

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

Kajian pustaka berfungsi sebagai instrumen untuk melakukan analisis dalam penelitian. Bab ini menguraikan kajian pustaka yang menjadi landasan dalam penelitian ini, diantaranya mengenai (1) Iklim tropis lembab Indonesia; (2) Kenyamanan termal dalam iklim tropis lembab; (3) Matahari dan iklim tropis lembab; (4) Selubung bangunan; (5) Konservasi energi bangunan; (6) Peraturan Walikota Semarang Nomor 24 Tahun 2019; (7) Konservasi energi selubung bangunan, (8) *Overall Thermal Transfer Value*, serta (9) Sefaira.

2.1 Iklim Tropis Lembab Indonesia

Indonesia memiliki iklim tropis lembab yang dapat diidentifikasi melalui angka temperatur udara tinggi karena radiasi matahari jatuh hampir tegak lurus pada siang hari di sepanjang tahun. Durasi penyinaran matahari dapat mencapai 10 – 13,5 jam per hari. Angka ini relatif konstan, karena selisih antara durasi siang hari terpanjang dan terpendek hanya sekitar 48 menit. Temperatur udara rata-rata harian berada di kisaran angka 20 – 30°C, dengan temperatur tertinggi dapat mencapai 36°C. Angka ini juga konstan, karena perbedaan suhu rata-rata harian pada musim kemarau dan penghujan hanya 2°C. Perbedaan temperatur siang dan malam juga tidak terlalu besar (Lippsmeier, 1997) (Karyono, 2016). Selain itu, menurut (Soegijanto, 1999) dan (Lippsmeier, 1997), karakter iklim tropis lembab Indonesia antara lain:

- a. Kelembaban udara tinggi (rata-rata 75% – 80%, sering di atas 90%)
- b. Presipitasi hujan tinggi (1000mm – 5000mm per tahun)
- c. Hembusan angin tidak terlalu kuat (rata-rata 2 – 4 m/s)
- d. Kondisi langit berawan (60% – 90%)
- e. Luminasi langit tinggi (tertutup awan tipis mencapai 7000cd/m², tertutup awan tebal 850cd/m²).

Lingkungan binaan di iklim tropis akan nyaman apabila suhu ruang rendah, kelembaban relatif tidak terlalu tinggi, pergerakan udara cukup, pencahayaan alami cukup, dan terlindung dari panas maupun hujan (Juhana, 2001). Beberapa elemen iklim tropis lembab yang dapat mempengaruhi dan dipengaruhi oleh lingkungan binaan (Lippsmeier, 1997) (Karyono, 2016), antara lain:

a. Radiasi matahari

Radiasi matahari dapat menyebabkan perolehan panas pada bangunan. Radiasi matahari juga dapat menyediakan pencahayaan alami bagi ruang dalam bangunan. Keduanya dipengaruhi oleh durasi, intensitas, dan sudut jatuh penyinaran matahari. Paparan radiasi matahari berlebih dapat menaikkan suhu ruang dalam serta mengakibatkan silau (*glare*). Hal ini dapat diatasi melalui pemilihan material, penambahan elemen insulasi serta peneduh bangunan.

Dalam lingkup wilayah yang lebih luas, radiasi matahari berlebih dapat meningkatkan temperatur udara lingkungan. Selain itu dapat pula menyebabkan fenomena *urban heat island*.

b. Pergerakan udara

Kecepatan angin yang tidak terlalu tinggi di daerah iklim tropis lembab dapat dimanfaatkan sebagai penghawaan alami ruang dalam. Potensi ini dapat dimaksimalkan dengan cara merancang posisi bangunan melintang arah datangnya angin dengan massa bangunan yang tidak terlalu tebal. Namun di titik tertentu, pergerakan angin yang kecil ini tidak dapat menyediakan kenyamanan yang memadai, sehingga terpaksa harus menggunakan pengondisian udara mekanis.

Dalam skala kota, kecepatan angin akan semakin rendah karena tingkat kepadatan bangunan yang tinggi. Tidak adanya vegetasi dan ruang terbuka menghambat laju pergerakan udara.

c. Presipitasi hujan

Presipitasi berkaitan dengan kondensasi uap air yang menyebabkan hujan. Bangunan harus dilindungi melalui atap dengan kemiringan yang cukup dan tritisan lebar.

2.2 Kenyamanan Termal dalam Iklim Tropis Lembab

Kenyamanan termal merupakan persepsi manusia ketika merasakan kondisi termal. ANSI/ASHRAE Standar 55-2004 mendefinisikan kenyamanan termal sebagai ekspresi pikiran manusia terkait kepuasan kondisi termal lingkungan sekitar. Manusia akan merasa nyaman ketika terjadi keseimbangan termal antara panas yang dihasilkan tubuh dengan pelepasan maupun perolehan panas pada tubuh (Latifah, 2015). Kondisi kenyamanan termal dapat dikatakan baik apabila manusia tidak terlalu membutuhkan usaha yang besar untuk melakukan penyesuaian dengan kondisi termal lingkungan (Panchyk, 1984).

Menurut ISO-7730:2005 dalam (Karyono, 2016), kenyamanan termal adalah fungsi dari empat faktor iklim dan dua faktor manusia. Faktor iklim yang dimaksud adalah temperatur udara, radiasi termal, kelembaban udara, dan pergerakan udara. Sedangkan faktor manusia meliputi tingkat aktivitas (metabolisme) dan jenis pakaian yang dipakai.

a. Temperatur udara

Kenyamanan temperatur dinyatakan dalam nilai temperatur efektif (TE) yang merupakan fungsi dari temperatur udara kering, kelembaban udara, radiasi matahari, dan pergerakan udara (Lechner, 2015). Lippsmeier (1997) mengemukakan bahwa temperatur nyaman untuk daerah di sekitar khatulistiwa berada pada rentang 19°C – 26°C TE. Pada suhu 26°C TE, tubuh manusia mulai mengeluarkan keringat. Menurut penelitian yang dilakukan Mom dan Wiesebrum, zona kenyamanan temperatur efektif dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Zona kenyamanan TE menurut Mom dan Wiesebrum

Kriteria	Temperatur Efektif (TE)
Sejuk – Nyaman Ambang Batas	20,5°C – 22,8°C 23°C
Nyaman – Optimal Ambang Batas	22,8°C – 25,8°C 28°C
Panas – Nyaman Ambang Batas	25,8°C – 27,1°C 31°C

Sumber: Soegijanto (1999)

b. Radiasi termal

Hanya sekitar 50% energi radiasi matahari yang diterima bumi, dan seluruhnya dapat dilepas kembali ke atmosfer. Radiasi matahari dapat mengakibatkan udara di permukaan bumi menjadi panas. Pantulan panas pada siang hari, serta proses pelepasan panas dari permukaan bumi malam hari juga turut menyumbang kenaikan temperatur udara. Perolehan radiasi panas matahari pada bangunan dapat diantisipasi melalui desain selubung serta orientasi bangunan. Perencanaan yang kurang baik dapat meningkatkan temperatur udara, sehingga berimplikasi pada tingkat kenyamanan termal.

c. Kelembaban udara

Nilai yang ditunjukkan pada indikator kelembaban udara menandakan jumlah kadungan uap air di udara. Nilai kelembaban udara dipengaruhi oleh temperatur dan tingkat kepadatan penghuni. Pergerakan udara juga mempengaruhi kondisi kelembaban udara di suatu tempat. Semakin baik pergerakan udara yang terjadi, maka semakin rendah kelembaban udara karena angin mendistribusikan uap air di udara. Kelembaban udara memiliki pengaruh besar terhadap tingkat kenyamanan termal. Semakin tinggi nilai kelembaban udara, maka semakin sulit terjadi penguapan keringat pada kulit manusia, sehingga pelepasan panas tubuh terhambat. Dengan kata lain, semakin tinggi nilai kelembaban udara, semakin rendah suhu maksimal yang diizinkan untuk dapat menyediakan kondisi nyaman.

Tabel 2.2 Pengaruh kelembaban atas suhu dan kenyamanan ruang

Kelembaban	Suhu nyaman siang	Suhu nyaman malam
0 – 30%	22 – 30°C	20 – 27°C
30 – 50%	22 – 29°C	20 – 26°C
50 – 70%	22 – 28°C	20 – 26°C
70 – 100%	22 – 27°C	20 – 25°C

Sumber: Frick dkk. (2008)

d. Pergerakan udara

Kenyamanan termal pada iklim tropis lembab Indonesia dapat dicapai ketika kecepatan udara berada dalam rentang 0,6 – 1,5 m/s. Jika

udara bergerak lebih cepat dari batas atas tersebut, angin akan menjadi masalah karena dianggap berhembus terlalu kencang. Sebaliknya, udara yang bergerak terlalu lambat dapat menghambat pergantian udara. Kondisi udara dengan temperatur dan kelembaban tinggi sulit tergantikan oleh udara dengan temperatur dan kelembaban yang lebih rendah. Kondisi ini membuat tingkat kenyamanan termal menjadi kurang baik. Akibatnya, tubuh kesulitan beradaptasi untuk mencapai keseimbangan termal melalui penguapan keringat (Latifah, 2015).

Zona kenyamanan termal menurut ANSI/ASHRAE Standar 55-2004 dapat dilihat pada tabel 2.3. Sedangkan kriteria kenyamanan termal menurut Yayasan LPMB-PU dalam (Masarrang & Rengkung, 2013) dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.3 Zona kenyamanan termal menurut ANSI/SHRAE 55-2004

Faktor	Nilai	Sumber
Temperatur Efektif (TE)	20,5°C – 24,5°C	ASHRAE 55-2004
Kelembaban Udara	30% – 90%	ASHRAE 55-2004
Kecepatan Udara	0,2m/s – 0,8m/s	ASHRAE 55-2004
Pakaian	0,5 Clo (Penjumlahan Clo setiap jenis pakaian)	ASHRAE 55-2004

Sumber: ANSI/ASHRAE Standar 55-2004 (2004)

Tabel 2.4 Zona kenyamanan termal menurut LPMB-PU

Kategori	Temperatur Efektif (TE)	RH (%)
Sejuk Nyaman	20,5°C – 22,8°C	50%
Ambang Batas	23°C	80%
Nyaman Optimal	22,8°C – 25,8°C	70%
Ambang Batas	28°C	
Hangat Nyaman	25,8°C – 27,1°C	60%
Ambang Batas	31°C	

Sumber: Masarrang & Rengkung (2013)

2.3 Matahari dan Iklim Tropis Lembab

Masing-masing lokasi di bumi memperoleh karakter penyinaran matahari yang berbeda akibat aktivitas rotasi bumi, revolusi bumi, serta letak garis lintangnya. Perolehan intensitas dan durasi penyinaran yang

berbeda menyebabkan keberagaman iklim, terutama terkait temperatur udara setempat. Daerah-daerah yang menerima intensitas matahari besar serta durasi penyinaran yang panjang akan memiliki temperatur udara rata-rata tahunan yang lebih tinggi. Karakter tersebut dimiliki oleh iklim tropis lembab Indonesia.

2.3.1 Radiasi Matahari

Radiasi matahari merupakan sumber utama pencahayaan dan energi panas di muka bumi. Radiasi matahari memiliki spektrum cahaya yang luas meliputi sinar ultraviolet, sinar tampak, dan sinar inframerah (Frick dkk., 2008). Atas karakter yang dimiliki tersebut, radiasi matahari dapat dikatakan sebagai penyebab semua ciri umum dalam iklim. Implikasinya adalah bahwa radiasi matahari memberikan pengaruh sangat besar pada kehidupan manusia (Lippsmeier, 1997).

Lokasi sekitar garis khatulistiwa merupakan daerah yang paling banyak menerima radiasi matahari. Sebesar 43% radiasi matahari dipantulkan kembali, sedangkan sisanya diserap oleh permukaan bumi (43%) dan atmosfer (14%). Temperatur minimum terjadi sekitar 1 – 2 jam sebelum matahari terbit, sedangkan temperatur maksimum terjadi 1 – 2 jam setelah tengah hari. Daerah tropis juga identik dengan intensitas pantulan dan penyerapan radiasi matahari yang tinggi. Fenomena ini dapat menyebabkan efek silau serta temperatur permukaan yang tinggi (Pramesti, 2017).

Sebagai daerah yang paling banyak menerima intensitas dan durasi penyinaran, perancangan bangunan tropis sangat dipengaruhi oleh radiasi matahari. Desain yang kurang baik akan sangat beresiko terhadap perolehan panas bangunan. Beban termal yang tinggi pada bangunan akan mempengaruhi kehidupan penghuni dan menyebabkan biaya operasional tinggi. Untuk dapat merencanakan bangunan tropis yang baik, perancang perlu mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan radiasi matahari, antara lain:

a. Sudut jatuh sinar matahari

Sudut jatuh sinar matahari mempengaruhi energi panas yang diterima bumi dalam dua hal. Pertama, semakin kecil sudut jatuh sinar matahari, maka semakin kecil pula jumlah sinar matahari yang diterima oleh suatu luasan di permukaan bumi. Kedua, semakin kecil sudut jatuh sinar matahari, semakin panjang pula jarak tempuh sinar matahari melintasi atmosfer. Hal ini berakibat pada semakin kecilnya jumlah energi panas yang diterima bumi (Frick dkk., 2008).

b. Intensitas radiasi

Energi panas yang diterima bumi juga dipengaruhi oleh intensitas radiasi. Faktor-faktor yang menentukan intensitas radiasi matahari antara lain energi radiasi absolut, sudut jatuh pada bidang yang disinari, penyebaran radiasi, serta hilangnya energi pada atmosfer (Lippsmeier, 1997).

c. Durasi penyinaran

Durasi penyinaran matahari bergantung pada lokasi geografis (garis lintang), musim, serta densitas awan. Lama penyinaran maksimal dalam sehari dapat mencapai 90%, namun tidak mungkin menyentuh angka 100%. Durasi penyinaran di daerah khatulistiwa relatif tetap dalam setahun. Penyinaran dapat mencapai 12 jam sehari dengan waktu remang di pagi hari dan sore hari yang pendek. Semakin jauh posisi garis lintang suatu lokasi dari khatulistiwa, semakin lama panjang pula periode remangnya. Awal dan akhir cahaya siang terjadi ketika matahari berada sekitar 18° di bawah garis horizon (Lippsmeier, 1997) (Frick dkk., 2008).

d. Keadaan cuaca atmosfer

Jumlah energi panas matahari yang mencapai ke permukaan bumi dipengaruhi oleh keberadaan awan dan kondisi atmosfer secara keseluruhan. Semakin cerah keadaan cuaca di atmosfer, maka semakin besar pula radiasi panas matahari yang mencapai permukaan bumi. Keadaan cuaca di atmosfer juga mempengaruhi radiasi balik dari permukaan bumi (*radiant heat loss*) ke atmosfer.

Keberadaan awan dan elemen lain di atmosfer akan menghalangi pancaran radiasi balik, sehingga energi panas akan terperangkap di atas permukaan bumi (Frick dkk., 2008).

2.3.2 Perpindahan Panas

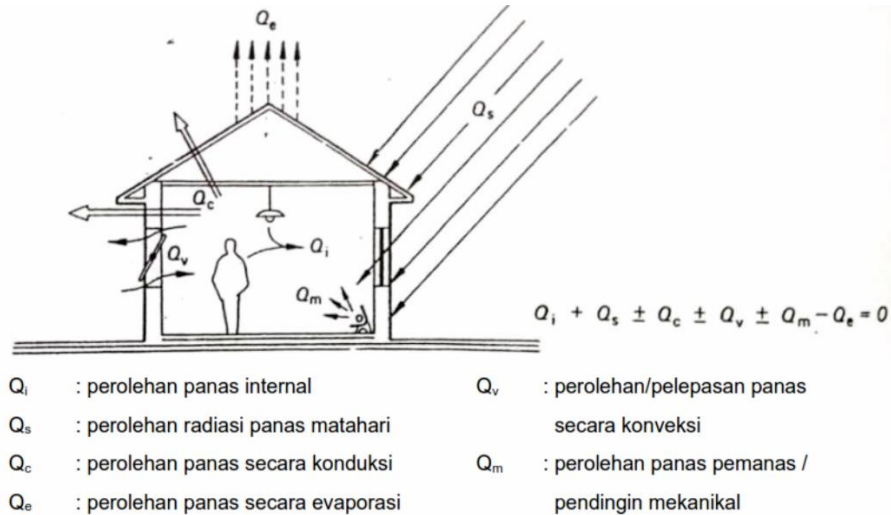
Besarnya energi matahari yang mengenai daerah-daerah beriklim tropis menyebabkan masalah tersendiri pada bangunan. Tingginya temperatur ruang luar yang mengenai permukaan bidang selubung menyebabkan terjadinya arus perpindahan panas ke dalam bangunan yang memiliki temperatur relatif rendah. Menurut Lechner (2015), arus perpindahan panas (*heat transfer*) merupakan proses perpindahan kalor dari suatu entitas bersuhu tinggi ke entitas lain yang memiliki suhu lebih rendah.

Cara perpindahan panas yang dapat terjadi pada bangunan adalah:

- a. Perpindahan panas konduktif, yaitu perpindahan atau penyebaran panas dari benda dengan suhu tinggi ke benda bersuhu lebih rendah melalui kontak (sentuhan) atau melalui medium perantara. Konduksi dipengaruhi oleh luas permukaan obyek, ketebalan obyek, perbedaan temperatur, serta konduktivitas bahan obyek. Contoh peristiwa konduksi dalam bangunan adalah perpindahan panas pada dinding.
- b. Perpindahan panas konvektif, adalah perpindahan panas melalui aliran angin atau zat alir lainnya. Contoh peristiwa konveksi dalam bangunan adalah turut naiknya temperatur ruang karena suhu selubung bangunan yang tinggi.
- c. Perpindahan panas radiatif, merupakan perpindahan panas dengan pancaran.

Perolehan panas pada selubung bangunan oleh radiasi matahari dapat terjadi melalui radiasi langsung (*direct radiation*) permukaan bangunan yang tidak terbayangi serta radiasi tidak langsung (*diffuse radiation*) dari pembiasan langit serta pemantulan obyek di sekitar bangunan. Namun jika dilihat secara lebih kompleks, perpindahan panas pada bangunan merupakan interaksi dari kondisi iklim (terutama radiasi

matahari), data internal, serta penggunaan ruang. Sehingga untuk menggambarkan keseimbangan termal dalam bangunan harus melihat dari semua variabel terkait, yaitu energi, massa, dan tekanan.



Gambar 2.1 Perolehan panas bangunan dari matahari

Sumber: Szokolay (1980)

2.4 Selubung Bangunan

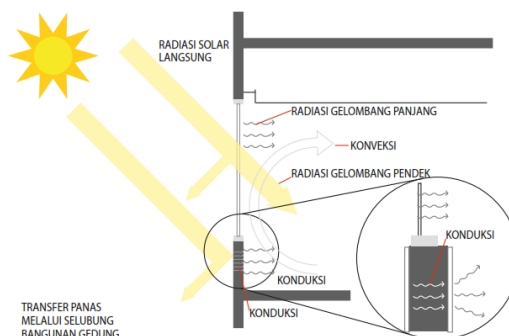
Selubung bangunan merupakan elemen dari garis selungkup bangunan yang menjadi batas antara ruang luar dan ruang dalam (Hyde, 2012). Sebagai elemen terluar, selubung bangunan memiliki peran yang sangat penting bagi performa energi sebuah bangunan gedung. Menurut “Buku Pedoman Energi Efisiensi untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia, 2 Pedoman Teknis Desain” (Gunawan dkk., 2012), peran selubung bangunan terhadap energi bangunan adalah:

- a. Meminimalisir perpindahan panas yang tidak diinginkan
- b. Memungkinkan perpindahan panas yang diinginkan
- c. Sebagai tempat menyimpan panas, terkait penundaan transfer panas
- d. Memfasilitasi pencahayaan alami
- e. Meminimalisir *glare* akibat penetrasi cahaya yang tidak diinginkan
- f. Sebagai ventilasi alami
- g. Mencegah masuknya aliran udara yang tidak diinginkan

Secara garis besar, selubung bangunan terdiri dari elemen buram dan transparan. Pada kedua jenis elemen selubung bangunan tersebut akan

terjadi peristiwa konduksi. Sehingga pemilihan jenis dan warna bahan sangat mempengaruhi perpindahan panas. Sifat bahan yang perlu diperhatikan terkait proses konduksi adalah (1) daya konduksi termal; (2) daya hambat termal; (3) kapasitas panas spesifik; dan (4) kepadatan.

Di sisi lain, selubung bangunan juga memiliki peran terhadap peristiwa perpindahan panas melalui mekanisme radiasi pada bidang transparan. Nilai *solar heat gain* material transparan selubung bangunan dapat mempengaruhi perpindahan panas hingga mencapai 75%. Faktor lain yang juga berpengaruh adalah perbandingan luas bukaan dengan luas dinding keseluruhan (*window-to-wall ratio*). Ilustrasi masuknya kalor ke dalam bangunan dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Perolehan panas pada bangunan

Sumber: Gunawan dkk. (2012)

Sifat material selubung bangunan sangat berpengaruh terhadap jumlah perpindahan panas pada bangunan. Perancang harus mengetahui tegangan fisis yang akan diterima bangunan melalui selubung bangunan. Hal ini bermanfaat untuk mengontrol dan mengurangi fenomena dan kondisi iklim yang tidak diinginkan (Lippsmeier, 1997).

Dalam konteks iklim tropis lembab, perbedaan suhu antara siang dan malam tidak terlalu besar. Kondisi ini membuat pendinginan bangunan pada malam hari tidak mungkin terjadi. Sehingga jenis material ringan dianggap lebih cocok untuk selubung bangunan. Namun penggunaan material ringan ini harus dihindarkan dari radiasi matahari secara langsung melalui peneduhan maupun bahan yang memiliki sifat sebagai isolator (Lippsmeier, 1997).

Elemen buram pada selubung bangunan meliputi dinding, lantai, atap, dan perangkat peneduh. Sedangkan elemen transparan dapat berupa jendela dan *skylight*.

2.4.1 Dinding

Dinding merupakan elemen bangunan pembatas ruang dalam dari ruang luar, maupun pembatas antar ruang. Dinding dianggap sebagai elemen utama selubung bangunan yang diharapkan dapat memberi kenyamanan termal, kenyamanan visual, kenyamanan akustik, hingga berfungsi sebagai pemikul beban dengan tetap memperhatikan estetika bangunan (Mangunwijaya, 1981) (Sadineni dkk., 2011). Secara umum, jenis dinding terdiri dari dinding struktural, dinding non-struktural, dan dinding penyekat.

Sebagai selubung bangunan terluar, dinding akan menjadi panas karena memperoleh beban termal dan akan diteruskan ke ruang dalam jika dinding tidak mendapatkan perlindungan atau naungan. Performa termal dinding sangat berkaitan dengan orientasi hadapnya. Dinding utara dan selatan memiliki sudut jatuh cahaya yang besar, sehingga radiasi matahari tidak terlalu banyak diterima pada sisi ini. Sebaliknya, dinding timur dan barat mendapatkan beban termal yang sangat besar, karena sudut jatuh cahaya matahari kecil. Pada kondisi dan waktu tertentu, bahkan tritisan atap maupun jalusi tetap tidak dapat mengatasi besarnya beban termal ini (Lippsmeier, 1997).

2.4.2 Atap

Atap merupakan bidang selubung bangunan yang paling banyak terpapar radiasi matahari karena orientasinya menghadap ke arah atas (Lippsmeier, 1997). Radiasi matahari yang diterima bangunan akan dipantulkan sebagian oleh atap, dan sisanya akan diserap oleh lapisan penutup atap. Kalor yang diserap atap sebagian akan diradiasikan kembali ke udara luar, dan sebagian lainnya akan diteruskan masuk ke ruang dalam bangunan (Karyono, 2016). Atas pertimbangan demi merespon proses fisika

tersebut, perencanaan atap pada bangunan tropis lembab sebaiknya menggunakan konstruksi ringan dan permeable (Lippsmeier, 1997).

Menurut Lippsmeier (1997), terdapat dua konstruksi atap yang paling umum dijumpai, yaitu atap satu lapis dan atap dua lapis. Atap satu lapis banyak dijumpai karena sederhana dan murah. Namun transmisi termal ke dalam ruangan dapat terjadi secara langsung tanpa adanya lapisan penghalang lain. Kondisi ini dapat disiasati dengan pemilihan material atap yang memiliki daya serap rendah dan berwarna terang supaya dapat memantulkan cahaya. Di sisi lain, atap dua lapis merupakan pilihan paling baik sebagai solusi masalah perpindahan panas. Konstruksi atap dua lapis pada bangunan tropis lembab diimplementasikan melalui penutup atap sebagai lapisan luar, dan plafon menjadi lapisan dalam. Lapisan atap luar berfungsi sebagai pelindung utama bangunan dari radiasi matahari langsung, sehingga penyerapan panas dapat diminimalisir. Syarat material lapisan atap luar sama dengan konstruksi atap satu lapis. Sedangkan lapisan atap dalam sebaiknya menggunakan material pengisolasi panas. Ruang diantara kedua lapisan atap dapat menjadi area penampung sekaligus pembuangan panas melalui ventilasi silang.

2.4.3 Fenestrasi

Dalam konteks selubung bangunan, fenestrasi berkaitan dengan desain dan penempatan bukaan serta elemen transparan pada bangunan. Fenestrasi memiliki beberapa fungsi pokok: (1) memenuhi kebutuhan penghawaan alami melalui ventilasi silang; (2) sumber pencahayaan alami bangunan; (3) memberi akses visual ke ruang luar; dan (4) memberikan tampilan yang baik untuk fasad bangunan (Hyde, 2012).

Atas pertimbangan visual, fenestrasi dengan dimensi besar seringkali diinginkan pada sebuah bangunan. Tapi ukuran fenestrasi yang besar dapat merugikan karena dapat menjadi sumber utama perolehan panas bangunan (Hyde, 2012).

2.4.4 Peneduh

Pada bangunan iklim tropis lembab, radiasi matahari yang mengenai permukaan selubung bangunan akan diteruskan masuk ke bangunan dan akan menyebabkan suhu ruang dalam menjadi tidak nyaman. Hal ini membuat fungsi perangkat peneduh sangat penting sebagai kontrol dan pengurangan perolehan panas pada bangunan. Menurut Lechner (2015), faktor pertama yang perlu diperhatikan untuk mencapai kenyamanan termal bangunan adalah melalui elemen peneduh. Namun, keberadaan elemen peneduh tidak boleh mengganggu akses visual ke luar ruang dan pemenuhan kebutuhan pencahayaan alami (Hyde, 2012).

Berdasarkan letaknya, elemen peneduh diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu *external shading*, *interpane shading*, dan *internal shading*. Peneduh eksternal lebih direkomendasikan, karena mencegah radiasi matahari sampai pada permukaan selubung bangunan lebih diutamakan. Sedangkan peneduh internal justru dapat mengakibatkan kalor terjebak di dalam ruangan.

Menurut Givoni (1976), terdapat dua jenis perangkat peneduh luar, yaitu:

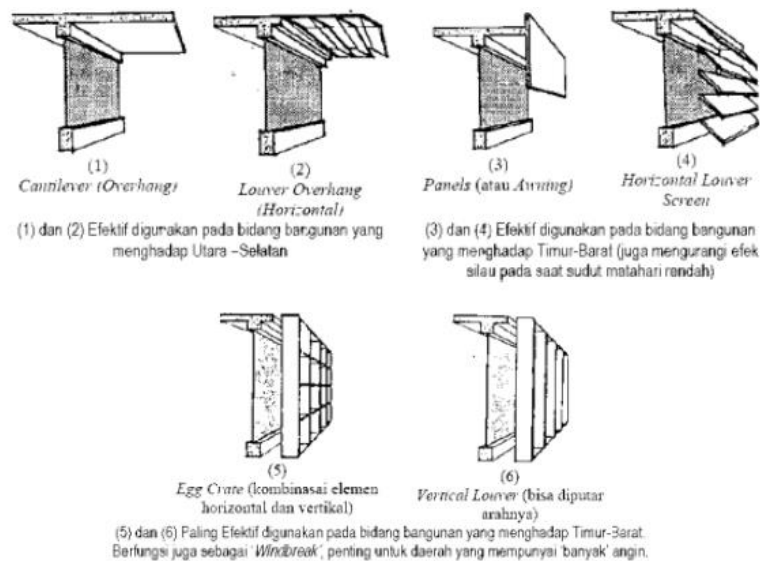
a. Peneduh horizontal (*overhang*)

Efektivitas peneduh horizontal dipengaruhi oleh sudut ketinggian matahari. Prinsip dari peneduh horizontal adalah menghalangi cahaya matahari yang datang pada sudut tinggi, dan membiarkan cahaya matahari sudut rendah mengenai permukaan selubung bangunan (Olgyay & Olgyay, 1977).

b. Peneduh vertikal (*fin*)

Elemen peneduh vertikal berfungsi untuk menghalangi cahaya matahari berdasarkan sudut bantalan matahari. Peneduh vertikal dapat memblokir cahaya matahari dengan sudut rendah. Namun efektivitas peneduh vertikal bervariasi tergantung pada pergerakan semu matahari. Sehingga pada penerapannya, elemen peneduh

vertikal sebaiknya direncanakan dapat bergerak, atau dibantu dengan peneduh horizontal (Olgyay & Olgyay, 1977).



Gambar 2.3 Jenis peneduh

Sumber: Egan (1975)

2.5 Konservasi Energi Bangunan

Menurut “Buku Pedoman Energi Efisiensi untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia, 2 Pedoman Teknis Desain” (Gunawan dkk., 2012), perkiraan konsumsi energi bangunan berdasarkan tipenya adalah sebagai berikut:

- Mall, Toko, dan Jasa: 350 – 500 kWh/m²/th
- Rumah Sakit: 320 – 450 kWh/m²/th
- Apartemen: 300 – 400 kWh/m²/th
- Hotel: 290 – 400 kWh/m²/th
- Perkantoran: 210 – 285 kWh/m²/th
- Pendidikan: 165 – 295 kWh/m²/th

Besarnya konsumsi energi bangunan-bangunan tersebut menyumbang hingga 50% total kebutuhan energi di Indonesia. Kebutuhan listrik bangunan gedung juga menjadi penyebab 70% beban konsumsi listrik nasional. Hal ini mendorong mendorong munculnya peraturan mengenai konservasi energi.

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, konservasi energi merupakan sebuah upaya melestarikan sumber daya energi dengan cara meningkatkan efisiensi penggunaannya, yang dilakukan secara sistematis, terencana, dan terpadu. Konservasi energi juga dapat dimaknai sebagai upaya melakukan efisiensi energi supaya pemborosan energi dapat dihindarkan (SNI 03-6196-2000). Dalam konteks bangunan, konservasi energi dapat dilakukan melalui perencanaan desain yang baik serta pemilihan perangkat bangunan yang sesuai, sehingga siklus energi yang terjadi dalam bangunan gedung dapat terjadi dengan efisien.

Dalam “Buku Pedoman Energi Efisiensi untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia, 2 Pedoman Teknis Desain” (Gunawan dkk., 2012), disebutkan bahwa elemen-elemen utama yang harus diperhatikan dalam upaya efisiensi energi bangunan gedung antara lain:

a. Proses desain terintegrasi

Pertimbangan menyeluruh antara perencanaan arsitektur, struktural, mekanikal dan elektrik, sehingga tercipta integrasi yang baik antara desain bangunan dan karakteristik lingkungan.

b. Pilihan material dan teknologi

Perencanaan dan pemilihan desain serta material selubung bangunan, sistem HVAC, perangkat kelistrikan, konservasi air yang baik supaya tetap fungsional dan hemat energi.

c. Iklim

Konsumsi energi terbesar dalam bangunan digunakan untuk memodifikasi iklim ruang dalam bangunan supaya tercipta kondisi yang nyaman bagi aktivitas pengguna. Sehingga perlu direncanakan strategi desain bangunan yang dapat merespon iklim terkait bentuk massa bangunan, orientasi bangunan, desain selubung bangunan, sistem penghawaan dalam bangunan, dll.

d. Operasional

Membuat panduan operasional dan pemeliharaan bangunan yang berorientasi pada efisiensi energi. Salah satu cara yang dapat tempuh

adalah penerapan *Building Automation System* (BAS) dan *Building Energy Management System* (BEMS).

e. Perilaku

Menumbuhkan kesadaran perilaku pengguna gedung agar memiliki wawasan efisiensi energi.

Green Building Council Indonesia (2016) melalui *GreenShip Existing Building Version 1.1* menentukan acuan Indeks Konsumsi Energi (IKE) gedung terbangun maksimum yang diizinkan untuk gedung perkantoran 250 kWh/m²/th, mall 450 kWh/m²/th, dan hotel/apartemen 350 kWh/m²/th. Kementerian ESDM dalam Buku Pedoman Peserta Penghargaan Subroto Bidang Efisiensi Energi (PSBE) 2021 Kategori A.2 “Bangunan Gedung Hemat Energi” Gedung Retrofit Terbangun mensyaratkan perbaikan performa bangunan harus dapat menurunkan konsumsi energi minimal 20% (Direktorat Jenderal Energi dan Terbarukan dan Konservasi Energi, 2021).

2.6 Peraturan Walikota Semarang Nomor 24 Tahun 2019 tentang Bangunan Gedung Hijau

Kesadaran dan kemauan terkait konservasi energi melahirkan peraturan yang disusun oleh pemerintah dari berbagai level. Peraturan Walikota Semarang Nomor 24 Tahun 2019 disusun dengan latar belakang ingin mewujudkan efisiensi penggunaan sumberdaya dalam penyelenggaraan bangunan gedung di Kota Semarang. Penyusunan peraturan ini merupakan sebuah upaya untuk menjaga daya dukung lingkungan kota supaya tetap berkelanjutan. Efisiensi sumberdaya yang diatur meliputi energi, penggunaan air, dan pengelolaan kualitas udara dalam ruang.

2.6.1 Obyek Bangunan Gedung Hijau

Berdasarkan Bab II Pasal 4 Perwal Kota Semarang No.24/2019, pemberlakuan persyaratan bangunan gedung hijau didasarkan pada (1) fungsi dan klasifikasi bangunan; serta (2) luasan bangunan.

a. Fungsi dan Klasifikasi Bangunan

Terdapat empat klasifikasi fungsi bangunan, diantaranya adalah:

- i. Hunian: meliputi rumah tapak dengan luas minimal 300m² serta rumah tinggal susun.
- ii. Usaha: terdiri dari gedung perkantoran, gedung perdagangan, dan gedung perhotelan.
- iii. Sosial dan budaya: meliputi gedung pelayanan pendidikan serta pelayanan kesehatan.
- iv. Campuran: yaitu bangunan dengan definisi fungsi tersendiri, namun harus tetap mengacu pada ketentuan fungsi bangunan gedung yang dijelaskan sebelumnya.

b. Luasan Bangunan

Kategorisasi luasan bangunan meliputi:

- i. Bangunan gedung besar dengan luas minimal 5000m², termasuk ruang bawah tanah.
- ii. Bangunan gedung sedang dengan rentang luas bangunan antara 2500m² hingga 5000m², termasuk ruang bawah tanah.
- iii. Bangunan gedung kecil dengan rentang luas bangunan antara 300m² (rumah tapak) hingga 2500m².

2.6.2 Persyaratan Teknis Bangunan Gedung Hijau

Persyaratan teknis bangunan gedung hijau diklasifikasikan berdasarkan fungsi dan luas bangunan. Setiap kelas bangunan memiliki persyaratan bangunan masing-masing. Subbab ini akan fokus pada pembahasan mengenai persyaratan teknis bangunan gedung hijau untuk kelas bangunan gedung besar.

Menurut Bab III Pasal 10 Perwal Kota Semarang No.24/2019, persyaratan teknis bangunan gedung besar meliputi efisiensi energi, efisiensi air, dan pengelolaan kualitas udara dalam ruang.

a. Efisiensi energi

Efisiensi energi bangunan gedung besar menurut Perwal Kota Semarang No.24/2019 meliputi:

i. Selubung bangunan

Konservasi energi bangunan terkait selubung bangunan dapat dilihat melalui nilai OTTV dan nilai transmitansi termal (nilai U) atap. Perhitungan OTTV hanya berlaku bagi bangunan dengan penghawaan mekanis yang dikondisikan. Nilai OTTV maksimal yang diperbolehkan adalah 40 watt/m^2 . Sedangkan nilai-U atap yang ditentukan tidak boleh melampaui $1,2 \text{ watt/m}^2\text{K}$.

Kajian teori terkait konservasi energi selubung bangunan dan OTTV lebih lengkap akan dibahas pada subbab 2.7 dan 2.8.

ii. Sistem pengondisian udara

Persyaratan sistem pengkondisian udara meliputi pengaturan temperatur ruangan, *thermal zoning*, *thermostat*, VSD, COP, serta sistem kontrol otomatis.

Temperatur ruangan untuk kenyamanan termal manusia dalam bangunan diatur pada 25°C (toleransi 1°C) dan kelembaban udara relatif 60% (toleransi 10%). Ruangan dengan fungsi dan spesifikasi tertentu yang berbeda dapat menggunakan nilai yang berbeda sebagai dasar perhitungan beban pendinginan bangunan. Perbedaan beban pendinginan ruangan ini akan memunculkan *thermal zoning* sebagai upaya efisiensi energi. Selain itu, pemasangan *thermostat*, *Variable Speed Drive*, *Coefficient of Performance*, dan sistem kontrol otomatis dapat disesuaikan dengan ketentuan lebih detail pada Perwal Kota Semarang No.24/2019.

iii. Sistem pencahayaan buatan

Efisiensi sistem pencahayaan buatan dicapai melalui: (i) pemasangan sensor gerak sistem pencahayaan, diharuskan pada ruang toilet dengan luas lebih dari 25 m^2 ; (ii) pemasangan sensor foto elektrik sistem pencahayaan pada ruangan dengan kriteria perimeter ruang kantor terbuka, konferensi, lobby/ruang tunggu dengan luas lebih dari 100 m^2 ; serta (iii) nilai paling tinggi *Light*

Power Density (LPD) sistem pencahayaan keseluruhan bangunan sebesar 8 W/m^2 rata-rata dalam bangunan.

iv. Sistem transportasi dalam gedung

Poin ini diterapkan melalui kontrol *Variable Voltage Frequency* (VVVF) lift serta kontrol otomatis eskalator.

v. Sistem kelistrikan

Bangunan harus memiliki alat ukur (sub-meter) yang terpisah untuk setiap kelompok daya listrik yang meliputi lampu penerangan dan daya, eskalator dan lift, serta sistem pengkondisian udara.

b. Efisiensi air

Efisiensi air pada bangunan gedung besar menurut Perwal Kota Semarang No.24/2019 mencakup laju aliran (*flow rate*) tertinggi, alat ukur (*sub-meter*) pada sumber air bangunan seperti PDAM dan sumur, serta pemanenan air hujan (*rainwater harvesting*). Bangunan harus memiliki bak penampungan air bersih (*clean water tank*), serta bak penampungan air baku (*raw water tank*) dengan volume $0,025\text{m}$ dari luas lantai dasar.

c. Pengelolaan kualitas udara dalam ruang

Pengelolaan kualitas udara meliputi (i) pemasangan sensor CO dan sistem ventilasi mekanis pada ruang parkir tertutup yang akan beroperasi otomatis memasukkan udara segar ketika ambang batas CO melebihi 35ppm, serta (ii) sensor CO₂ pada ruangan dengan luas minimal 100m^2 yang berfungsi sebagai ruang pertemuan, auditorium, ruang konferensi, teater, atau ruang kelas yang beroperasi secara otomatis memasukkan udara segar ketika ambang batas CO₂ melebihi 1000ppm.

2.7 Konservasi Energi Selubung Bangunan

Selubung bangunan menjadi elemen penting pada bangunan yang memiliki peran dalam mengurangi konsumsi energi. Perencanaan selubung bangunan dapat menentukan beban termal dan pencahayaan yang masuk ke dalam bangunan. Sistem selubung bangunan harus dirancang

sedemikian rupa supaya dapat memasukkan pencahayaan alami, namun harus dapat menahan masuknya panas berlebih ke dalam bangunan.

Beban termal yang masuk ke dalam bangunan banyak direspon melalui penggunaan pengondisian udara mekanis (sistem HVAC). Hal ini bertujuan untuk meningkatkan kenyamanan termal dalam bangunan sehingga produktivitas aktivitas pengguna bangunan juga akan meningkat. Namun di sisi lain penggunaan sistem HVAC memunculkan permasalahan tersendiri terkait energi. Menurut Satwiko (2008) , alokasi energi listrik yang digunakan untuk pengondisian udara mekanis dapat mencapai 60% dari total energi dalam suatu bangunan gedung. Sedangkan untuk alokasi pencahayaan berada di kisaran 10-25%, serta elevator hanya 2-10% (Loekita, 2006).

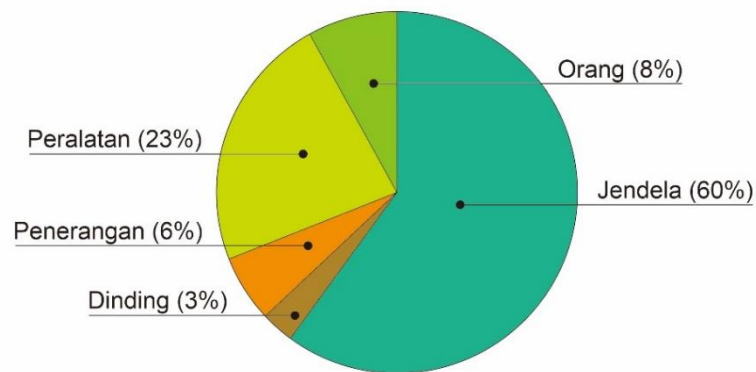


Diagram 2.1 Perolehan beban termal bangunan Kantor di Bandung menurut faktornya

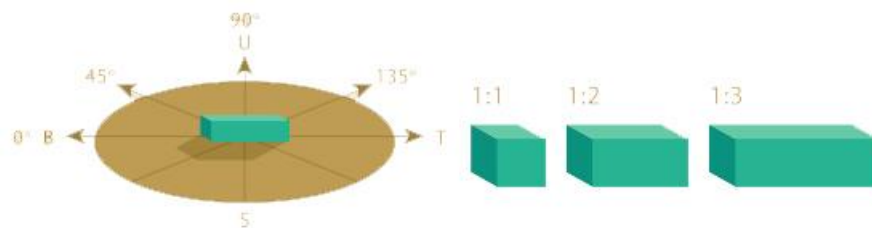
Sumber: Pemerintah Provinsi DKI Jakarta & IFC (2012)

Menurut “Panduan Pengguna Bangunan Gedung Hijau Jakarta Vol.1: Selubung Bangunan” (Pemerintah Provinsi DKI Jakarta & IFC, 2012), perolehan beban termal suatu bangunan dapat berasal dari faktor eksternal (kondisi iklim luar bangunan) maupun internal (penerangan, peralatan, orang, dll). Namun, beban termal terbesar diperoleh melalui masuknya panas dari lingkungan luar, terutama melalui material selubung bangunan tembus cahaya. Data menunjukkan bahwa 63% perolehan panas bangunan berasal dari faktor eksternal melalui jendela dan dinding. Dari persentase tersebut, diketahui pula bahwa perpindahan panas melalui jendela 40 – 130 kali lebih tinggi jika dibandingkan dengan perpindahan

panas melalui dinding. Sedangkan faktor internal hanya memberikan beban termal sekitar 37%.

Berdasarkan “Panduan Pengguna Bangunan Gedung Hijau Jakarta Vol.1: Selubung Bangunan” (Pemerintah Provinsi DKI Jakarta & IFC, 2012), beban pendinginan bangunan akibat pengaruh lingkungan eksternal diperoleh dari perpindahan panas melalui sistem fenestrasi, dinding, atap, serta laju infiltrasi dan eksfiltrasi celah retak selubung bangunan. Beberapa upaya dapat dilakukan untuk mengurangi perolehan panas sebagai upaya konservasi energi melalui selubung bangunan, antara lain:

a. Bentuk dan Orientasi Bangunan



Gambar 2.4 Variasi bentuk massa dan orientasi bangunan

Sumber: Pemerintah Provinsi DKI Jakarta & IFC (2012)

Tabel 2.5 OTTV bangunan dengan variasi bentuk, orientasi, dan WWR

WWR	1:1		1:2				1:3			
	0°	45°	0°	45°	90°	135°	0°	45°	90°	135°
70%	66.79	67.56	62.75	67.68	71.25	67.86	59.75	66.72	72.46	66.99
50%	49.99	50.57	47.02	50.74	53.41	50.84	44.82	50.09	54.37	50.24
30%	32.44	32.81	30.58	33.0	34.73	33.03	29.19	32.64	35.40	32.68

Sumber: Pemerintah Provinsi DKI Jakarta & IFC (2012)

Perolehan panas bangunan dapat dikurangi dengan cara mengatur orientasi permukaan utama selubung bangunan dengan sistem fenestrasi yang menghadap arah utara-selatan. Ruang servis dan sirkulasi dapat diletakkan pada sisi barat maupun timur, sekaligus berfungsi sebagai *thermal buffer zone* bangunan. Selain itu, selubung bangunan pada arah barat-timur sebaiknya menggunakan material ringan dengan insulasi untuk mendapatkan *thermal resistance*. Dapat pula menggunakan dinding masif untuk mengurangi transmisi panas. Bila memungkinkan, dapat menerapkan fasad ganda berbentuk *vertical fins* atau *vertical green wall*. Perbandingan perolehan panas

bangunan dengan variasi bentuk massa, orientasi bangunan, serta sistem fenestrasi dapat dilihat pada gambar 2.4 dan tabel 2.5.

b. Luas Sistem Fenestrasi

Ukuran sistem bukaan bangunan mempengaruhi total perolehan panas yang berimplikasi pada beban pendinginan bangunan. Bukaan bangunan berupa kaca dapat menerima panas 30 – 140 kali lebih besar dibandingkan dinding masif. Semakin tinggi rasio luas jendela terhadap dinding (WWR) maka semakin tinggi pula perolehan panas yang diterima bangunan. Mengurangi 50% luas bukaan bangunan dapat menurunkan 15% konsumsi energi bangunan.

c. Material Tembus Cahaya

Material tembus cahaya yang paling lazim adalah kaca. Sedangkan alternatif lain dapat berupa polikarbonat, akrilik, dll. Sifat termal material tembus cahaya tergantung pada *Conductivity Thermal* (k), Koefisien Perolehan Panas Matahari/*Solar Heat Gain Coefficient* (radiasi), Koefisien Peneduh/*Shading Coefficient* (radiasi), serta *Visible Transmittance* (transmisi cahaya).

Tabel 2.6 Nilai-U dari beberapa jenis kaca

Jenis Kaca	Nilai-U (W/m ² .K)
Kaca jernih tunggal	5,8
Kaca jernih dobel	2,8
Kaca jernih dobel diisi argon	2,7
Kaca jernih dobel dilapis hard low-e	1,7
Kaca jernih dobel dilapis hard low-e dan diisi argon	1,5
Kaca jernih dobel dilapis soft low-e	1,4
Kaca jernih dobel dilapis soft low-e dan diisi argon	1,2
Kaca jernih 3 lapis, 2 lapis low-e, 2 isian argon	0,8
Kaca jernih 3 lapis, 2 lapis low-e, 2 isian xenon	0,4

Sumber: Lyons (2010) dalam (Mediastika, 2018)

Conductivity thermal (k) berkaitan dengan kemampuan kaca dalam meneruskan panas. Nilai konduktivitas termal kaca umumnya rendah, sekitar $0,8 \times 10^{-4}$ W/m².°C untuk kaca bening 3mm. Semakin tebal dan gelap warna material kaca, nilai konduktivitas termalnya cenderung meningkat. Nilai konduktivitas termal kaca biasanya dinyatakan

dengan Nilai-U. Semakin rendah Nilai-U material kaca, semakin baik pula performa insulasi termalnya.

Menurut Mediastika (2018), *Solar heat gain coefficient* (SHGC) merupakan persentase antara radiasi matahari yang diterima dan diteruskan secara langsung maupun tidak langsung ke dalam ruang. Nilai SHGC = 0,87 SC. Nilai SHGC sendiri dapat diturunkan dengan menambahkan lapisan tambahan (*coating*). Dalam kasus iklim tropis lembab Indonesia yang memiliki perbedaan suhu eksterior-interior relatif kecil, memperbaiki nilai SHGC dianggap lebih efektif jika dibandingkan dengan menurunkan Nilai-U.

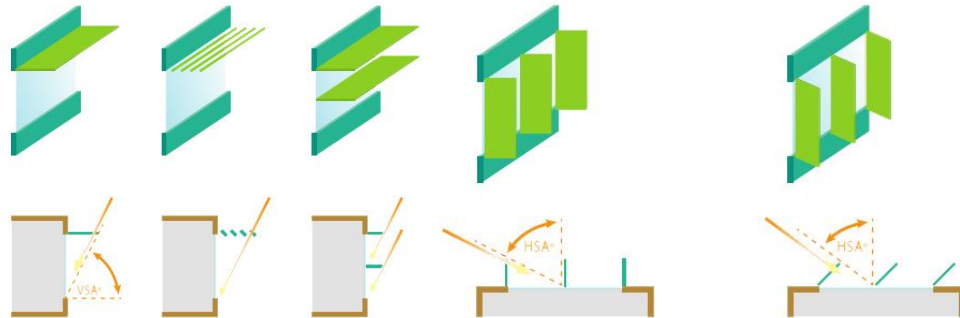
Shading coefficient (SC) merupakan ukuran panas yang diteruskan dari peristiwa radiasi melalui material kaca. Semakin kecil nilai SC, semakin berkurang pula beban termal yang diderita bangunan akibat radiasi. Nilai SC hanya akurat untuk kasus kaca tunggal, sedangkan kaca ganda dan jenis variasi lainnya lebih efektif menggunakan penilaian SHGC (Mediastika, 2018).

Terkait kemampuannya dalam mentransmisikan cahaya, kaca memiliki nilai *visible transmittance* (VT). Nilai VT dinyatakan dalam 0 – 1 atau nilai persentase. Semakin besar nilai VT, semakin baik pula kemampuan kaca tersebut dalam meneruskan cahaya (Mediastika, 2018).

d. Sistem Peneduh

Sistem peneduh eksternal dianggap lebih efektif dalam meminimalisasi beban termal bangunan karena dapat menahan radiasi matahari sebelum mengenai permukaan selubung bangunan. Bentuk sistem peneduh harus direncanakan berdasarkan jalur pergerakan matahari. Secara garis besar, perangkat peneduh horizontal dinilai lebih efektif untuk fasad utara dan selatan bangunan karena sudut datang sinar matahari relatif tinggi. Sebaliknya, untuk sudut datang sinar matahari yang rendah ketika pagi dan sore hari, perangkat peneduh vertikal lebih cocok diaplikasikan pada fasad barat dan timur. Efektivitas perangkat peneduh horizontal ditentukan oleh

sudut bayangan vertikal (*Vertical Shadow Angle* – VSA) yang dapat dicapai melalui beberapa variasi bentuk *overhang*. Sedangkan efektivitas perangkat peneduh vertikal dipengaruhi oleh sudut bayangan horizontal (*Horizontal Shadow Angel* – HSA).



Gambar 2.5 VSA horizontal shading (kiri); HSA vertical shading (kanan)

Sumber: Pemerintah Provinsi DKI Jakarta & IFC (2012)

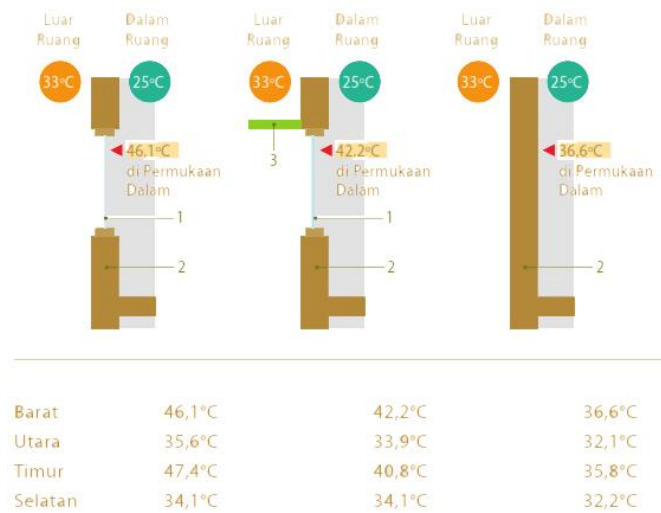
Tingkat efektivitas peneduh bervariasi dipengaruhi oleh WWR, orientasi, dan pemilihan material tembus cahaya. Secara garis besar, penghematan energi bangunan yang lebih baik dapat dicapai pada kasus bangunan dengan nilai WWR dan SHGC tinggi. Sehingga perencanaan sistem peneduh harus terintegrasi dengan sistem fenestrasi.

e. Dinding

Rendahnya perbedaan suhu luar dan dalam membuat aplikasi dinding bata plester atau panel beton pracetak dinilai sudah cukup baik. Hal ini berbeda dengan penggunaan dinding tirai (*curtai wall*) yang lebih rentan terhadap perpindahan panas. Maka pada kasus dinding tirai direkomendasikan untuk menambahkan lapisan insulasi. Sehingga penggunaan selubung masif dianggap lebih baik karena secara signifikan dapat mengurangi transmisi panas serta mampu menurunkan nilai *Mean Radiant Temperature* (MRT) yang mempengaruhi suhu operatif.

Menurut gambar, suhu permukaan dalam dinding kaca memiliki nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan dinding bata. Hal ini mempengaruhi suhu operatif ruangan yang menjadi lebih tinggi.

Sehingga pada akhirnya berakibat pada konsumsi energi bangunan yang lebih tinggi pula.



Gambar 2.6 Perbandingan suhu permukaan kaca dan dinding bata

Sumber: Pemerintah Provinsi DKI Jakarta & IFC (2012)

f. Atap

Perolehan panas pada bidang atap dapat diminimalisasi dengan penggunaan material atap yang memiliki nilai reflektifitas dan emisivitas tinggi. Cara ini juga akan mengurangi fenomena *urban heat island*. Material atap dengan Nilai-U tinggi dapat diatasi dengan cara penambahan lapisan insulasi. Pemasangan 40mm lapisan insulasi pada bagian bawah atap dapat mengurangi hingga 85% transmisi panas. Nilai perpindahan panas melalui atap dapat dihitung lebih lanjut menggunakan persamaan Nilai Transfer Termal Atap (*Roof Thermal Transfer Value – RTTV*).

g. Infiltrasi

Infiltrasi merupakan peristiwa masuknya udara eksternal ke dalam bangunan secara tidak sengaja melalui retak dinding dan atap, celah bangunan, pintu, maupun jendela. Sebaliknya, ekfiltrasi adalah bocornya udara interior keluar ketika interior bangunan bertekanan positif. Keduanya dapat berakibat pada meningkatnya konsumsi energi bangunan, karena perlu usaha lebih besar untuk membuat suhu dan kelembaban udara dalam ruang tetap terjaga.

2.8 Overall Thermal Transfer Value (OTTV)

Salah satu parameter konservasi energi selubung bangunan dapat dilihat melalui OTTV. Konsep OTTV berawal dari standar konservasi energi pada ASHRAE Standar 90-75, yang kemudian diperbaharui dalam ASHRAE 90A-1980. OTTV merupakan ukuran perpindahan panas melalui selubung ke dalam bangunan yang didesain menggunakan pendinginan mekanis (Hui, 1997). Perhitungan OTTV dipengaruhi oleh tiga aspek utama, yaitu (1) konduksi melalui dinding tidak tembus cahaya; (2) konduksi melalui kaca transparan; dan (3) radiasi matahari melalui kaca transparan. Semakin besar nilai OTTV suatu bangunan, maka semakin besar pula konsumsi energi yang dibutuhkan.

Berdasarkan SNI 6389:2020, nilai OTTV untuk setiap bidang selubung bangunan gedung dengan orientasi tertentu dapat dihitung melalui persamaan:

$$OTTV = \alpha (U_w \times (1 - WWR)) \times TD_{EK} + (SC \times WWR \times SF) + (U_f \times WWR \times \Delta T) \dots (1)$$

Keterangan:

OTTV : Nilai perpindahan termal menyeluruh pada dinding luar yang memiliki arah atau orientasi tertentu

α : Absorbtansi radiasi matahari

U_w : Transmittansi termal dinding tak tembus cahaya ($W/m^2.K$)

WWR : Perbandingan luas jendela dengan luas seluruh dinding luar pada orientasi yang ditentukan

TD_{EK} : Beda temperatur ekuivalen (K)

SF : Faktor radiasi matahari (W/m^2)

SC : Koefisien peneduh dari sistem fenestrasi

U_f : Transmittansi termal fenestrasi ($W/m^2.K$)

ΔT : Beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan dalam (diambil 5K)

OTTV seluruh dinding luar bangunan dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$OTTV = \frac{(A_{o1} \times OTTV_1) + (A_{o2} \times OTTV_2) + \dots + (A_{oi} \times OTTV_i)}{A_{o1} + A_{o2} + \dots + A_{oi}} \dots (2)$$

$OTTV_i$: Nilai perpindahan termal menyeluruh pada bagian dinding i (W/m^2) sebagai hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (1)

A_{oi} : Luas dinding pada bagian dinding luar i (m^2). Luas total ini termasuk semua permukaan dinding tak tembus cahaya dan luas permukaan jendela yang terdapat pada bagian dinding tersebut.

2.8.1 Absorbtansi Termal (α)

Absorbtansi termal (α) adalah nilai energi termal yang masuk ke dalam suatu bahan. Nilai absorbtansi termal dipengaruhi oleh jenis bahan dan jenis warna. Terkait dengan pilihan warna, bahan berwarna gelap akan lebih banyak menyerap energi termal dari radiasi matahari. Nilai α untuk beberapa jenis permukaan dan warna dinding buram dapat dilihat dalam Lampiran I.

Menurut SNI 6389:2020, nilai α bisa diambil dari lapisan terluar dinding jika lapisan warna (cat) sudah tersertifikasi nilai SRI (*solar reflectance index*). Jika lapisan warna belum mendapatkan sertifikasi nilai SRI, maka nilai α harus dihitung dari rata-rata nilai α warna dan material dinding buram.

2.8.2 Transmittansi Termal (U)

Transmittansi termal merupakan nilai perpindahan kalor dari udara pada satu sisi bahan ke udara sisi bahan lainnya. Semakin rendah nilai- U , maka kemampuan insulasi bahan terhadap perpindahan kalor semakin baik. Dalam SNI 6389:2020, nilai- U untuk dinding tak tembus cahaya dan fenestrasi yang terdiri dari beberapa lapis komponen bangunan adalah sebagai berikut:

$$U = \frac{1}{R_{total}} \dots (3)$$

R_{total} adalah resistansi termal total, yaitu tahanan panas total yang besarnya sama dengan jumlah masing-masing tahanan panas dari

permukaan udara luar, bahan homogen, bahan tidak homogen, dan permukaan udara dalam. Nilai-R berbanding terbalik dengan nilai-U. Artinya, semakin tinggi nilai-R, maka kemampuan insulasi kalor suatu bahan akan semakin baik.

Beberapa jenis resistansi termal adalah:

- a. Resistansi lapisan udara luar (R_{UL}) dan dalam (R_{UP})
- b. Resistansi termal bahan (R_K)

Nilai resistansi termal bahan dapat dihitung dengan persamaan (4) berikut.

$$R_k = \frac{t}{k} \dots (4)$$

t: tebal bahan (m)

k: nilai konduktivitas termal bahan (W/m.K)

Konduktivitas termal bahan adalah kemampuan bahan untuk menyalurkan panas secara konduksi. Bahan dengan nilai-K rendah artinya memiliki kemampuan insulasi yang lebih baik.

- c. Resistansi termal rongga udara (R_{RU})

Nilai masing-masing jenis resistansi termal dapat dilihat pada Lampiran II.

2.8.3 Perbandingan Jendela terhadap Dinding (WWR)

Dalam konteks perhitungan OTTV, luas bukaan pada sistem fenestrasi harus direncanakan dengan baik untuk mengendalikan kalor yang masuk ke dalam bangunan. Perbandingan jendela dengan dinding, atau disebut juga *window-to-wall ratio* (WWR), merupakan rasio antara luas bukaan dengan luas seluruh dinding luar pada orientasi tertentu. Semakin luas bukaan bangunan, maka nilai WWR juga akan semakin besar. Nilai WWR yang besar akan mengakibatkan peningkatan nilai OTTV (Wibawa & Utama, 2019).

2.8.4 Beda Temperatur Ekuivalen (TD_{EK})

Beda temperatur ekuivalen adalah perbedaan nilai temperatur ruangan dan temperatur dinding luar atau atap karena paparan radiasi matahari dan temperatur udara luar. Perbedaan ini kemudian

menyebabkan aliran kalor melalui dinding atau atap yang ekuivalen dengan aliran kalor sesungguhnya. Beda temperatur ekuivalen dipengaruhi oleh (1) tipe, massa dan densitas konstruksi; (2) intensitas radiasi matahari dan lama penyinaran; (3) lokasi dan orientasi bangunan; serta (4) kondisi perancangan. Nilai beda temperatur ekuivalen material dinding berdasarkan penggolongan berat per satuan luas tercantum pada tabel 2.7.

Tabel 2.7 Beda temperatur ekuivalen untuk dinding

Berat/Satuan Luas (kg/m ²)	TD _{EK}
<125	15
126 – 195	12
>195	10

Sumber: SNI 6389:2020

2.8.5 Faktor Rerata Radiasi Matahari (SF)

Faktor rerata radiasi matahari, atau disebut juga sebagai *solar factor* (SF), merupakan laju rata-rata radiasi matahari per jam yang mengenai suatu bidang permukaan pada selang waktu tertentu (Setyowati, 2015). Nilai faktor rerata radiasi matahari Kota Semarang berbagai orientasi dapat dilihat pada tabel 2.8.

Tabel 2.8 Faktor rerata radiasi matahari (SF, W/m²) Kota Semarang

Orientasi	U	TL	T	TG	S	BD	B	BL	Roof/Horizontal
Solar Factor	156	170	177	138	111	155	205	191	434

Sumber: SNI 6389:2020

2.8.6 Koefisien Peneduh (SC)

Koefisien peneduh, atau *shading coefficient* (SC), merupakan nilai perbandingan antara perolehan kalor matahari melalui sistem bukaan yang memiliki kombinasi *glazing* dan koefisien peneduh dengan perolehan kalor melalui kaca bening setebal 3mm tanpa peneduh dengan lokasi yang sama. Nilai SC dapat dihitung menggunakan persamaan (5).

$$SC = \frac{\text{Pengaruh kalor matahari pada setiap kaca \& kombinasi koefisien peneduh}}{\text{Pengaruh kalor matahari melalui kaca jernih setebal 3mm}} \dots (5)$$

Pada setiap sistem fenestrasi, nilai koefisien peneduh (SC) didapatkan dari perkalian antara koefisien peneduh kaca (SC_k) dengan

koefisien peneduh efektif (SC_{eff}) yang dimiliki sebuah peralatan peneduh luar (SNI 6389:2020). Perhitungan SC dapat dilihat pada persamaan (6).

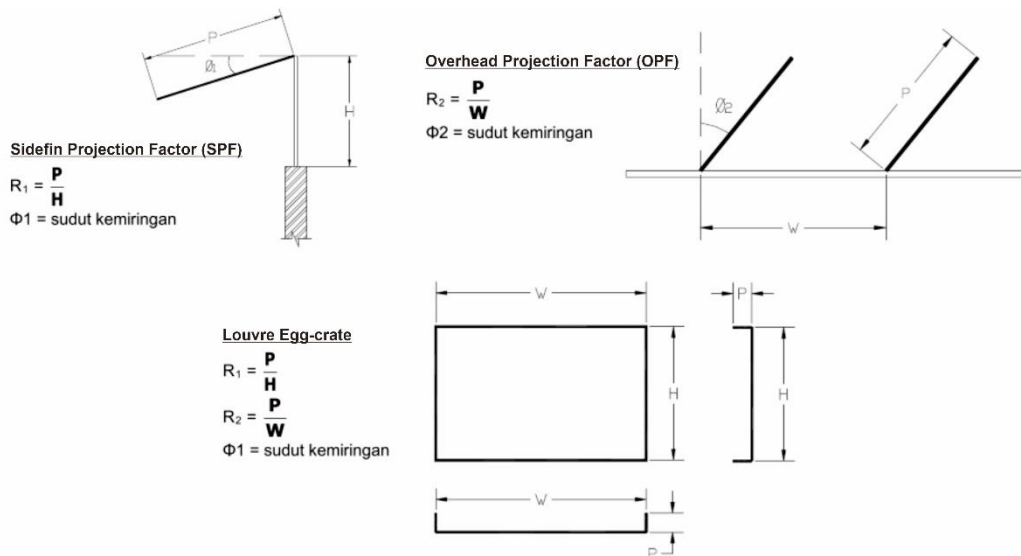
$$SC = SC_k \times SC_{eff} \dots (6)$$

SC : kofisien peneduh sistem fenestrasi

SC_k : koefisien peneduh kaca

SC_{eff} : Koefisien peneduh efektif peralatan peneduh luar

Setidaknya terdapat dua jenis sistem peneduh, yaitu *Sidefin Projection Factor* (SPF) dan *Overhead Projection Factor* (OPF). SPF merupakan nilai perbandingan antara kedalaman peneduh vertikal (*sidefin*) dan lebar bukaan. Sedangkan OPF adalah perbandingan antara kedalaman penduh horizontal (*overhang*) dengan tinggi bukaan. Gabungan antara keduanya adalah *Egg-crate*.



Gambar 2.7 Sidefin Projection Factor dan Overhead Projection Factor

Sumber: SNI 6389:2020

Untuk mendapatkan nilai SC_{eff} , hasil perhitungan SPF dan OPF kemudian dicocokkan dengan nilai tabel *External Shading Multiplier* yang dimiliki pada masing-masing negara. Faktor geografi suatu negara sangat berpengaruh karena sistem peneduh dipengaruhi oleh letak relatif negara tersebut terhadap pergerakan matahari. Jika suatu sistem peneduh

memiliki nilai SPF dan OPF sekaligus, maka nilai terkecil diantara keduanya yang diambil sebagai representasi SC_{eff} (Setyowati, 2015). Nilai SC_{eff} berbagai sudut kemiringan dapat dilihat dalam SNI 6389:2020.

Nilai SC hanya dipengaruhi oleh peralatan peneduh luar, sedangkan perangkat peneduh dalam (tirai, krei, dll) dapat diabaikan.

2.8.7 Beda Temperatur Luar dan Dalam (ΔT)

ΔT merupakan perbedaan temperatur antara bagian luar dan dalam yang direncanakan. Nilai ΔT dipengaruhi oleh kondisi iklim lokasi. Untuk Indonesia, digunakan ΔT sebesar 5K.

2.9 Sefaira

Sefaira merupakan platform desain berbasis kinerja (*performance-based design*) berupa web dan *plugin* untuk analisis keberlanjutan pada bangunan. Sefaira dapat melakukan analisis energi, kenyamanan bangunan, sistem HVAC, air, karbon, dan potensi energi alternatif terbaharukan berbasis fisika dengan mesin EnergyPlus yang terintegrasi dengan Sefaira Fulcrum. EnergyPlus sendiri merupakan aplikasi yang dikembangkan oleh Departemen Energi AS dan sudah sangat lazim digunakan untuk simulasi energi bangunan (Karkare dkk., 2014).

Sefaira melakukan analisis dari pemodelan 3D SketchUp dan Revit, data iklim, serta masukan data-data bangunan terkait. Proses pemodelan energi yang dilakukan dalam Sefaira bersifat *real-time*. Konsep *real-time* ini memberi manfaat bagi perancang untuk dapat mengetahui umpan balik kinerja yang terjadi pada bangunan secara langsung setelah diberi perlakuan tertentu. Integrasi antara web dan model 3D dapat memudahkan perancang dalam memahami tentang bagaimana bangunan beroperasi, serta apa yang dapat dilakukan untuk mendapatkan performa bangunan yang lebih baik lagi.

2.9.1 Masukan Data Sefaira

Sefaira membutuhkan delapan jenis kelompok data sebagai masukan awal sebelum memasuki tahap analisis. Kelompok data yang dimaksud antara lain:

a. Model 3D bangunan

Model 3D bangunan berfungsi membantu *engine* untuk mendapatkan informasi mengenai bentuk bangunan, orientasi bangunan, serta identifikasi bidang (lantai, dinding, atap, bidang kaca, perangkat peneduh, dll).

b. Data lokasi dan cuaca

Sebuah bangunan tidak dapat terlepas dari konteks cuaca dan lingkungan, yang pada akhirnya akan mempengaruhi konsumsi energi bangunan. Sefaira mendapatkan data cuaca berdasarkan lokasi dari EnergyPlus. Ketika lokasi bangunan telah ditentukan, Sefaira akan secara otomatis memilih data cuaca dari stasiun meteorologi terdekat. Jika Sefaira tidak memiliki database cuaca di lokasi yang diinginkan, file cuaca (.epw) dapat diunggah secara manual.

c. Selubung bangunan

Selubung bangunan mencakup dinding, lantai, atap, bidang kaca, dan keberadaan atap kaca. Masing-masing bidang selubung bangunan harus ditentukan jenis material dan nilai-U.

Khusus untuk material kaca, harus diketahui nilai *solar heat gain coefficient* (SHGC). Sebagai elemen yang paling besar dalam menangkap radiasi matahari, penting juga untuk menghitung nilai *window-to-wall ratio* (WWR) bangunan.

Selubung bangunan juga berkaitan dengan infiltrasi. Nilai infiltrasi akan menggambarkan jumlah udara yang masuk ke dalam bangunan tanpa direncanakan. Semakin besar nilai infiltrasi (L/s.m), semakin besar pula beban pendinginan bangunan. Infiltrasi dapat masuk melalui pergantian udara pada sistem HVAC, area fasad, serta retak atau celah-celah pada bukaan bangunan.

d. Perangkat peneduh

Perangkat peneduh bangunan dapat dianalisis secara otomatis melalui model 3D bangunan. Namun Sefaira juga menyediakan masukan manual mengenai data perangkat peneduh yang meliputi *horizontal shading*, *vertical shading*, hingga *automated blinds and shades*.

e. Penggunaan ruang/bangunan

Penggunaan ruang/bangunan berkaitan erat dengan fungsi bangunan itu sendiri. Dalam bagian ini, terdapat empat kategori yang meliputi:

- Desain beban bangunan

Desain beban bangunan mencakup (1) *occupant density* (m^2/person), berkaitan dengan seberapa padat pengguna bangunan jika dibandingkan luas lantai bangunan; (2) *equipment power density* (W/m^2), mengenai seberapa perangkat mekanis yang direncanakan beroperasi dalam bangunan; serta (3) *lighting power density* (W/m^2), tentang kepadatan energi lampu per satuan luas bangunan.

- Desain temperatur

Bagian ini berkaitan dengan perencanaan dan upaya mempertahankan suhu ruang dalam bangunan pada angka tertentu yang dikehendaki. Hal ini berkaitan erat dengan intensitas kinerja sistem HVAC bangunan. Desain temperatur mencakup *setpoint temperatures* dan *setback temperatures*.

- Ventilasi dan udara luar

Laju aliran udara ruang luar yang masuk penting untuk diketahui karena berkaitan dengan beban pendinginan dan upaya penyediaan udara bersih bagi bangunan. Variable terkait ventilasi dan udara luar mencakup *outside air rate/person*, *outside air rate/unit area*, serta *air changes per hour*.

- Jadwal HVAC

Sebagai komponen penyumbang konsumsi energi terbesar, perlu diketahui jadwal operasional harian sistem HVAC bangunan beserta *setback to setpoint ramp up time*.

- Jadwal harian bangunan

Penggunaan energi bangunan terbesar terjadi ketika bangunan tersebut digunakan. Sehingga penting untuk mengetahui jadwal operasional bangunan, sehingga konsumsi energi bangunan dapat diperkirakan.

- Faktor diversitas tahunan

Bagian ini berfungsi untuk mengetahui fluktuasi grafik konsumsi energi harian bangunan berdasarkan aktivitas yang dilakukan pengguna. Data yang diperlukan adalah *internal loads applied* dan *HVAC System operating on*.

f. Sistem HVAC

Terdapat tiga kelompok penghawaan mekanis dalam Sefaira, yaitu:

- *Overhead All-Air System: Variable Air Volume (VAV) dan Constant Air Volume (CAV)*
- *DOAS System: Package Terminal AC, PTHP/ Split System, Fan Coil Unit and Central Plant, Water Source Heat Pump Fan Coils, VRF Fan Coil, Active/Passive Chilled Beams, Radiant Floor, dan Heating-Ventilation Only*
- *Underfloor Systems: Underfloor Air Distribution dan Displacement Ventilation*

Salah satu faktor penting dalam sistem HVAC adalah tingkat efisiensi pendinginan yang dilihat dari nilai EER atau COP. Menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No.57 Tahun 2017 tentang Penerapan Standar Kinerja Energi Minimum dan Pencantuman Label Tanda Hemat Energi untuk Peranti Pengkondisi Udara, Rasio Efisiensi Energi (*Energy Efficiency Ratio/EER*) adalah perbandingan antara kapasitas pendinginan udara (BTU/jam) dengan daya listrik yang dikonsumsi (watt). Semakin tinggi nilai EER, semakin

baik pula efisiensi perangkat HVAC. Sedangkan Koefisien Kinerja (*Coefficient of Performance/COP*) berbanding terbalik dengan EER, dengan persamaan $EER = 3,41 \times COP$.

Selain penghawaan mekanis, dalam input sistem HVAC Sefaira juga terdapat integrasi dengan penghawaan alami. Sehingga perlu ditentukan mekanisme integrasi kedua sistem tersebut. Selain itu, diperlukan pula data mengenai persentase sistem fenestrasi bangunan yang dapat dioperasikan.

g. Energi alternatif

Energi alternatif dalam Sefaira hanya berupa penggunaan panel *Photovoltaic* (PV). Bagian ini mencakup masukan data mengenai efisiensi, orientasi, kemiringan, dan luas bidang panel PV.

h. Zoning ruang dan bangunan

Bagian ini mendeskripsikan bagaimana pembagian zona yang direncanakan dalam sistem penghawaan bangunan. Pilihan zona yang ada adalah zona per lantai, zona perimeter, dan zona per ruang. Hal ini berkaitan dengan variasi beban pendinginan dalam bangunan, sehingga akan mempengaruhi tingkat efisiensi penggunaan sistem penghawaan mekanis bangunan.

2.9.2 Keluaran Data Sefaira

Keluaran dari Sefaira mencakup empat hal, yaitu pencahayaan alami bangunan (*daylight*), kinerja sistem HVAC bangunan, kenyamanan termal bangunan, serta konsumsi energi beserta emisi karbon bangunan.

a. Pencahayaan alami

Sefaira dapat memberi visualisasi pencahayaan alami bangunan yang meliputi kualitas pencahayaan (*well lit, overlit, undelit*), pencahayaan rata-rata tahunan, pencahayaan pada waktu tertentu yang spesifik, area dengan profil pencahayaan yang kurang ideal, serta *daylight factor*.

b. HVAC

Berkaitan dengan HVAC, Sefaira dapat memberikan keluaran berupa:

- *Zone sizing*

Sefaira dapat memberikan keluaran berupa *FCU fan size* (L/s), *Minimum outside air* (L/s), serta *FCU cooling/heating coil* (kW) pada tiap zona yang telah ditentukan.

- *Peak load*

Beban pendinginan bangunan dapat diketahui beserta sumbernya, yaitu *equipment gain*, *infiltration gain*, dan *lighting gain* (W/m²).

- *Plant sizing*

Sefaira dapat menunjukkan kapasitas perangkat HVAC yang diperlukan untuk bangunan. Keluaran data yang disediakan adalah *Cooling/Heating (Cooling Equipment Design Capacity, Total Peak Coil Load, AHU Peak Coil Load, Peak Coil Load per zona, dan Chilled Water Pumps)*, *Air Handling (Design Capacity dan minimum Outside Air)*, serta desain *Heat Rejection*.

c. Kenyamanan termal

Sefaira dapat memunculkan data simulasi kenyamanan termal bangunan per hari dalam satu tahun dengan mengolah data cuaca yang didapat dari stasiun meteorologi terdekat. Keluaran ini dapat memberi gambaran performa kenyamanan termal bangunan secara menyeluruh, sehingga nantinya dapat diketahui alternatif solusi sebagai perbaikan. Kenyamanan termal dapat ditunjukkan dalam *dry bulb temperature*, *operative temperature*, serta *predicted mean vote* (PMV).

d. Konsumsi energi dan emisi karbon

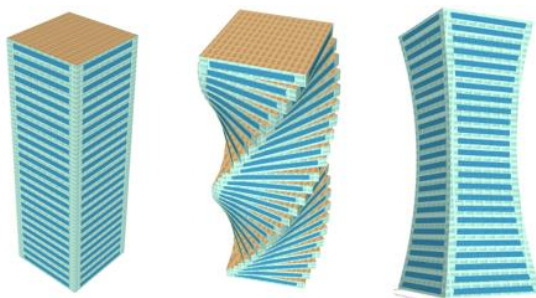
Sefaira dapat menunjukkan tingkat konsumsi energi bangunan berupa *energy use intensity* lengkap dengan *energy breakdown* masing-masing variabel, emisi karbon yang dihasilkan bangunan, hingga perkiraan biaya energi tahunan bangunan.

2.9.3 Penggunaan Sefaira

Sefaira dapat diaplikasikan dalam berbagai tahap rentang usia bangunan. Sefaira mampu melakukan analisis energi bangunan pada tahap awal rancangan hingga evaluasi pasca huni. Analisis energi dapat dilakukan menyeluruh terhadap seluruh komponen selubung dan peralatan bangunan, maupun berfokus pada kinerja satu komponen/variabel tertentu dalam bangunan. Selain itu, Sefaira juga sering digunakan oleh arsitek dan insinyur dalam melakukan pendekatan evaluasi desain untuk memperoleh sertifikasi dan rating bangunan hijau.

a. Tahap Desain

Sefaira sangat cocok digunakan pada tahap awal desain karena memiliki sifat *real-time* serta fleksibilitas penggunaan yang tinggi. Arsitek dan insinyur dapat melakukan eksplorasi desain dengan lebih luwes, sehingga gambaran performa energi bangunan dari berbagai opsi desain dapat langsung dilihat dan dibandingkan.



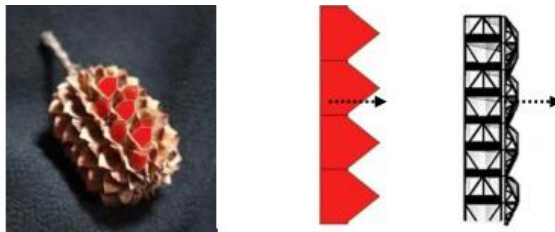
Gambar 2.8 Massa bangunan extruder, twister, dan rotor

Sumber: Ola dkk. (2022)

Ola dkk. (2022) menggunakan Sefaira untuk mengetahui bentuk massa bangunan tinggi yang paling hemat energi di berbagai iklim. Bentuk bangunan extruder memiliki performa lebih baik di kondisi iklim dingin dan kering (zona iklim 7), karena pelepasan kalor pada bidang kaca dan kebutuhan pemanasan bangunan pada iklim tersebut tergolong minimum. Bentuk twister cocok untuk daerah iklim hangat dan lembab karena memiliki elemen pembayangan yang cukup, sehingga perolehan panas yang diterima bangunan dapat diminimalisasi. Sedangkan massa rotor merupakan bentuk terbaik

untuk semua zona iklim, karena memiliki luas permukaan fasad paling kecil, volume massa paling kecil, serta nilai WWR paling rendah.

Seftyarizki dkk. (2022) menguji pendekatan organik biologis pada massa bangunan apartemen dengan analogi biji pinus. Semakin kompleks lapisan desain bangunan sesuai analogi biji pinus, semakin rendah pula konsumsi energinya ($63 \text{ kWh/m}^2/\text{tahun}$). Hal ini karena keberadaan elemen pembayangan serta fasad ganda analogi biji pinus dapat membantu mengurangi perolehan panas pada bangunan.

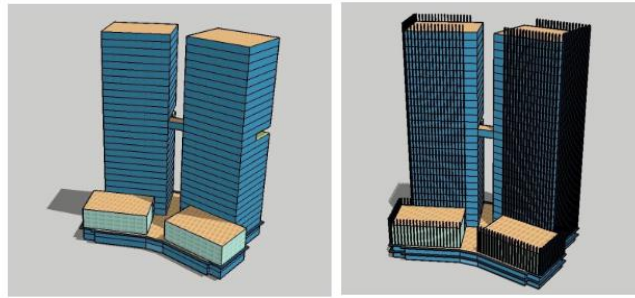


Gambar 2.9 Pendekatan massa bangunan analogi biji pinus

Sumber: Seftyarizki dkk. (2022)

Nurlette & Paramita (2019) melakukan evaluasi energi pada desain perencanaan gedung perkantoran di Jakarta, Indonesia. Spesifikasi material standar *plugin* Sefaira mengakibatkan konsumsi energi bangunan yang relatif besar hingga mencapai $186 \text{ kWh/m}^2/\text{tahun}$. Perbaikan dilakukan melalui penambahan insulasi pada material dinding, atap, lantai, serta kaca, sehingga didapatkan masing-masing nilai-U dan SHGC yang lebih rendah. Strategi tersebut dapat menurunkan konsumsi energi bangunan menjadi $89 \text{ kWh/m}^2/\text{tahun}$.

Amalia dkk. (2020) melakukan analisis energi yang relatif serupa, dengan obyek berupa desain perencanaan sebuah gedung perkantoran di Jakarta Selatan, Indonesia. Konsumsi energi bangunan mengalami penurunan dari $186 \text{ kWh/m}^2/\text{tahun}$ menjadi $111 \text{ kWh/m}^2/\text{tahun}$. Penurunan konsumsi energi tersebut terjadi karena terdapat beberapa penyesuaian desain terkait spesifikasi material buram, material transparan, serta penambahan elemen pembayangan.



Gambar 2.10 Desain perencanaan gedung perkantoran sebelum (kiri) dan setelah (kanan) mengalami retrofit

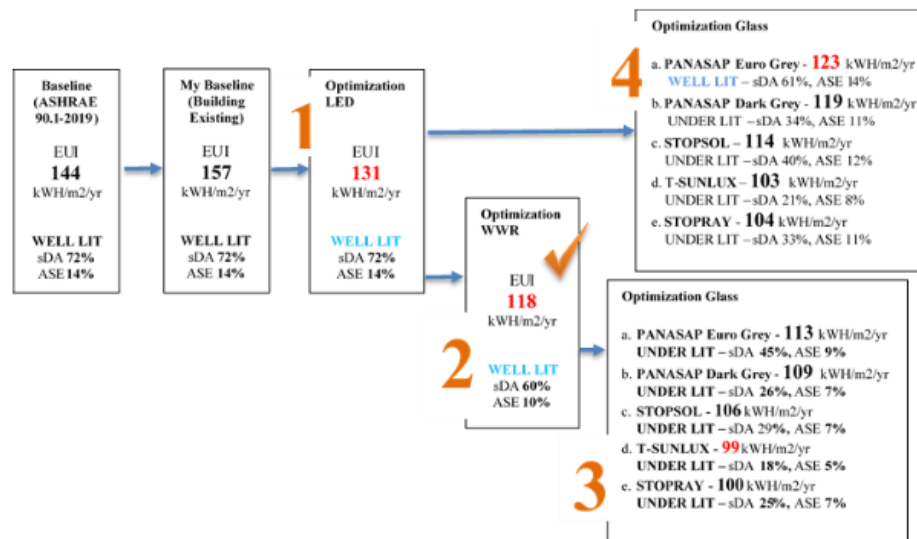
Sumber: Amalia dkk. (2020)

Nabilah dkk. (2021) mengevaluasi efisiensi energi pada desain perencanaan bangunan gereja di Bandung, Indonesia. Setelah menerapkan strategi optimalisasi material bangunan dan perbaikan sistem ventilasi, jumlah konsumsi energi bangunan mengalami penurunan dari 125 kWh/m²/tahun menjadi 67 kWh/m²/tahun.

b. Evaluasi Energi (Terbangun)

Sefaira juga mampu melakukan analisis energi untuk mengevaluasi performa bangunan eksisting. Evaluasi energi pernah dilakukan pada salah satu gedung di kampus IIT Bombay, India oleh Karkare dkk. (2014). Konsumsi listrik tahunan bangunan eksisting mencapai 133 MWh dengan porsi terbesar adalah beban pendinginan (70%). Menurut Sefaira, penyebab besarnya beban pendinginan bangunan adalah konduksi bidang buram (49%) serta radiasi bidang transparan (22%). Opsi skenario retrofit dengan pengaruh pengurangan konsumsi energi terbesar adalah melalui peningkatan kualitas material bangunan untuk meminimalisasi konduksi dan radiasi, insulasi elemen selubung bangunan, pemilihan perangkat sistem HVAC yang sesuai, penyesuaian ulang bukaan bangunan, serta penambahan panel surya. Skenario ini membuat konsumsi energi tahunan bangunan turun hingga 64% serta periode pengembalian modal selama 9 tahun. Wibawa dkk., 2021) melakukan evaluasi konsumsi energi pada salah satu bangunan di kompleks kampus Universitas PGRI Semarang. Tingkat konsumsi energi bangunan eksisting adalah 157 kWh/m²/tahun. Opsi retrofit terbaik dilakukan melalui memperkecil

nilai WWR, sehingga konsumsi energi turun menjadi 118 kWh/m²/tahun. Opsi retrofit lain berupa menurunkan nilai *lighting power density* (LPD) dan mengganti material kaca tidak memberikan nilai yang lebih baik.



Gambar 2.11 Rangkuman opsi skenario retrofit bangunan kampus UPGRI

Sumber: Wibawa dkk. (2021)

Risnandar & Primasetra (2021) melakukan pengamatan pada salah satu gedung yang dibangun dengan material *reused shipping container* di Institut Teknologi Sains Bandung (ITSB), Bekasi. Kondisi bangunan eksisiting tanpa perangkat pengondisian udara buatan menyebabkan konsumsi energi bangunan rendah, namun kenyamanan termal rata-rata bangunan hanya 40% durasi penggunaan. Sehingga opsi yang paling optimal adalah dengan mengintegrasikan penghawaan alami dan buatan, menambahkan lapisan insulasi pada selubung bangunan, serta pengaturan elemen pembayangan dan fenestrasi.

c. Elemen Bangunan

Selain analisis energi bangunan, Sefaira juga dapat digunakan untuk melakukan uji pada suatu elemen bangunan tertentu yang dapat mempengaruhi variabel lain dalam bangunan. Lee dkk. (2015) melakukan penelitian mengenai optimalisasi konfigurasi *double skin façade* (DSF) terhadap efisiensi ventilasi alami serta performa energi

bangunan. Temuan penelitian menerangkan bahwa perangkat peneduh horizontal lebih dapat memberi efek penghematan konsumsi energi bangunan jika dibandingkan perangkat peneduh vertikal. Tingkat penghematan energi tahunan bangunan yang menggunakan konfigurasi peneduh horizontal bersudut 30°, 60°, dan 90° berturut turut adalah 0,4%; 2,6%; dan 6,4% jika dibandingkan sudut 0°.

d. Sertifikasi/Rating

Atas fungsi dan kemudahannya, Sefaira juga dapat dimanfaatkan sebagai alat pendukung dalam proses sertifikasi bangunan. Qadir dkk. (2019) melakukan kajian terhadap bangunan vila khas Emirati tua berkaitan dengan kategori kredit *Resource Energy* (RE) dalam *Estidama Pearl Rating System*. Kajian dilakukan dengan bantuan Sefaira, dan menunjukkan hasil bahwa bangunan tersebut berpotensi memperoleh 16 poin dari total poin maksimal 21. Strategi retrofit yang dapat dilakukan untuk meningkatkan poin penilaian adalah pemenuhan syarat minimum nilai-U material bangunan sesuai standar *Estidama Pearl Rating System*, optimalisasi ventilasi alami, aplikasi *green wall/vertical garden* untuk mereduksi perolehan panas, serta pemasangan panel surya.

Tabel 2.9 Perhitungan kredit poin RE vila Estidama tua

Kode	Kredit	Poin Didapat	Poin Maksimal
RE-1	<i>Improved Energy Performance</i>	6	8
RE-2	<i>Cool Building Strategies</i>	5	6
RE-3	<i>Renewable Energy</i>	5	7
Total		16	21

Sumber: Qadir dkk. (2019)

Da Costa Duarte & Rosa-Jiménez (2022) mengevaluasi tiga bangunan di University of Malaga demi mencapai level nZEB dengan bantuan Sefaira. Aularios Lopez de Penalver, Gerald Brenan dan Severo Ochoa merupakan tiga bangunan dengan desain yang hampir serupa, namun terletak di lokasi berbeda serta memiliki orientasi hadap bangunan yang berbeda pula. Enam opsi strategi perbaikan desain dikaji supaya bangunan dapat memenuhi persyaratan nZEB.

Meningkatkan optimalisasi selubung bangunan serta perencanaan sistem HVAC yang tepat dianggap sebagai opsi strategi paling menguntungkan, karena dapat mengurangi konsumsi energi bangunan sebesar 85% - 93%.

e. Perbandingan Aplikasi

Terdapat banyak perangkat lunak *building performance simulation* (BPS), terutama dengan fungsi spesifik analisis energi bangunan. Menurut Al-janabi dkk. (2019), beberapa kajian terdahulu memaparkan terjadinya perbedaan hasil simulasi yang cukup besar, mulai dari 17% hingga 67%. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor seperti kualitas input data, pengetahuan dan kompetensi pengguna, metode dan algoritma mesin simulasi, maupun penyederhanaan teknologi yang kompleks.

Al-janabi dkk. (2019) melakukan perbandingan antara EnergyPlus melalui aplikasi Sefaira dan IES dalam analisis performa bangunan Stanley Pauley Engineering Building (SPEB), University of Manitoba, Winnipeg, Kanada. Terdapat perbedaan konsumsi energi total bangunan sekitar 2,1% antara keduanya. Perbedaan beban pemanasan bangunan pada sistem beban udara ideal adalah 6 MWh (1,7%), sedangkan perbedaan beban pendinginan mencapai 0,86 MWh (7,8%). Selisih ini termasuk kecil dan masih dapat ditoleransi. Temuan berbeda dilaporkan oleh Schwartz & Raslan (2013), yang mengatakan bahwa hasil simulasi beban pendinginan EnergyPlus 21% lebih rendah dari IES. Sedangkan nilai beban pendinginan EnergyPlus empat kali lebih tinggi dari IES. Al-janabi dkk. (2019) menyatakan bahwa model EnergyPlus memiliki sensitivitas yang lebih tinggi terhadap perubahan suhu udara luar ruangan jika dibandingkan dengan IES.

Di dalam penelitian lain, Hamedani & Smith (2015) melakukan kajian perbandingan tiga aplikasi BPS, yaitu Autodesk Ecotect, PHPP, dan Sefaira terhadap suatu desain bangunan yang sama. Perbandingan ketiganya dapat dilihat pada tabel 2.10.

Tabel 2.10 Perbandingan simulasi Autodesk Ecotect, PHPP, dan Sefaira.

Aplikasi	EUI (kWh/m ² /th)	Keterangan
Autodesk Ecotect	123	Tampilan antarmuka yang ramah pengguna; Kemampuan menjalankan simulasi matahari dan naungan yang komprehensif; Tidak mungkin untuk membuat kasus perbandingan.
PHPP	100,9	Tidak dapat membuat model 3D atau mengimpor/mengekspor model berbasis BIM; Tidak ada representasi grafis dari hasil. Relatif akurat untuk mengevaluasi karakteristik termal bangunan tempat tinggal.
Sefaira	85,2	Tidak dapat mensimulasikan model dengan lebih dari 3000 komponen dan 1000 bagian kaca; Tingkat detail input menjadikannya alat yang mudah digunakan untuk tahap awal desain; Tidak akurat untuk simulasi kinerja energi terperinci.

Sumber: Hamedani & Smith (2015)

Rabbani (2019) mengkaji perbandingan antara perhitungan spreadsheet OTTV dan Sefaira pada bangunan rumah tinggal. Perhitungan OTTV menunjukkan nilai 29,52 W/m². Sedangkan hasil simulasi perpindahan kalor pada selubung bangunan menggunakan Sefaira sebesar 12 W/m². Rabbani (2019) menyatakan bahwa hasil keduanya memiliki tingkat akurasi yang baik dengan selisih yang tidak terlalu besar (17 W/m²). Namun untuk skala bangunan rumah tinggal, selisih 17 W/m² tidak dapat dikatakan sebagai nilai yang kecil.

2.10 Landasan Teoritik

Iklim tropis lembab Indonesia memiliki temperatur udara rata-rata tinggi yang disebabkan oleh sudut jatuh radiasi matahari hampir tegak lurus pada siang hari di sepanjang tahun. Paparan radiasi yang konstan ini memberi dampak besar bagi lingkungan binaan, terutama bangunan gedung. Energi termal yang mengenai selubung luar bangunan akan diteruskan masuk ke ruang dalam. Hal ini akan mempengaruhi kenyamanan ruang dalam bangunan.

Perpindahan panas pada bangunan sendiri dapat terjadi melalui beberapa cara sebagai berikut:

- a. Konduksi: bidang luar selubung bangunan dengan suhu lebih tinggi akan ditransmisikan ke lapisan bagian dalam.
- b. Konveksi: perpindahan panas melalui pertukaran udara pada bangunan.
- c. Radiasi: perpindahan panas melalui pancaran tanpa perantara yang masuk ke bidang fenestrasi.

Perpindahan panas melalui selubung bangunan dapat diketahui dalam perhitungan *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) yang dipengaruhi oleh tiga aspek utama:

- a. Konduksi dinding buram: hasil perkalian antara absorbtansi termal (α), transmitansi termal dinding (U_w), 1-WWR, dan beda temperatur ekuivalen (T_{Dek}).
- b. Konduksi bidang transparan: hasil perkalian antara transmitansi termal material fenestrasi (U_f), WWR, dan ΔT .
- c. Radiasi bidang transparan: hasil perkalian antara WWR, koefisien peneduh kaca (SC_k), koefisien peneduh efektif fenestrasi (SC_{eff}), dan faktor radiasi matahari (SF).

Hasil perhitungan OTTV akan menggambarkan seberapa besar perolehan panas yang diderita oleh bangunan. Nilai ini memiliki implikasi pada besarnya beban pendinginan yang diperlukan bangunan untuk dapat menyediakan kenyamanan termal bagi penghuni. Beban pendinginan bangunan yang besar akan bermuara pada konsumsi energi bangunan yang besar pula. Hal ini terjadi karena alokasi untuk sistem pengondisian udara buatan dapat mencapai 50% – 75% total energi bangunan. Dengan kata lain, desain selubung bangunan yang baik akan dapat membantu dalam upaya konservasi energi bangunan.

Konservasi energi bangunan merupakan upaya sistematis, terencana, dan terpadu dalam efisiensi pemakaian energi untuk suatu kebutuhan agar

pemborosan energi dapat dihindari. Selain aspek desain selubung bangunan, upaya terpadu lain terkait konservasi energi adalah pemilihan penggunaan perangkat bangunan. Sistem pencahayaan buatan, sistem transportasi gedung, dan sistem pengondisian udara harus menerapkan perangkat berkinerja tinggi hemat energi. Terutama perangkat HVAC, harus menggunakan unit sesuai yang distandarkan, karena pengaruhnya sangat signifikan bagi konsumsi energi bangunan secara keseluruhan.

SNI 6389:2020 mensyaratkan OTTV bangunan tidak boleh lebih dari 35 W/m^2 . Sedangkan bagi bangunan gedung yang dikondisikan dan berada di Kota Semarang, Peraturan Walikota Semarang Nomor 24 Tahun 2019 mensyaratkan OTTV maksimal 40 W/m^2 . Dalam konteks konsumsi energi bangunan secara menyeluruh, *Green Building Council Indonesia* (2016) menentukan acuan Indeks Konsumsi Energi (IKE) gedung perkantoran terbangun maksimum yang diizinkan adalah $250 \text{ kWh/m}^2/\text{th}$. Selain itu, Kementerian ESDM melalui Penghargaan Subroto Bidang Efisiensi Energi (PSBE) 2021 mensyaratkan gedung retrofit terbangun harus menurunkan konsumsi energi minimal 20%. Standar-standar ini digunakan sebagai acuan bagi bangunan gedung supaya dapat mewujudkan optimalisasi konservasi energi bangunan.