat radiasi (efek rumah kaca), seperti yang terlihat pada **Gambar 2.13**.



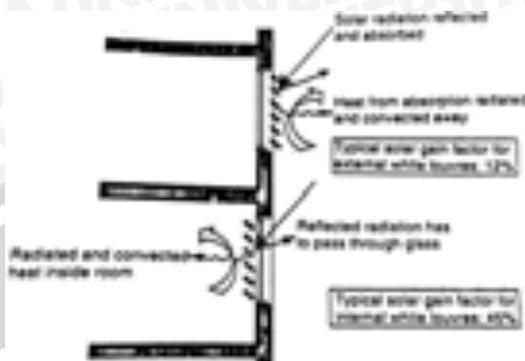
Gambar 2.13 Efek rumah kaca

Sumber: Karyono, 2010: 145

Cara kedua untuk mereduksi radiasi matahari adalah dengan mengurangi transmisi panas masif dari dinding masif yang terkena radiasi matahari langsung karena matahari memancarkan radiasi panas dan sebagian akan diserap bangunan.

Menurut Yeang (1999: 215), fasad memiliki peran besar dalam penerimaan panas matahari. Fasad berkaitan dengan pencahayaan, panas, dan angin serta transparansi visual yang harus dikontrol dan dapat dimodifikasi, sehingga dapat beradaptasi dengan perubahan kondisi cuaca. Faktor-faktor yang

mempengaruhi fasad adalah perlindungan panas, proteksi silau, proteksi perubahan suhu, serta optimasi penghawaan alami. Pelindung matahari yang diletakkan di luar bangunan akan lebih efektif melindungi bangunan dari panas matahari (**Gambar 2.14**).

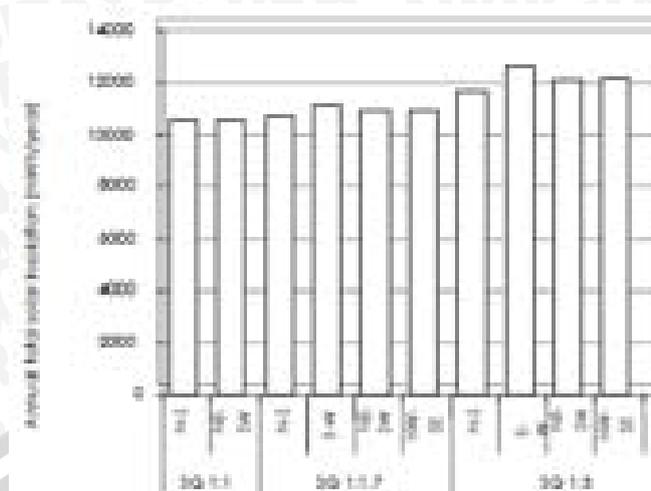


Gambar 2.14 Efektifitas louvers mereduksi radiasi panas matahari
Sumber: Yeang, 1999: 221

2.3.4 Keterkaitan Performa Bangunan dengan Radiasi Matahari

Berlebihnya panas yang diterima permukaan bangunan akan mempengaruhi performa bangunan, khususnya yang berkaitan dengan beban pendinginan. Salah satu akibat dari tingginya beban pendinginan adalah penggunaan pendingin ruangan yang secara langsung akan meningkatkan konsumsi energi listrik. Prinsip utama menurunkan panas di dalam bangunan adalah mengurangi perolehan panas (*heat gain*) radiasi matahari yang mengenai bangunan. Untuk mengurangi perolehan panas dapat dilakukan melalui pembayangan dari elemen bangunan itu sendiri, bangunan lain, atau vegetasi di sekitar bangunan (Karyono, 2010: 140).

Menurut Ling (2007: 35), dapat dilihat pada **Gambar 2.15** bahwa orientasi bangunan yang menghadap Timur-Barat menerima radiasi panas yang paling besar dibandingkan dengan orientasi bangunan yang menghadap Tenggara- Barat Laut, Timur Laut- Barat Daya, dan Utara-Selatan. Pada *high-rise building*, dinding vertikal akan menerima 86.67% dari total radiasi tahunan. Bentuk geometri persegi dengan rasio panjang: lebar 1:3 menerima radiasi matahari lebih besar bila dibandingkan dengan bentuk geometri persegi dengan rasio 1:1 dan 1:1.7.



Gambar 2.15 Grafik perbandingan penerimaan panas berdasar rasio W/L dan orientasi
Sumber: Ling (2007: 35)

Perbandingan luas bukaan dengan dinding bagian luar bangunan merupakan salah satu faktor yang berperan penting terhadap konsumsi energi. Semakin besar jendela atau bukaan pada dinding, maka radiasi matahari dan konduksi panas yang masuk ke dalam bangunan melalui jendela akan semakin besar, sehingga membutuhkan energi untuk mendinginkan ruangan yang lebih besar. Selain besar bukaan, pemilihan bahan selubung bangunan juga berpengaruh pada panas yang diterima bangunan. Bahan selubung yang bersifat reflektif dan bahan kaca bermutu tinggi atau yang berkanopi dapat mengurangi panas yang diterima bangunan, menjadikan beban pendinginan lebih rendah, sehingga konsumsi energi berkurang.

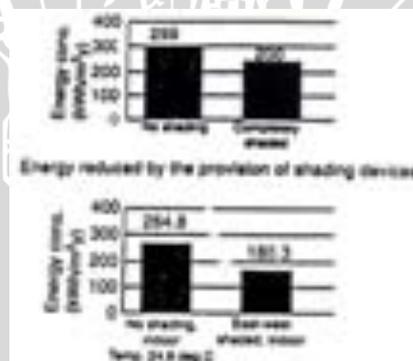
Menurut Loekita (2006: 97), semakin besar luas lantai dan nilai WWR (*window to wall ratio*), maka semakin besar nilai perpindahan termal menyeluruh pada bidang dinding luar bangunan dan beban pendinginan eksternal maksimum. Perlu dilakukan upaya untuk mereduksi radiasi matahari yang mengenai fasad, terutama panas matahari. Dengan mereduksi panas yang mengenai permukaan bagian luar bangunan, diharapkan dapat menurunkan beban pendinginan bangunan.

Pada sistem tata udara, menurut Loekita (2006: 95), beban pendinginan bangunan gedung terdiri dari beban internal dan beban eksternal. Beban internal adalah beban yang ditimbulkan oleh penghuni, lampu, dan peralatan lain yang menimbulkan panas, sedangkan beban eksternal adalah beban panas yang masuk ke dalam bangunan sebagai akibat dari radiasi matahari, konduksi, dan infiltrasi/ventilasi melalui selubung bangunan. Konsep utama penghematan energi yang

berkaitan dengan beban pendinginan adalah mengurangi perolehan panas (*heat gain*) radiasi matahari yang mengenai bangunan. Jika perolehan panas matahari dapat dikurangi, maka suhu udara di dalam bangunan relatif menjadi lebih rendah dibandingkan dengan suhu udara di luar bangunan.

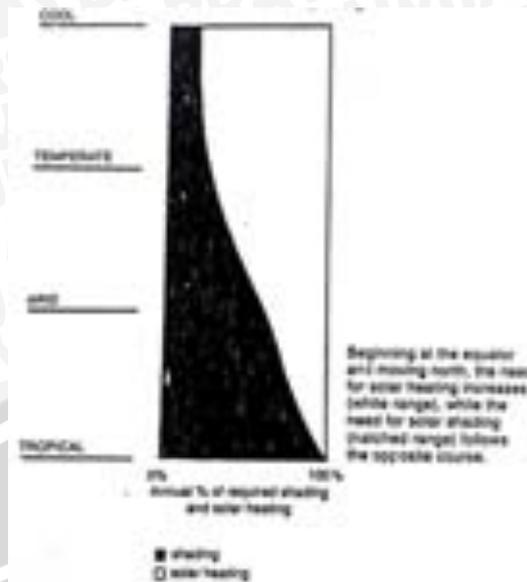
Penggunaan kaca sebagai material pada fasad menurut Santoso (2005: 74), dapat meningkatkan perolehan pencahayaan alami, sehingga menurunkan kebutuhan energi pencahayaan. Pada aspek penerimaan panas, kaca sebagai material fasad justru meningkatkan penerimaan panas pada bangunan, yang berakibat pada peningkatan beban pendinginan. Lonjakan kebutuhan energi untuk pendinginan jauh lebih besar bila dibandingkan dengan kebutuhan energi untuk pencahayaan. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan material kaca pada fasad juga berpengaruh terhadap aspek termal, khususnya penerimaan radiasi matahari pada arsitektur bangunan tinggi.

Secara umum, sisi terpanas bangunan, yaitu sisi Timur dan Barat membutuhkan *solar shading* untuk mengontrol silau, panas, dan pencahayaan ke dalam bangunan. *Louvers* dianggap cukup dapat mengontrol sudut datang matahari sepanjang hari, sehingga meminimalisir penerimaan panas matahari dan mengurangi suhu di dalam bangunan.



Gambar 2.16 Pengurangan konsumsi energi dengan penerapan *shading* pada bangunan
Sumber: Yeang, 1999: 220

Suhu di dalam bangunan yang lebih rendah dibanding suhu di luar ruangan dapat mengurangi beban pendinginan dan konsumsi energi bangunan, seperti pada grafik yang ditunjukkan **Gambar 2.16**. **Gambar 2.17** menunjukkan tingkat kebutuhan peneduh pada masing-masing wilayah iklim. Peneduh sangat dibutuhkan terutama pada bangunan di wilayah beriklim tropis.



Gambar 2.17 Kebutuhan *solar shading* dan *solar heating*
Sumber: Yeang, 1999: 220

2.4 Elemen Arsitektural Pelindung Bangunan dari Radiasi Matahari

Penggunaan pelindung matahari yang sama pada keempat fasad bangunan tidak rasional, sehingga setiap sisi fasad perlu ditinjau secara terpisah untuk mendapatkan pelindung cahaya matahari yang efektif (Lippsmeier, 1994: 21). Elemen bangunan yang dibutuhkan sebagai pelindung dari matahari adalah elemen horizontal dan elemen vertikal. Elemen horizontal yang menonjol sangat efektif untuk melindungi bangunan dari matahari di posisi yang tinggi, yaitu untuk fasad Utara dan Selatan. Elemen vertikal efektif melindungi bangunan pada saat matahari di posisi yang rendah, yaitu untuk fasad Timur dan Barat (Lippsmeier, 1994: 105).

1. Tirai horizontal

Bentuk paling sederhana dari tirai horizontal permanen adalah tritisan atap dan lantai yang menjorok keluar (balkon) (**Gambar 2.18** dan **Gambar 2.19**), sedangkan tirai horizontal yang dapat digerakkan adalah krey, awning atau kajang (**Gambar 2.20**), dan *lamella* (**Gambar 2.21**) apabila tidak membutuhkan kaca. Penggunaan tirai horizontal pada fasad harus memerhatikan jarak antar tirai agar udara panas tidak membentuk aliran panas pada fasad. Jarak minimum antar tirai adalah 10- 20 cm.



Gambar 2.18 Balkon pada fasad

Sumber:

<http://www.rieder.cc/fr/fr/main/references/reference/1/residential-building-diagonal-bilbao/>



Gambar 2.19 Tritisian pada Wisma Dharmala

Sumber:

<https://andrianarch.wordpress.com/2009/07/10/80/>



Gambar 2.20 Penerapan awning

Sumber: <http://www.markilux-na.com/multi-tenant-residential>

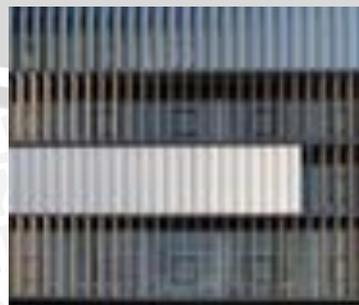


Gambar 2.21 Fasad dengan lamella

Sumber: <http://www.stone-ideas.com/2012/10/13/architecture-between-heaven-and-earth/>

2. Tirai vertikal

Efektivitas penggunaan tirai vertikal akan tercapai apabila tirai menghadap cahaya matahari dan membentuk dinding yang tertutup secara optik. Pandangan atau *view* ke luar dapat diperoleh melalui celah-celah vertikal. Tirai vertikal yang dapat bergerak (diputar) memiliki efektivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan tirai yang permanen. Bentuk sederhana dari tirai vertikal adalah dinding silang yang menonjol ke luar, kolom struktural yang rapat sehingga membentuk *lamella* (**Gambar 2.22**), serta panel kayu atau profil logam yang dipasang secara vertikal pada fasad.



Gambar 2.22 Fasad dengan lamella vertikal

Sumber: <http://www.stylepark.com/en/architecture/light-and-shade/342015>

3. Kombinasi tirai vertikal dan horizontal

Sebagai kisi-kisi, tirai ini sangat tepat dipasang pada fasad yang berorientasi ke Barat Daya sampai Barat Laut atau Tenggara sampai Timur Laut. Jenis tirai ini dapat menahan lebih banyak radiasi matahari. Bentuk paling sederhana adalah *loggia* (**Gambar 2.23**), balkon yang sisinya tertutup, atau blok pracetak horizontal dan vertikal dengan jarak yang rapat.



Gambar 2.23 Fasad dengan *loggia* permanen

Sumber:

<http://www.bluffton.edu/~sullivanm/ohio/cleveland/breuer/bank.html>

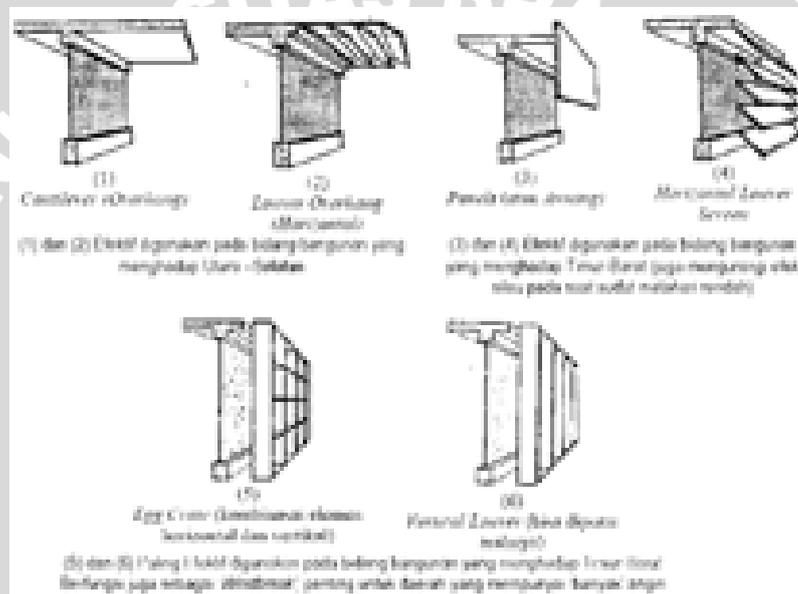
4. Aspek lain pelindung matahari

Apabila sebuah bidang telah terlindungi dari cahaya matahari, radiasi difusi dan radiasi yang dilepaskan oleh tirai matahari masih tetap ada. Radiasi yang dipantulkan oleh tirai tergantung pada bahan tirai. Hal tersebut dapat diatasi dengan menempatkan tirai pada posisi hingga tidak ada pantulan langsung yang mengenai bangunan. Bentuk dan sifat permukaan sisi yang terlindungi cahaya matahari sangat penting diperhatikan, karena baik pantulan langsung maupun tidak langsung akan mengenai fasad.

Elemen yang menghasilkan bayangan harus dicegah agar tidak menyalurkan panas ke bangunan melalui sambungan yang masif. Pemisahan semua elemen yang menonjol dari bangunan utama memungkinkan udara lebih bebas bergerak sepanjang fasad, sehingga mengurangi transmisi panas oleh sambungan-sambungan. Celah ventilasi sepanjang fasad melalui semua tingkat diperlukan untuk mengurangi transmisi panas, terutama pada bidang horizontal, karena menerima radiasi matahari 3,5 kali lebih besar dibandingkan dengan bidang vertikal.

2.4.1 Elemen Peneduh (*Shading Device*)

Menurut Talarosha (2005: 152), elemen arsitektur yang banyak digunakan untuk melindungi bangunan dari radiasi matahari adalah *solar shading devices*. Terdapat beberapa jenis *shading device*, seperti *overhang*, *panels*, *louvres screen*, *eggcrate*, dan lain-lain seperti yang terlihat pada **Gambar 2.24**. Bukaannya pada sisi Timur dan Barat berupa jendela harus dihindari karena radiasi panas yang langsung masuk ke dalam bangunan, salah satunya melalui kaca, akan memanaskan ruang dan menaikkan suhu di dalam ruang. Selain panas, efek silau pada saat sudut matahari rendah akan sangat mengganggu aktifitas di dalam ruang.

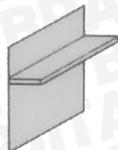


Gambar 2.24 Tipe *solar shading devices*

Sumber: Egan, 1975 dalam Talarosha, 2005: 152

Menurut Lechner (2007: 241), periode kebutuhan peneduh suatu bangunan tergantung pada iklim dan juga kondisi alamiah bangunan itu sendiri. Perangkat peneduh yang ideal akan menghalangi panas matahari secara maksimum, tetapi tetap menyediakan ruang untuk masuknya udara ke dalam ruangan serta pemandangan ke luar ruangan. Perangkat peneduh eksternal sangat efektif sebagai penghalang matahari dan akan memengaruhi estetika bangunan.

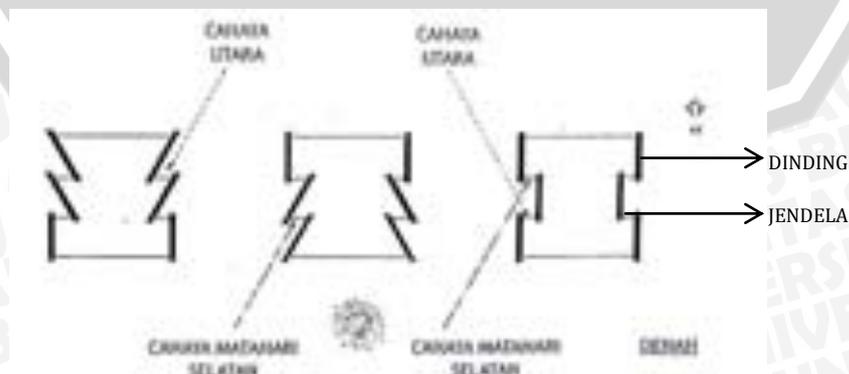
Tabel 2.2 Berbagai macam contoh jenis peneduh

Gambar Peneduh	Tipe	Orientasi yang Terbaik	Keterangan
	Overhang Panel horizontal	Selatan, Barat, Timur	Menangkap udara panas Dapat dibebani oleh angin

Gambar Peneduh	Tipe	Orientasi yang Terbaik	Keterangan
	Overhang Louvers horizontal pada bidang horizontal	Selatan, Barat, Timur	Pergerakan udara bebas Beban angin kecil
	Overhang Louvers horizontal pada bidang vertikal	Selatan, Barat, Timur	Memperkecil panjang overhang Pandangan terbatas Juga tersedia dengan louver miniatur
	Overhang Panel vertikal	Selatan, Barat, Timur	Pergerakan udara bebas Pandangan terbatas
	Sirip vertikal	Barat, Timur, Utara	Menghalangi pandangan Hanya untuk fasad bagian Utara pada iklim panas
	Sirip vertikal miring	Barat, Timur	Miring ke arah Utara Sangat membatasi pandangan
	Eggcrate	Barat, Timur	Untuk iklim yang sangat panas Pemandangan sangat terbatas Menangkap udara panas
	Eggcrate dengan sirip miring	Barat, Timur	Miring ke arah Utara Pemandangan sangat terbatas Menangkap udara panas Untuk iklim sangat panas

Sumber: Hoke, ed. Willey, 1998 dalam Lechner, 2007: 242

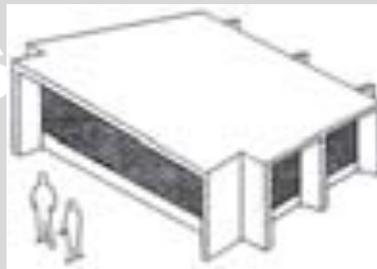
2.4.2 Orientasi Elemen Peneduh



Gambar 2.25 Jendela pada fasad Timur dan Barat menghadap ke Selatan atau Utara

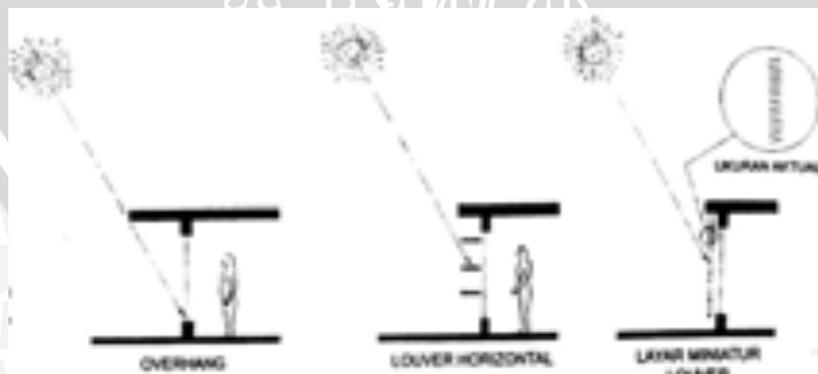
Sumber: Lechner, 2007: 243

Strategi peneduhan pada tiap sisi bangunan akan berbeda, sesuai dengan orientasi bangunan tersebut. Jendela atau bukaan yang berada di sisi Timur atau Barat akan mendapatkan banyak sinar matahari pada pagi dan sore hari karena sudut altitude matahari yang rendah. Untuk menghindari radiasi matahari, jendela atau bukaan dapat diminimalisir pada sisi Timur dan Barat atau menghadapkan jendela ke arah Utara atau Selatan, seperti pada **Gambar 2.25**. Apabila tidak memungkinkan, maka pada jendela dapat diberi peneduh *overhang* horizontal atau sirip vertikal. Peneduh permanen yang cukup efektif adalah kombinasi elemen horizontal dan vertikal, seperti pada **Gambar 2.26**.



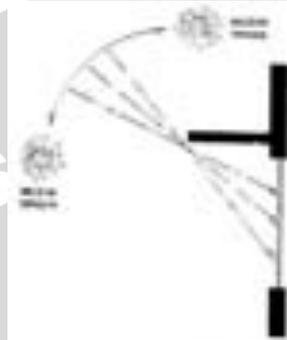
Gambar 2.26 Kombinasi peneduh horizontal dan vertikal
Sumber: Lechner, 2007: 243

Kombinasi elemen horizontal dan vertikal yang disusun rapat adalah *eggcrate*, yang berbentuk seperti tempat telur. Peneduh tersebut tepat dipasang di fasad bagian Timur atau Barat di wilayah beriklim panas, dan di fasad bagian Tenggara untuk wilayah beriklim sangat panas. Peneduh berfungsi untuk menghalangi sinar matahari yang masuk ke dalam ruangan pada kemiringan sudut tertentu, sehingga susunan komponen peneduh (*louver*) dalam jumlah banyak akan memiliki efek yang sama seperti komponen peneduh berukuran besar, seperti pada **Gambar 2.27**.



Gambar 2.27 Peneduh berukuran kecil dengan jumlah banyak, hasil naungannya sama dengan peneduh berukuran besar
Sumber: Lechner, 2007: 244

Peneduh permanen berkaitan dengan posisi matahari. Sudut datang sinar matahari yang berubah-ubah setiap waktu menyebabkan perangkat peneduh permanen (*fixed shading*) menjadi kurang efektif apabila diterapkan untuk melindungi bangunan dari panas matahari sehari-hari. *Fixed shading* (**Gambar 2.28**) bekerja lebih efektif untuk jangka waktu lama (bulan dan tahun), sedangkan peneduh yang dapat bergerak (*movable shading*) efektif untuk jangka waktu harian.

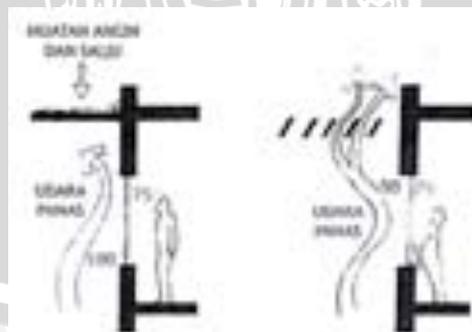


Gambar 2.28 Peneduh permanen dapat menaungi jendela dari sinar matahari dalam jangka waktu tahunan

Sumber: Lechner, 2007: 245

2.4.3 Overhang Horizontal

Posisi *overhang* horizontal paling baik diletakkan pada fasad bagian Selatan dengan orientasi bangunan adalah Timur, Tenggara, Barat Daya, dan Barat. *Louver* horizontal (**Gambar 2.29**) memiliki kelebihan apabila dibandingkan dengan *overhang* yang solid, yaitu jeruji atau kisi-kisi horizontal dapat mengurangi beban struktural dan muatan angin.

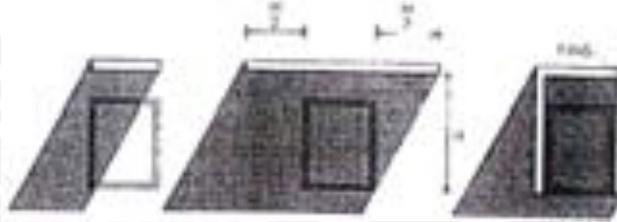


Gambar 2.29 Overhang louver horizontal dapat mengalirkan udara panas

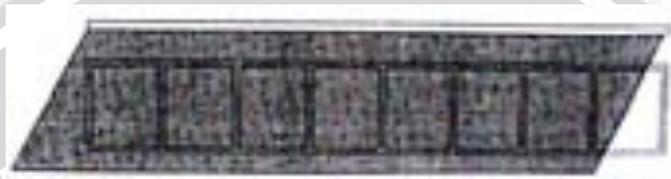
Sumber: Lechner, 2007: 252

Sebelum siang hari, sinar matahari datang dari arah Tenggara dan pada sore hari datang dari arah Barat Daya. Pada *overhang* yang dipasang pada fasad bagian Selatan, matahari akan menyinari *overhang* dengan lebar yang sama dengan jendela, sehingga pada jendela yang sempit diperlukan *overhang* yang

sangat lebar agar keseluruhan jendela dapat ternaungi, seperti pada **Gambar 2.30** dan **Gambar 2.31**.



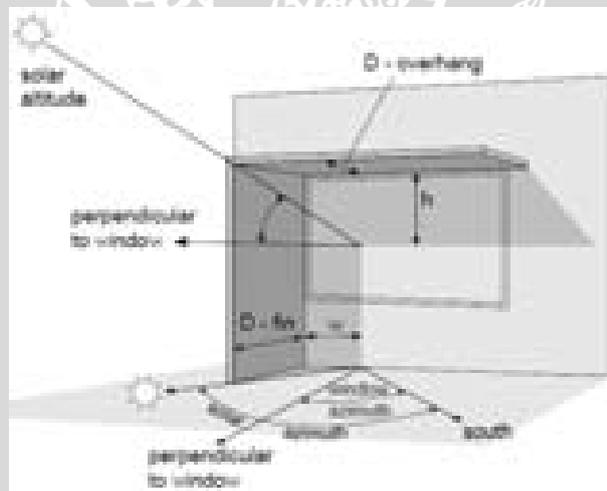
Gambar 2.30 Overhang yang lebih lebar atau sirip vertikal dapat menaungi dengan maksimal
Sumber: Lechner, 2007: 252



Gambar 2.31 Posisi jendela yang berdekatan secara linier dapat ternaungi dengan overhang horizontal memanjang sekaligus
Sumber: Lechner, 2007: 252

2.4.4 Penghitungan Ukuran Peneduh

Menurut Ballast (1988) dalam *Tips for Daylighting with Windows*, ukuran peneduh dapat dihitung dari besar pembayangan yang dibutuhkan.



Gambar 2.32 Komponen penghitungan ukuran peneduh
Sumber: Ballast (1988) dalam *Shading Strategy, Section 5*

Penghitungan ukuran *overhang* horizontal menggunakan dua sudut bayangan, yaitu sudut bayangan vertikal/ *vertical shadow angle* (VSA) dan sudut bayangan horizontal/ *horizontal shadow angle* (HSA). *Height* (tinggi) merupakan jarak vertikal antara batas bawah bayangan dengan batas atas jendela, sedangkan *width* (lebar) merupakan jarak atau lebar jendela yang akan dinaungi. Ukuran

overhang dapat ditentukan dengan menggunakan penghitungan trigonometri sederhana.

Persamaan 2.3 menunjukkan rumus yang digunakan untuk menghitung kedalaman *overhang* horizontal adalah sebagai berikut:

$$D\text{-overhang} = \frac{h}{\tan VSA}$$

d = kedalaman *overhang* horizontal

h = tinggi daerah yang ingin terbayangi

$VSA \leq 90^\circ$ VSA didapat dari **Persamaan 2.2**

Rumus yang digunakan untuk menghitung panjang *overhang* horizontal ditunjukkan pada **Persamaan 2.4**, yaitu sebagai berikut:

$$w = D\text{-fin} \cdot \tan HSA$$

w = panjang daerah yang ingin terbayangi

$D\text{-fin}$ = kedalaman sirip (sama dengan $D\text{-overhang}$)

$90^\circ \leq HSA \leq -90^\circ$ HSA didapat dari **Persamaan 2.1**



Gambar 2.33 Ukuran panjang peneduh

Sumber: Anisur Rahman dalam Jinia, 2015: 24

Menurut Anisur Rahman dalam Tariq & Mahbuba (2012: 4), ukuran panjang optimum peneduh, yang berupa tambahan panjang di sisi kanan dan kiri *overhang* dapat dihitung dengan rumus pada **Persamaan 2.5**.

$$w = \frac{h}{2}$$

w = perpanjangan *overhang*

h = tinggi jendela

2.4.5 Efektifitas Pelindung Matahari

Efektifitas pelindung matahari dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain absorbtansi radiasi matahari dan resistensi termal bahan. Pada SNI 03-6389-2000, nilai absorbtansi radiasi matahari untuk beberapa jenis permukaan dinding tak tembus cahaya dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Nilai absorbtansi radiasi matahari untuk permukaan dinding tak tembus cahaya

Bahan dinding luar	α
Beton berat ¹⁾	0,91
Bata merah	0,89
Beton ringan	0,86
Kayu permukaan halus	0,78
Beton ekspos	0,61
Ubin putih	0,58
Bata kuning tua	0,56
Atap putih	0,50
Seng putih	0,28
Bata gelazur putih	0,25
Lembaran aluminium yang dilapuk	0,12

¹⁾ untuk bangunan nuklir

Sumber: SNI 03-6389-2000

Nilai absorbtansi radiasi matahari merupakan kemampuan permukaan dinding untuk menyerap panas matahari. Untuk menurunkan penyerapan radiasi panas matahari pada permukaan bangunan, maka perlu menurunkan nilai absorbtansi pada jenis dan cat permukaan dinding luar. Nilai absorbtansi radiasi matahari untuk cat permukaan dinding luar dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Nilai absorbtansi radiasi matahari untuk cat permukaan dinding luar

Cat permukaan dinding luar	α	Cat permukaan dinding luar	α
Hitam merata	0,95	Pemis hijau	0,79
Pemis hitam	0,92	Hijau medium	0,59
Abu-abu tua	0,91	Kuning medium	0,58
Pemis biru tua	0,91	Hijau / biru medium	0,57
Cat minyak hitam	0,90	Hijau muda	0,47
Coklat tua	0,88	Putih semi kilap	0,30
Abu-abu / biru tua	0,88	Putih kilap	0,25
Biru / hijau tua	0,88	Perak	0,25
Coklat medium	0,84	Pemis putih	0,21

Sumber: SNI 03-6389-2000

Resistensi termal merupakan kemampuan bahan bangunan dalam menahan panas. Resistensi termal bahan dipengaruhi oleh tebal bahan dan nilai konduktifitas termal bahan. Nilai konduktifitas termal (K) bahan dapat dilihat pada **Tabel 2.5**. Untuk menurunkan radiasi panas matahari pada dinding permukaan luar bangunan, maka dapat dilakukan dengan cara memilih bahan bangunan dengan nilai K yang tinggi.

Tabel 2.5 Nilai konduktifitas termal bahan bangunan

Bahan bangunan	Densitas (kg/m ³)	K (W/m.K)
Beton	2.400	1.448
Beton ringan	960	0.303
Bata dengan lapisan plester	1.760	0.807
Bata langkung dipasang tanpa plester, tahan terhadap cuaca		1.154
Plesteran pasir-semen	1.568	0.533
Kaca lembaran	2.512	1.053
Papan gypsum	880	0.170
Kayu lunak	508	0.125
Kayu keras	702	0.138
Kayu lapis	528	0.148
Glaswool	32	0.035
Fibreglass	32	0.035
Paduan aluminium	2.672	211
Tembaga	8.704	385
Baja	7.840	47.6
Granit	2.640	2.927
Marmar/terazo/keramik/mozaik	2.640	1.298

Sumber: SNI 03-6389-2000

Efektifitas pelindung matahari dinilai dengan angka *shading coefficient* (SC) yang menunjukkan besar energi matahari yang ditransmisikan ke dalam bangunan. Secara teori angka yang ditunjukkan berada pada angka 1,0 (seluruh energi matahari ditransmisikan, misalnya: penggunaan kaca jendela tanpa pelindung) sampai 0 (tidak ada energi matahari yang ditransmisikan). Nilai *shading coefficient* dapat dilihat pada **Tabel 2.6** dan prosentase hasil pengurangan panas dari radiasi matahari yang masuk melalui jendela kaca, berkat pembayang dapat dilihat pada **Tabel 2.7**.

Tabel 2.6 *Shading Coefficient* untuk elemen arsitektur

No.	Elemen Pelindung	Shading Coefficient
	Elemen arsitektur (diarsir):	
1	Egg-Crete	0,18
2	Panel atau Awning (warna gelap)	0,15
3	Horizontal Louver Cherting	0,20
4	Horizontal Louver Screen	0,60 - 0,10
5	Canopy	0,25
6	Vertical Louver (permanen)	0,30
7	Vertical Louver (movable)	0,15-0,18

Sumber: Egan dalam Talarosha, 2005: 153

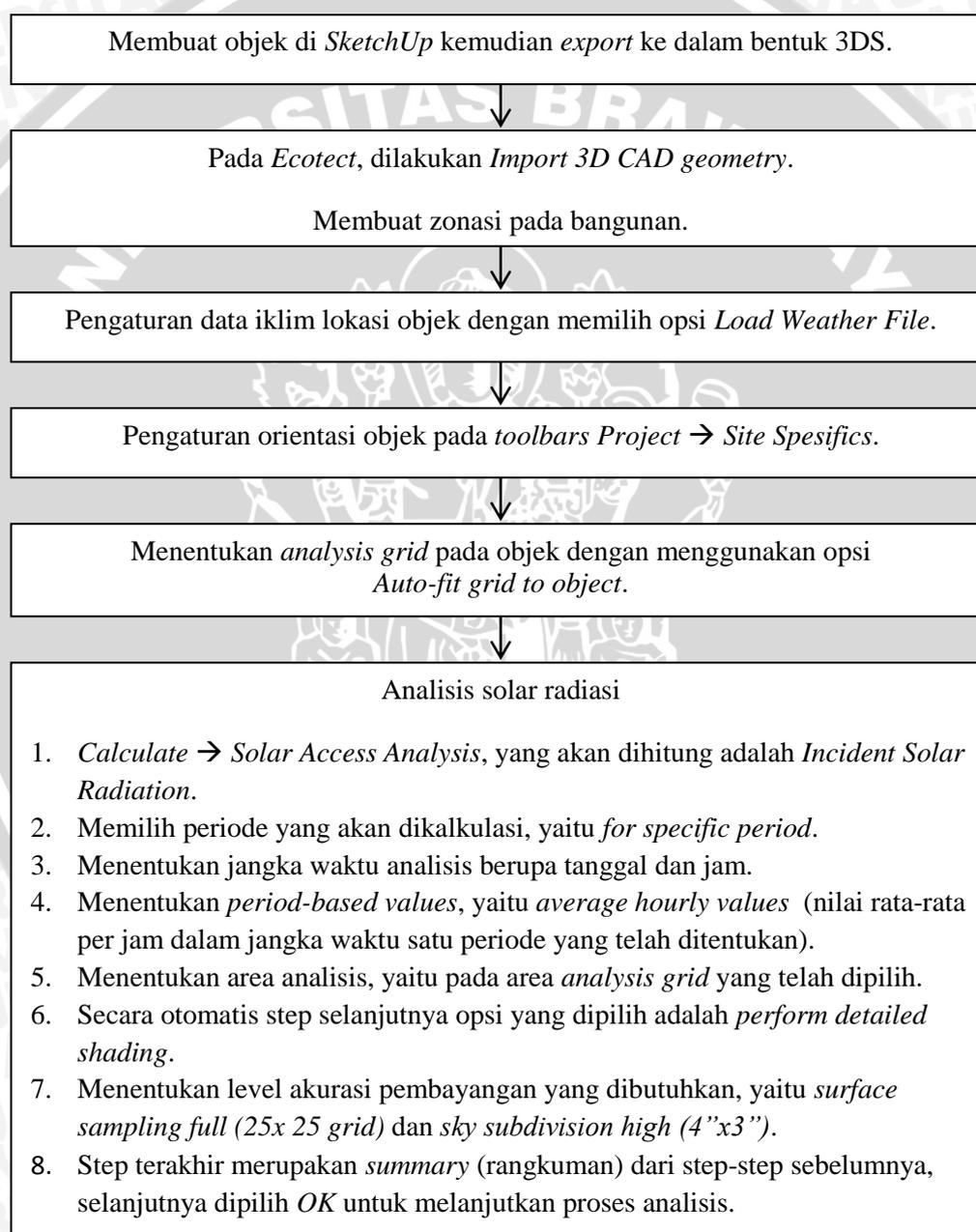
Tabel 2.7 Hasil pengurangan panas dari radiasi matahari yang masuk melalui jendela kaca

Jenis pembayangan: pembayang dicat pada sisi datangnya sinar	Berkurang bila dibandingkan dengan yang tidak dicat
1. Jalusi di luar menghalangi penyinaran langkung diberi warna putih, krem.	15 %
2. Jalusi dari tembaga putih tipis kemiringan matahari lebih dari 40° sehingga matahari tidak masuk, diberi warna gelap	15 %
3. Markis dari kanvas, sisi samping terbuka, warna gelap sedang	
4. Jalusi model 'Venetian Blinds' di bagian dalam jendela. Kisi-kisi menghalangi penyinaran langkung. Bahan: aluminium yang memantulkan sinar secara difus.	25 % 45 %
5. Penutup jendela, putih atau krem	
6. Penutup jendela rapat berwarna gelap	55 % 80 %

Sumber: Mangunwijaya dalam Talarosha, 2005: 153

2.5 Software Autodesk Ecotect Analysis 2011

Autodesk Ecotect Analysis merupakan perangkat lunak analisis bangunan yang dilengkapi dengan 3D *modelling* yang diintegrasikan dengan berbagai fungsi analisis dan simulasi perancangan bangunan. Perangkat lunak *Ecotect* dapat menghitung analisis keseluruhan energi bangunan, kinerja termal, radiasi matahari, pencahayaan, pembayangan, serta pencerminan. Analisis tersebut dapat disesuaikan dengan kondisi pada masing-masing negara. Langkah analisis pada *Ecotect* untuk menganalisis dapat dilihat pada bagan (**Gambar 2.34**).



Gambar 2.34 Bagan langkah analisis solar radiasi pada *Ecotect*

2.6 Studi Penelitian Terdahulu

2.6.1 Penelitian 1: *Effect of Fixed Horizontal Shading Devices in South Facing Residential Buildings at Dhaka, Bangladesh* (Tariq & Mahbuba, 2012)

Fokus studi ini adalah mengenai kedalaman minimum yang dibutuhkan pada *shading device* horizontal yang permanen, untuk mendapatkan pembayangan yang optimal pada bukaan fasad Selatan hunian di Kota Dhaka. Data eksisting pada bangunan adalah ukuran bukaan, kedalaman *shading device*, *vertical shadow angle* (VSA) pada hari dan iklim terhangat, serta performa suhu dengan menggunakan kedalaman *shading device* yang berbeda pada beberapa variasi ukuran bukaan.

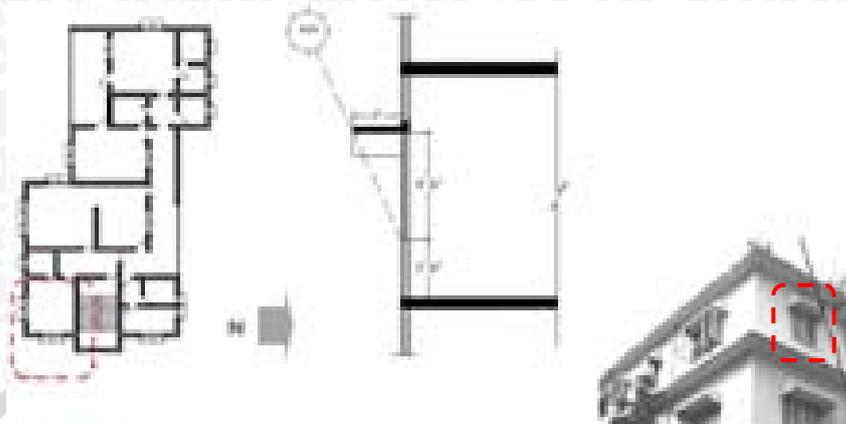
Sebagai objek penelitian, dipilih dua bangunan hunian dengan ukuran bukaan dan sistem peneduh yang berbeda. Penelitian ini akan menghitung perbedaan temperatur di luar dan di dalam bangunan, serta pola pembayangan pada satu hari saat kondisi iklim terhangat, sehingga dapat diketahui parameter performa eksisting termal terhadap *shading device*. Diagram alur proses penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2.35**.



Gambar 2.35. Diagram alur proses penelitian
Sumber: Tariq & Mahbuba (2012: 3)

Objek studi 1 memiliki kantilever horizontal *shading device* permanen pada bukaannya. Tinggi bukaan pada objek studi 1 adalah 5.4 inci, dengan kedalaman *overhang* eksisting adalah 2'. Baik penghitungan secara teori maupun simulasi visual, menunjukkan bahwa kedalaman *shading device* minimum yang dibutuhkan adalah kurang dari 2'. Kedalaman paling minimum adalah 0.56'. Penggunaan *shading device* tersebut dapat menurunkan suhu di

dalam bangunan sebesar 2.5°C dari suhu udara di luar bangunan. **Gambar 2.36** menunjukkan letak dan kondisi eksisting *shading device* pada objek studi 1.



Gambar 2.36 Kondisi eksisting objek studi 1

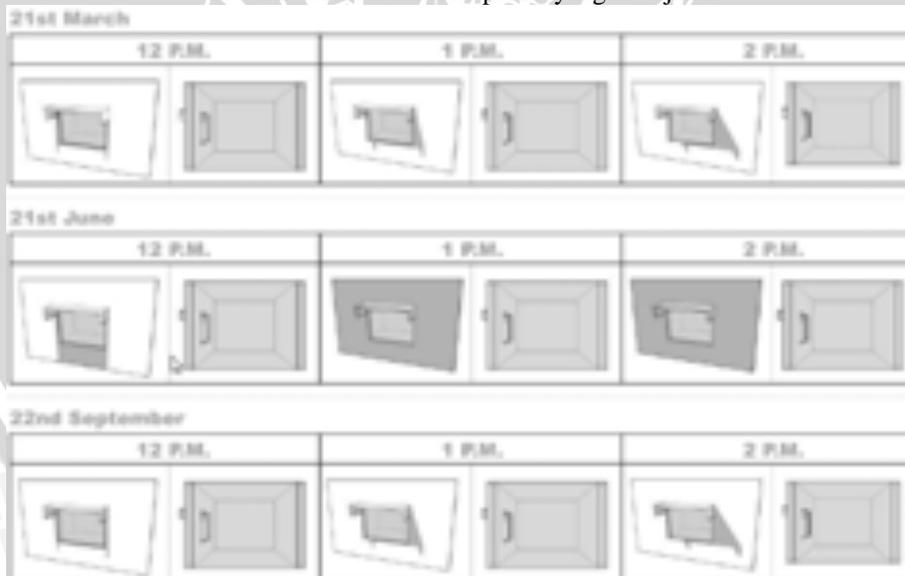
Sumber: Tariq & Mahbuba (2012: 7)

Tabel 2.8. Hasil penghitungan kedalaman *overhang* objek 1

Date	Minimum VSA (tan θ) from 12 P.M. TO 3 P.M.	Opening height H	Minimum Depth of overhang $D = H / \tan\theta$
21 st March	113.7°	4.5' or 54 inch	$1.97' < 2'$
21 st June	82.8°	4.5' or 54 inch	$0.56' < 2'$
22 nd September	112.8°	4.5' or 54 inch	$1.89' < 2'$

Sumber: Tariq & Mahbuba (2012: 8)

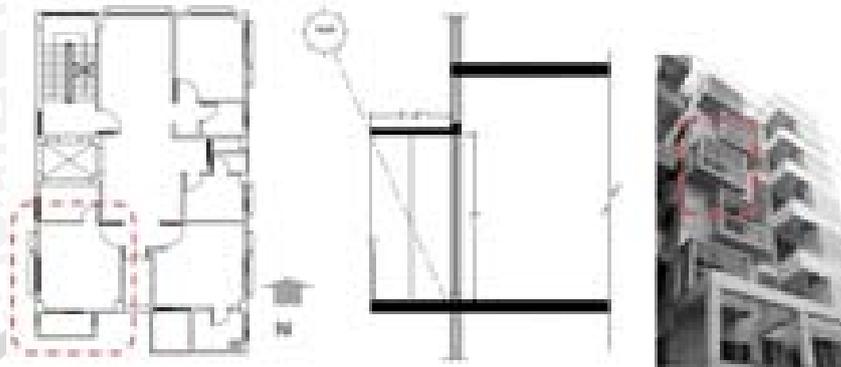
Tabel 2.9. Hasil simulasi pembayangan objek 1



Sumber: Tariq & Mahbuba (2012: 8)

Objek studi 2, merupakan unit apartemen dengan tinggi bukaan sebesar $7'$, dengan kedalaman *overhang* eksisting adalah $3.33'$. Setelah dilakukan penghitungan kedalaman *overhang* dan simulasi pembayangan, kedalaman minimum *overhang* yang dibutuhkan adalah kurang dari $3.33'$. Kedalaman paling minimum adalah sebesar $0.88'$. Pada objek studi 2, *shading device* dapat

menurunkan suhu di dalam bangunan sekitar 3.5°C dari suhu di luar bangunan, lebih rendah 1° dibanding dengan objek studi 1. **Gambar 2.37** menunjukkan letak dan kondisi eksisting *shading device* pada objek studi 2.



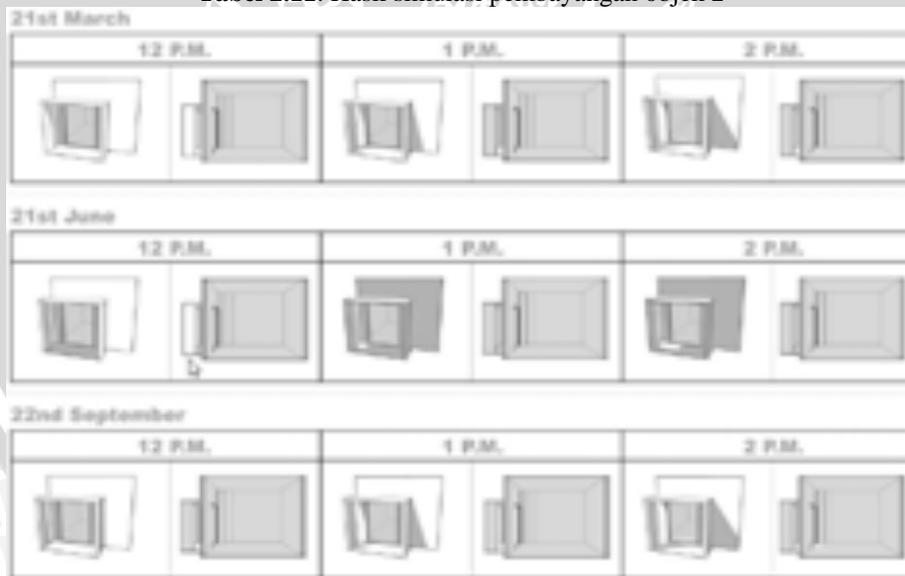
Gambar 2.37 Kondisi eksisting objek studi 2
Sumber: Tariq & Mahbuba (2012: 9)

Tabel 2.10. Hasil penghitungan kedalaman *overhang* objek 2

Date	Minimum VSA (tan α) from 12 P.M. TO 3 P.M.	Opening height H	Minimum Depth of overhang $D = H / \tan\alpha$
21 st March	115.7 $^{\circ}$	7'	3.07' \approx 3.33'
21 st June	82.8 $^{\circ}$	7'	0.88' \approx 3.33'
22 nd September	112.8 $^{\circ}$	7'	2.04' \approx 3.33'

Sumber: Tariq & Mahbuba (2012: 9)

Tabel 2.11. Hasil simulasi pembayangan objek 2



Sumber: Tariq & Mahbuba (2012: 10)

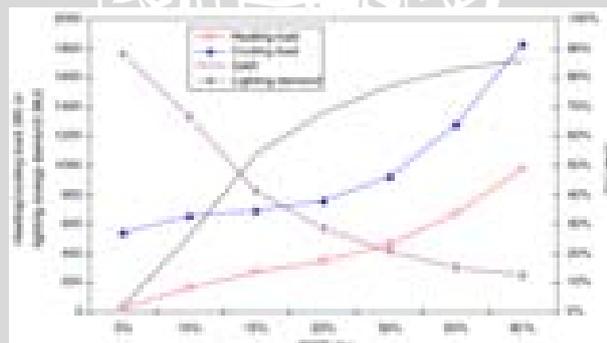
Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan *shading device* pada bukaan di fasad sisi Selatan dapat menurunkan suhu di dalam bangunan, sehingga dapat mengurangi konsumsi energi. Kedalaman *overhang* dapat berubah sesuai dengan arah hadap bangunan dan jendela serta posisi matahari pada tanggal-tanggal tertentu.

2.6.2 Penelitian 2: *The Impact of Shading Design and Control on Building Cooling and Lighting Demand* (Tzempelikos & Andreas, 2007)

Shading device merupakan salah satu elemen bangunan yang cukup kompleks pengaturan dan perancangannya, karena harus menyeimbangkan antara kebutuhan pencahayaan alami dengan kebutuhan untuk mereduksi penerimaan panas matahari. Penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh *glazing area*, elemen *shading device*, dan *shading control* terhadap pendinginan bangunan dan pencahayaan, yang akan dikalkulasi dengan menggunakan simulasi pencahayaan dan simulasi termal.

Tahap pertama penelitian adalah penentuan ukuran bukaan. Ukuran bukaan berkaitan dengan WWR (*window to wall ratio*). Tiga faktor yang mempengaruhi penentuan WWR adalah kemampuan untuk menyalurkan pencahayaan alami ke dalam ruangan, mereduksi konsumsi energi untuk pencahayaan, dan dampak kondisi puncak pemanasan dan beban pendinginan terhadap konsumsi energi.

Hubungan antara WWR dengan beban pemanasan, beban pendinginan, ketersediaan pencahayaan alami (*Daylight Availability Ratio/ DAR*), dan kebutuhan pencahayaan buatan dapat dilihat pada **Gambar 2.38**. Diagram tersebut menunjukkan bahwa semakin besar prosentase bukaan, maka semakin besar pula beban pemanasan, beban pendinginan, dan *Daylight Availability Ratio*, sedangkan kebutuhan pencahayaan buatan akan semakin menurun.

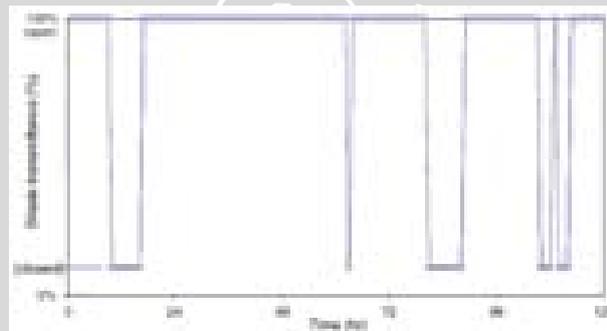


Gambar 2.38 Diagram hubungan prosentase pencahayaan alami dengan WWR pada tiap fasad
Sumber: Tzempelikos & Andreas (2007: 324)

Kondisi iklim dan ketersediaan pencahayaan alami menjadi faktor utama dalam desain dan kontrol sistem *shading*. Penempatan, material, dan kontrol *shading device* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pencahayaan alami dan kondisi termal bangunan. Dua jenis *shading control* yang akan digunakan adalah sistem kontrol pasif dan sistem kontrol aktif. Sistem kontrol pasif

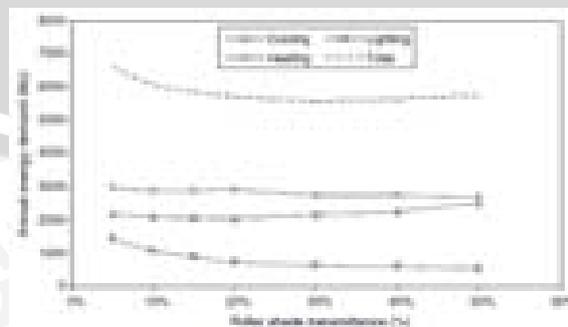
menggunakan *roller shade* yang ditutup selama aktivitas jam kerja untuk menjaga privasi dan mereduksi silau. Sistem kontrol otomatis menggunakan *roller shade* yang secara otomatis akan terbuka apabila nilai radiasi pada kaca kurang dari 20 W/m^2 . Pada saat jam kerja sepanjang tahun pada kondisi optimum, *roller shade* akan terbuka secara otomatis untuk memaksimalkan pencahayaan alami dan kebutuhan *view* ke luar bangunan, dengan catatan tidak menyebabkan silau dan tidak ada pencahayaan langsung ke dalam bangunan.

Shading control disimulasikan dengan menggunakan transmitansi pembayangan yang dikaitkan dengan fungsi waktu. Untuk kontrol pasif, transmitansi pembayangan selalu sama dengan τ_{rs} , sedangkan untuk kontrol otomatis transmitansi pembayangan diatur sama dengan τ_{rs} ketika iluminansi pada jendela lebih besar dari nilai minimum atau sama dengan satu ketika tidak ada sinar matahari langsung ke jendela (atau penerangan kurang dari 200 lux).



Gambar 2.39 Diagram mode gerak *roller shade*
Sumber: Tzempelikos & Andreas (2007: 377)

Contoh diagram hasil simulasi *roller shade* terdapat pada **Gambar 2.39**. Contoh mode gerak *roller shade* berdasarkan prosentase transmitansi pembayangan pada lima hari kerja di bulan Februari. Ketika terdapat kelebihan sinar matahari (transmitansi 10%), maka *roller shade* akan otomatis menutup untuk melindungi dari silau.

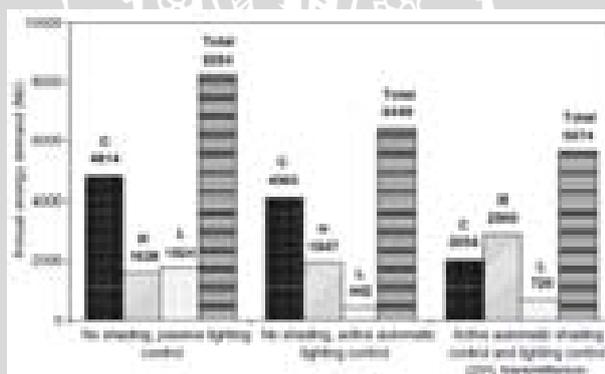


Gambar 2.40 Diagram hubungan transmitansi *roller shade* dengan kebutuhan energi
Sumber: Tzempelikos & Andreas (2007: 378)

Gambar 2.40 menunjukkan semakin besar prosentase transmitansi *roller shade*, maka kebutuhan energi untuk pencahayaan dan pemanasan cenderung menurun, sedangkan kebutuhan energi untuk pendinginan cenderung meningkat, tetapi secara keseluruhan total kebutuhan energi tahunan cenderung menurun seiring dengan semakin besar prosentase transmitansi *roller shade*.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kontrol otomatis pada *shading* motorik dapat digabungkan dengan sistem elektrikal pencahayaan, sehingga dapat menurunkan konsumsi energi untuk pendinginan dan pencahayaan, tergantung dengan kondisi iklim dan orientasi bangunan.

Perbandingan kebutuhan energi untuk pemanasan, pendinginan, pencahayaan, dan energi total pada beberapa mode bangunan dapat dilihat pada **Gambar 2.41**. Diagram tersebut menunjukkan bahwa *active automatic shading control and lighting control* memiliki dampak yang cukup besar untuk menurunkan kebutuhan energi, dibandingkan dengan mode bangunan tanpa menggunakan peneduh.



Gambar 2.41. Diagram perbandingan
Sumber: Tzempelikos & Andreas (2007: 380)

2.6.3 Manfaat Penelitian Terdahulu untuk Studi Terkini

Studi penelitian terdahulu yang berkaitan dengan radiasi matahari dan peneduh memberikan kontribusi atau manfaat kepada studi terkini. Kontribusi tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.12**, sebagai berikut:

Tabel 2.12 Manfaat penelitian terdahulu untuk studi terkini

Penelitian 1	Penelitian 2
- Mengetahui hubungan antara VSA dan kedalaman <i>fixed horizontal shading device</i> , sehingga dapat menjadi acuan pada studi terkini.	- Mengetahui keterkaitan antara WWR dengan beban pendinginan, beban pemanasan, beban pencahayaan, dan beban energi keseluruhan.

Penelitian 1

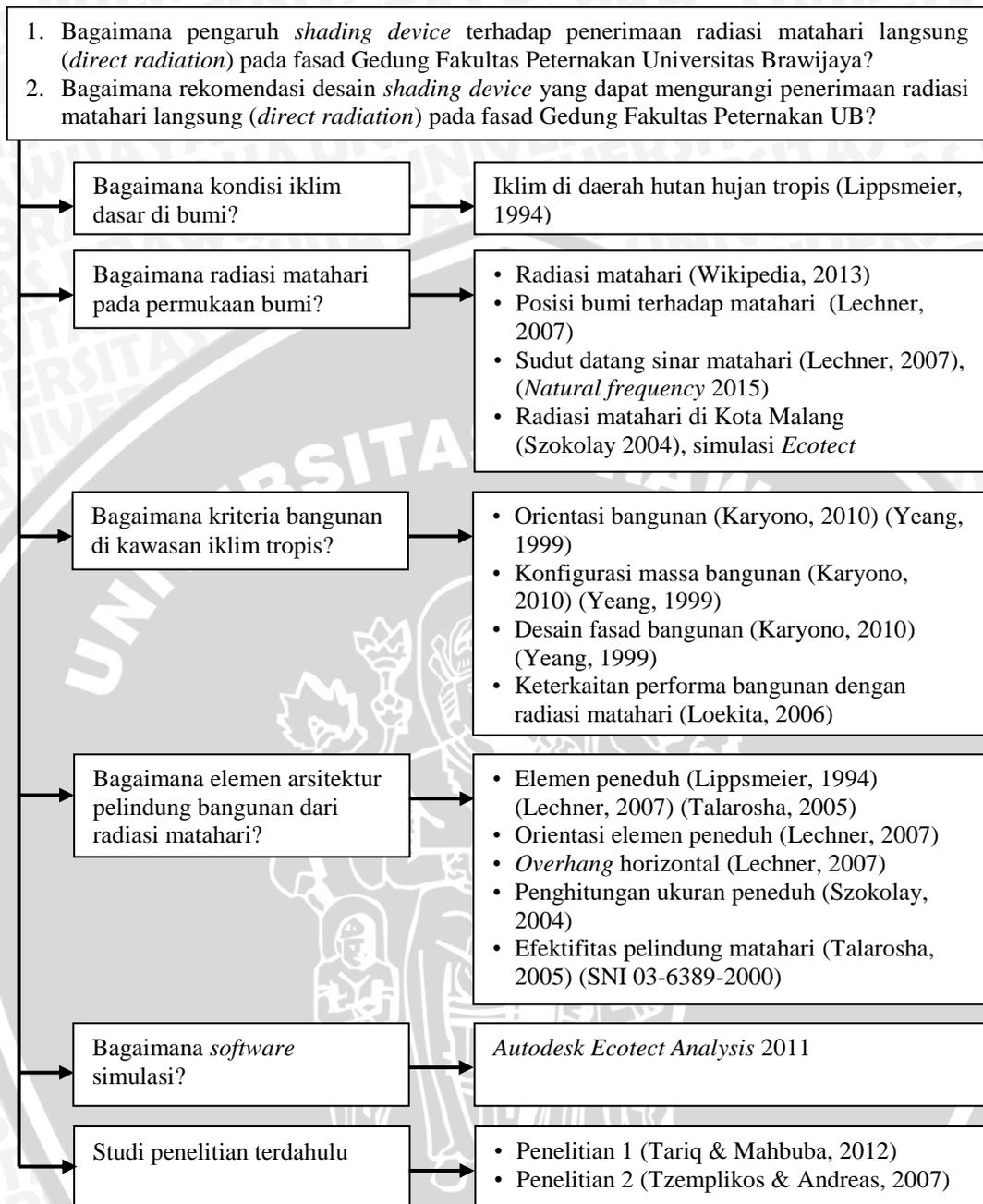
- Mengetahui model *shading* yang optimal untuk jendela pada fasad yang berbeda di wilayah Dhaka, Bangladesh. Bentuk dan ukuran *shading* akan berbeda pada masing-masing fasad, tergantung orientasi bukaan, ukuran bukaan, dan sudut VSA.
- Model *shading device* di wilayah Dhaka membutuhkan unsur horizontal dan vertikal. Hal ini dapat menjadi analisis untuk model *shading device* rekomendasi.
- Mengetahui pola pembayaran yang terbentuk dari *shading device*.
- Mengetahui cara penggambaran studi pembayaran yang representatif untuk hasil sebuah penelitian.
- Menggunakan metode simulasi pembayaran.

Penelitian 2

- Mengetahui efektifitas penggunaan *shading* pada bangunan.
- Mengetahui perbandingan kebutuhan energi berdasar jenis penggunaan *shading* pasif atau *shading* otomatis pada jendela, sehingga dapat digunakan sebagai acuan penentuan jenis *shading* yang akan digunakan pada studi.
- Menggunakan metode simulasi pencahayaan dan simulasi termal.



2.7 Kerangka Teori



Gambar 2.42 Bagan kerangka teori