

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Efisiensi Energi

Efisiensi energi adalah pemanfaatan teknologi yang memungkinkan penggunaan energi lebih sedikit untuk menjalankan fungsi atau memberikan hasil yang sama (Lestari, 2022). Secara sederhana, efisiensi energi berarti menggunakan lebih sedikit energi dalam suatu bangunan untuk melakukan aktivitas yang sama dibandingkan dengan bangunan yang boros energi (Lestari, 2022). Menurut GBCI, konsumsi energi sebagai fokus utama dalam perancangan bangunan dimasa modern dengan seiringnya peningkatan kesadaran akan pentingnya energi (Serna-Suárez et al., 2021). Dasar efisiensi energi pada bangunan yaitu dengan optimalisasi penggunaan energi sebagai upaya pengurangan limbah sehingga memiliki dampak baik bagi kondisi lingkungan (Serna-Suárez et al., 2021). Selain itu, efisiensi energi memberikan keuntungan finansial, dan peningkatan kenyamanan serta produktifitas penghuni bangunan (Serna-Suárez et al., 2021). Dengan penggunaan material yang hemat energi dan memiliki teknologi hemat energi dapat mengurangi biaya operasional dan pemeliharaan (Dolok et al., 2025).

Efisiensi energi pada bangunan dipengaruhi oleh elemen seperti selubung bangunan, sistem pendingin udara, pencahayaan buatan, serta sistem kelistrikan (Muhammad Faiz Rasjid et al., 2022a). Menurut (Dolok et al., 2025) berikut ini cara sistem energi dapat dikelola secara keberlanjutan, termasuk:

2.1.1 Sumber Energi Terbaru

Pemanfaatan energi terbarukan untuk memasok daya pada bangunan—seperti energi matahari melalui panel surya, angin melalui turbin, dan panas bumi melalui sistem geotermal—dapat membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta menekan emisi berbahaya. Dengan demikian, bangunan menjadi lebih ramah lingkungan sekaligus lebih hemat biaya dalam jangka panjang.

2.1.2 Efisiensi Energi Sistem HVAC

Bangunan mengonsumsi banyak energi, terutama untuk *heating, ventilation, and air conditioning* (HVAC). Namun, bangunan pintar dapat mengatasi masalah ini dengan menerapkan sistem HVAC hemat energi yang

memaksimalkan efisiensi dan mengurangi pemborosan daya. Salah satu contohnya adalah termostat pintar, yang mampu menyesuaikan suhu berdasarkan jumlah orang di dalam ruangan atau kondisi cuaca di luar. Dengan cara ini, kenyamanan tetap terjaga tanpa boros energi. Sistem HVAC dan pencahayaan buatan menyumbang sebagian besar kebutuhan energi bangunan, sehingga dengan mengurangi permintaan energi ini, konsumsi energi secara keseluruhan dapat ditekan secara signifikan.

2.1.3 Efisiensi Sistem Pencahayaan

Menurut (Hesti et al., 2015) penghematan energi tidak berarti membatasi semua aktivitas yang memerlukan energi hingga berdampak pada penurunan kualitas hidup, seperti kenyamanan dan produktivitas kerja. Namun, efisiensi energi dilakukan dengan mengoptimalkan penggunaan energi agar sesuai dengan kebutuhan. Dengan perancangan yang tepat, bangunan dapat menyesuaikan kondisi iklim luar yang kurang nyaman menjadi lingkungan dalam ruangan yang lebih nyaman tanpa mengonsumsi banyak energi listrik. Hal ini dapat dicapai dengan mengorientasikan bangunan ke arah utara atau selatan untuk mengurangi paparan sinar matahari, meminimalkan sekat dalam ruangan, memperbesar volume ruangan, menerapkan ventilasi silang, memasang skylight, menggunakan dinding dari batu bata, serta memperhatikan keseimbangan antara ruang terbangun dan ruang terbuka hijau. *Sustainable design* juga dapat menjadi solusi untuk mengurangi biaya operasional bangunan sekaligus menjaga kelestarian lingkungan. Dalam sebuah bangunan, konsumsi energi listrik terbesar dialokasikan untuk pencahayaan serta sistem ventilasi buatan, yang mencakup sekitar 60-70% dari total kebutuhan energi (Hesti et al., 2015).

2.2 Green Building

Green Building adalah konsep yang mengedepankan pendekatan ramah lingkungan dalam industri konstruksi dengan memanfaatkan energi alam secara optimal agar konsumsi energi lebih efisien dan tidak boros sumber daya (Mahendra Putra & Agung Wibowo, 2020). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 02/PRT/M/2015, *green building* merupakan sebuah bangunan yang menerapkan konsep bangunan dengan syarat dan

kinerja terukur dari aspek hemat energi, air, material, serta sumber daya lain melalui penerapan prinsip bangunan hijau. Konsep Green Building bertujuan untuk merancang bangunan yang berfokus ramah lingkungan. Dalam penerapannya, konsep ini perlu diterapkan sejak tahap perencanaan, proses konstruksi, operasional, pembongkaran, hingga pemeliharannya agar tetap selaras dengan prinsip ramah lingkungan (Muda Purwaamijaya et al., 2024). Setiap proses perancangan *green building*, mulai dari apa yang akan dibangun, lokasi pembangunan, hingga pertimbangan apakah proyek tersebut layak direalisasikan, berpengaruh terhadap lingkungan (Muda Purwaamijaya et al., 2024). Faktor-faktor seperti tata letak, keterkaitan dengan lokasi, dampak angin dan iklim, potensi pemanfaatan energi surya, orientasi bangunan, perlindungan dari sinar matahari, ventilasi, serta pemilihan material dan sistem struktur, semuanya harus dianalisis berdasarkan efeknya terhadap lingkungan dan kenyamanan penghuni (Salsabila, 2020).

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 02 Tahun 2015 tentang Bangunan Gedung Hijau, syarat untuk tahap perencanaan teknis bangunan gedung hijau terdiri dari: (1) analisis pengelolaan tapak, (2) efisiensi penggunaan energi, (3) efisiensi penggunaan air, (4) kualitas udara dalam ruang, (5) penggunaan material ramah lingkungan, (6) pengelolaan sampah, dan (7) pengelolaan air limbah (Muhammad Faiz Rasjid et al., 2022b).

2.3 Fasad

Fasad merupakan bagian terluar atau tampak depan dari sebuah bangunan yang berfungsi untuk aspek estetika. Menurut (Oktavia Tantri, 2024) arsitektur fasad merupakan salah satu bagian dari bangunan yang terdiri dari material, konstruksi, dinding masif, dinding transparan, serta struktur. Komposisi pada fasad sebuah bangunan berhubungan dengan penciptaan keseimbangan yang harmonis melalui proporsi yang tepat, elemen vertikal dan horizontal, pemilihan material, warna, serta unsur estetika. Fasad juga berperan dalam mencerminkan budaya dan identitas suatu gaya arsitektur, sekaligus menampilkan karakter visual serta keunikan gaya desainnya. Keberadaan elemen dekoratif dan ornamen pada fasad menjadikannya sebagai simbol representasi penghuni. Beberapa elemen utama

yang harus diperhatikan dalam fasad bangunan meliputi pintu masuk, zona lantai dasar, jendela, pintu, dinding, pagar pembatas, atap, signage, serta ornamen fasad (Muna et al., 2021). Fasad yang dirancang dengan memperhatikan kondisi iklim setempat dapat membantu mengurangi konsumsi energi, terutama untuk pencahayaan dan sistem pendingin ruangan (Muna et al., 2021). Pengendalian suhu melalui desain fasad bisa dilakukan dengan berbagai cara, seperti menggunakan elemen pelindung dan penyaring cahaya, ruang matahari yang masuk ke dalam bangunan, ruang transisi, lapisan ganda pada fasad, serta kaca ganda (Muna et al., 2021). Selain itu, efisiensi termal juga dapat ditingkatkan dengan penerapan insulasi pada dinding, *thermal mass*, dan isolasi atap yang baik (Marzuki & Purwanto, 2024b).

Menurut (Nasution et al., 2024) ada beberapa strategi desain yang dapat diterapkan untuk menekan konsumsi energi pada selubung bangunan, antara lain:

1. Penggunaan bahan isolasi

Selain berperan dalam menjaga kenyamanan termal, bahan isolasi yang diterapkan pada selubung bangunan juga dapat membantu mengurangi penggunaan energi. Dengan pemilihan isolasi yang tepat, perpindahan panas dari dan ke dalam bangunan dapat diminimalkan, sehingga kebutuhan akan pemanas dan pendingin ruangan bisa berkurang.

2. Memilih material yang berkualitas

Material yang digunakan untuk selubung bangunan sebaiknya memiliki kualitas baik dan mampu menghambat transfer panas. Misalnya, penggunaan kaca dengan lapisan *low-e*, kaca berenergi rendah, atau dinding eksterior dengan nilai U rendah dapat mengurangi konsumsi energi pada bangunan.

3. Desain fasad yang optimal

Rancangan fasad yang tepat dapat membantu menekan kebutuhan pemanas dan pendingin ruangan. Penggunaan elemen seperti *shading device*, kisi-kisi, atau *vertical fin* dapat mengurangi paparan langsung sinar matahari, menjaga suhu dalam ruangan tetap stabil, serta mengurangi beban pendinginan.

4. Pemanfaatan teknologi modern

Teknologi canggih seperti *smart facade* bisa menjadi solusi dalam penghematan energi pada selubung bangunan. Fasad ini mampu secara otomatis mengatur sirkulasi udara, pencahayaan, serta suhu dalam bangunan, sehingga konsumsi energi dapat ditekan secara efektif.

Dengan menerapkan strategi desain yang tepat, efisiensi energi pada selubung bangunan dapat meningkat, memungkinkan pemanfaatan sumber daya yang lebih hemat dan ramah lingkungan.

2.4 EDGE

EDGE (*Excellence in Design for Greater Efficiencies*) adalah sistem sertifikasi bangunan ramah lingkungan yang dibuat oleh IFC untuk negara berkembang. Program ini menjadi alat ukur bagi para profesional di bidang jasa optimasi desain konstruksi, sehingga dapat menghasilkan proyek yang bernilai investasi (Mahendra Putra & Agung Wibowo, 2020). EDGE memiliki tiga simulasi utama yang dianggap efektif dalam mewujudkan bangunan ramah lingkungan, yaitu penghematan energi, penghematan air, dan penghematan material (Mahendra Putra & Agung Wibowo, 2020). Dengan berbagai parameter bangunan, aplikasi EDGE menganalisis penggunaan spesifik untuk mengidentifikasi peluang desain yang lebih hemat energi dan biaya (Muhammad Faiz Rasjid et al., 2022a). EDGE memiliki tiga simulasi utama yang efektif dalam menciptakan bangunan ramah lingkungan, yaitu penghematan energi, penghematan air, dan pengurangan energi yang terkandung dalam material bangunan (Prianto, 2020). Standar yang ditetapkan oleh EDGE mengharuskan bangunan untuk mampu mengurangi penggunaan energi dan air masing-masing minimal 20%, serta mengurangi energi yang terkandung dalam material bangunan sebanyak 20% dibandingkan dengan bangunan konvensional (Prianto, 2020). Dengan demikian, bangunan yang lolos sertifikasi EDGE menunjukkan performa efisiensi yang signifikan pada ketiga aspek tersebut (Prianto, 2020). Menurut (Ramadaniati Putri, et al (2024)) sertifikasi EDGE (*Excellence in Design for Greater Efficiencies*) dibutuhkan sebagai bentuk penilaian sebuah bangunan yang berkonsep ramah lingkungan, berikut parameter EDGE (*Excellence in Design for Greater Efficiencies*) untuk suatu bangunan:

1. EDGE Certification : Penghematan energi, air, material dengan nilai minimal 20%
2. EDGE Advanced : Penghematan energi mencapai minimal 40% dan penghematan air serta material dengan minimal 20%
3. Zero Carbon : Penggunaan 100% energi terbarukan (*Renewable Energy System*) atau melakukan pembelian kerugian karbon sebesar 100%

Untuk melakukan pengujian pada sebuah bangunan menggunakan aplikasi Edge, diperlukan input berbagai data terkait objek bangunan tersebut. Data yang dimasukkan beragam, seperti rasio jendela terhadap dinding (*Windows to Wall Ratio/WWR*), faktor rata-rata peneduhan tahunan (*Annual Average Shading Factor/AASF*), dan lainnya. Selain itu, aplikasi Edge juga dapat menganalisis biaya operasional bangunan (Muhammad Faiz Rasjid et al., 2022a).

2.4.1 Orientasi Bangunan

Orientasi bangunan memainkan peran penting dalam menentukan seberapa besar energi yang bisa dihemat (Mandey, 2024). Dalam penggunaan perangkat lunak seperti EDGE, data orientasi bangunan dimasukkan sejak awal karena hal ini langsung memengaruhi perhitungan efisiensi energi (Mandey, 2024). Biasanya, bangunan yang menghadap ke utara atau selatan dianggap lebih efisien karena arah tersebut menerima sinar matahari yang tidak terlalu menyengat sepanjang hari (Mandey, 2024). Sebaliknya, bangunan yang menghadap ke timur akan terkena sinar matahari pagi yang cukup intens, sedangkan sisi barat akan menerima panas dari matahari sore yang cenderung lebih kuat (Mandey, 2024). Akibatnya, orientasi ke timur atau barat seringkali membuat bangunan membutuhkan pendinginan lebih banyak, sehingga konsumsi energi pun meningkat (Mandey, 2024).

2.4.2 Window to Wall Ratio (WWR)

Window to Wall Ratio (WWR) adalah perbandingan antara luas jendela atau bukaan dengan total luas dinding tempat bukaan tersebut berada (Firmandhani, 2020). Semakin besar ukuran bukaan cahaya pada bangunan, semakin banyak sinar matahari yang masuk, sehingga panas dan tingkat pencahayaan di dalam ruangan menjadi lebih tinggi (WWR besar) (Prianto, 2020). Semakin besar nilai WWR,

maka semakin besar pula potensi masuknya panas dan cahaya alami ke dalam bangunan (Mandey, 2024). Kondisi ini bisa membantu mengurangi penggunaan lampu di siang hari karena pencahayaan alami lebih maksimal (Mandey, 2024). Namun, di sisi lain, peningkatan panas dari sinar matahari yang masuk juga bisa membuat suhu dalam ruangan naik (Mandey, 2024). Hal ini membuat penghematan energi di bangunan menjadi lebih kecil. Untuk bangunan yang memerlukan banyak kaca, penggunaan kaca dengan kemampuan menahan panas rendah, seperti kaca low-heat atau kaca dengan nilai U yang rendah, bisa membantu mengurangi panas yang masuk karena kaca jenis ini memiliki tingkat perpindahan panas yang lebih rendah ke dalam ruangan (Prianto, 2020). Jika bangunan menggunakan AC, maka kerja pendingin udara akan menjadi lebih berat, sehingga konsumsi energi pun ikut meningkat dan manfaat penghematan energi jadi berkurang (Mandey, 2024). Berikut rumus perhitungan nilai WWR:

$$WWR = \frac{\text{Luas Bukaannya (m}^2\text{)}}{\text{Luas Dinding termasuk Luas Bukaannya (m}^2\text{)}} \times 100\%$$

2.4.3 Annual Average Shading Factor (AASF)

Annual Average Shading Factor (AASF) atau peneduh luar adalah cara untuk mengurangi panas matahari yang langsung mengenai permukaan bangunan sebelum masuk ke dalamnya (Prianto, 2020). Ada empat jenis pembayang pada bangunan, yaitu *overhang horizontal*, *overhang vertical*, *overhang* gabungan, dan *overhang* yang bisa dipindahkan. Tritisan (Prianto, 2020), yang juga dikenal sebagai pembayang, berfungsi melindungi bukaan seperti jendela dan pintu kaca dari paparan langsung sinar matahari (Prianto, 2020). Dengan begitu, tritisan membantu mengurangi silau dan menekan masuknya panas dari matahari ke dalam bangunan (Prianto, 2020). Dengan merancang bangunan yang memperhatikan faktor AASF, pemilik bangunan bisa mengurangi penggunaan energi secara signifikan (Mandey, 2024). Hal ini penting karena paparan sinar matahari yang berlebihan bisa membuat suhu di dalam bangunan naik, sehingga sistem HVAC harus bekerja lebih berat untuk mendinginkan ruangan, yang akhirnya meningkatkan penggunaan energi (Mandey, 2024). Selain menurunkan biaya operasional, langkah ini juga membantu mengurangi jejak karbon dan dampak

buruk terhadap lingkungan (Mandey, 2024). Oleh karena itu, mempertimbangkan AASF sangat penting untuk menciptakan bangunan yang efisien dan berkelanjutan (Mandey, 2024).

$$AASF = 1 - \frac{\text{Total Annual Solar Heat Gain from a Window with Shading (kWh)}}{\text{Total Annual Solar Heat Gain from a Window (kWh)}}$$

2.4.4 Fotovoltaik Surya

Energi surya fotovoltaik merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang memanfaatkan sinar matahari untuk diubah menjadi listrik melalui sel surya. Matahari sendiri memiliki potensi energi yang sangat besar dan tersedia hampir di seluruh penjuru dunia. Seiring waktu, teknologi fotovoltaik terus berkembang pesat, yang berdampak pada efisiensi yang semakin baik serta biaya produksi yang semakin rendah. Pemanfaatan energi ini dapat membantu mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi berbasis fosil, menurunkan emisi gas rumah kaca, serta mendukung terciptanya sistem energi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan (Effendi, 2023). Energi surya fotovoltaik bekerja dengan memanfaatkan sel surya yang dibuat dari bahan semikonduktor, seperti silikon. Saat cahaya matahari mengenai permukaan sel tersebut, terjadi proses yang disebut efek fotolistrik yang menghasilkan arus listrik. Sel surya ini bisa dipasang di berbagai tempat, mulai dari atap bangunan, area terbuka, hingga dalam bentuk instalasi berskala besar di daerah terpencil (Effendi, 2023).

Menurut (Rifaldi et al., 2023) efisiensi kerja panel surya diukur dengan membandingkan antara daya listrik yang dihasilkan dengan daya sinar matahari yang diterima, dan biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase. Di bawah ini merupakan perhitungan efisiensi panel surya berdasarkan data sesuai pabrikan.

$$P_{in} = J \times A$$

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{min} \times I_{min}}$$

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

Keterangan:

η : Efisiensi (%)

P_{out} : Daya Output (Watt)

P_{in} : Daya Input (Watt)

2.5 Pencahayaan

Pencahayaan memiliki peran penting dalam sebuah bangunan karena berpengaruh terhadap produktivitas penghuni bangunan. Pencahayaan yang tidak memadai dapat menghambat aktivitas dan berpotensi menyebabkan masalah kesehatan, terutama pada mata. Oleh karena itu, desain bangunan perlu disesuaikan dengan fungsi dan kebutuhan penghuninya agar menciptakan rasa nyaman. Pencahayaan yang optimal akan meningkatkan kenyamanan visual, yang dapat dicapai melalui kombinasi pencahayaan alami dan buatan (Hesti et al., 2015). Menurut (Anas Bin Othman et al., 2017) alat peneduh sinar matahari atau *sun shading* merupakan elemen penting dalam strategi pencahayaan siang hari, berfungsi untuk mengurangi silau sekaligus menekan masuknya sinar matahari langsung agar panas berlebih bisa dihindari. Hal ini sangat berguna terutama untuk bangunan dengan fasad kaca, yang rentan terhadap masalah *glare* (Anas Bin Othman et al., 2017). Pengaturan cahaya melalui penggunaan perangkat *shading* sangat krusial untuk mengontrol intensitas dan kualitas cahaya yang masuk ke dalam ruangan, sehingga mencegah terjadinya silau dan gangguan visual bagi penghuni (Anas Bin Othman et al., 2017). Dengan menerapkan strategi ini, bangunan dapat memperoleh keseimbangan antara pencahayaan alami yang memadai. (Anas Bin Othman et al., 2017). Menurut (Aqsha Pashalenko & Aziz Rosyidi, 2023) agar ruangan memiliki pencahayaan yang optimal, diperlukan sistem pencahayaan yang disesuaikan dengan kebutuhannya, seperti standar intensitas cahaya untuk berbagai fungsi berikut ini:

Hotel dan Restoran			
Lobby, koridor	100	1	Pencahayaan pada bidang vertikal sangat penting untuk menciptakan suasana/kesan ruang yang baik.
Ballroom/ruang sidang.	200	1	Sistem pencahayaan harus dirancang untuk menciptakan suasana yang sesuai. Sistem pengendalian "switching" dan "dimming" dapat digunakan untuk memperoleh berbagai efek pencahayaan.
Ruang makan.	250	1	
Cafeteria.	250	1	
Kamar tidur.	150	1 atau 2	Diperlukan lampu tambahan pada bagian kepala tempat tidur dan cermin.
Dapur.	300	1	

Gambar II.1 SNI 03-6575-2001

2.5.1 Sistem Pencahayaan Alami pada Bangunan

Cahaya alami diperoleh dari sinar matahari yang masuk atau dipantulkan ke dalam bangunan, berikut tiga kategori cahaya matahari (Thojib et al., 2013):

1. Cahaya matahari langsung
2. Cahaya difus dari terang langit
3. Cahaya difus dari pantulan tanah atau bangunan yang lainnya.

Di daerah beriklim tropis, paparan langsung sinar matahari perlu dihindari karena dapat meningkatkan suhu di dalam bangunan. Hal ini dapat diatasi dengan merancang bentuk bangunan yang sesuai serta menggunakan elemen bayangan atau *shading*, baik yang bersifat tetap maupun dapat disesuaikan. Menurut (Hesti et al., 2015) pada dasarnya, pencahayaan alami dapat masuk ke dalam ruangan melalui bukaan di sisi bangunan (*side lighting*), bukaan di bagian atas (*top lighting*), atau kombinasi dari keduanya. Pemilihan strategi pencahayaan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jenis bangunan, ketinggian, rasio antara bangunan dan tata massanya, serta keberadaan bangunan lain di sekitarnya.

a. Pencahayaan samping (*side lighting*)

Menurut (Thojib et al., 2013) pencahayaan samping (*side lighting*) adalah metode pencahayaan alami yang paling umum diterapkan dalam bangunan. Selain berfungsi sebagai masuknya cahaya, sistem ini juga memungkinkan pandangan yang lebih luas, meningkatkan orientasi, menghubungkan ruang dalam dengan luar, serta mendukung sirkulasi udara. Menurut (Thojib et al., 2013) strategi

pencahayaannya ini memiliki strategi, berikut beberapa strategi pencahayaan samping (*side lighting*):

1. *Single side lighting* adalah pencahayaan alami yang berasal dari bukaan di satu sisi bangunan, di mana intensitas cahaya yang cukup kuat di area dekat bukaan, tetapi akan berkurang seiring dengan bertambahnya jarak dari sumber cahaya.
2. *Bilateral lighting* menggunakan bukaan di dua sisi bangunan, memungkinkan distribusi cahaya yang lebih merata. Efektivitasnya dipengaruhi oleh faktor seperti lebar dan tinggi ruang serta lokasi bukaan.
3. *Multilateral lighting* melibatkan bukaan di lebih dari dua sisi bangunan, membantu mengurangi silau dan kontras, sekaligus meningkatkan distribusi cahaya baik pada bidang horizontal maupun vertikal. Sistem ini juga menciptakan lebih dari satu zona utama pencahayaan alami.
4. *Clerestories* adalah jendela tinggi yang dipasang pada ketinggian lebih dari 210 cm dari lantai. Teknik ini efektif untuk menerangi permukaan horizontal atau vertikal serta memungkinkan cahaya menembus lebih dalam ke dalam ruangan.
5. *Light shelves* berfungsi sebagai peneduh bagi bagian jendela tengah dengan membagi kaca menjadi dua: satu untuk pencahayaan dan satu untuk pandangan. Elemen ini dapat dipasang di bagian dalam, luar, atau kombinasi keduanya.
6. *Borrowed light* adalah konsep berbagi pencahayaan alami antara dua ruang yang berdekatan. Contohnya adalah pencahayaan koridor yang diperoleh melalui partisi transparan dari ruangan di sebelahnya.

b. *Top Lighting* (Bukaan Atas)

Menurut (Suharyani et al., 2020) *top lighting* (bukaan atas) adalah metode yang efektif untuk mengoptimalkan masuknya cahaya alami ke dalam ruangan. Sistem ini memperoleh cahaya yang lebih merata serta dapat mengurangi kebutuhan penggunaan kaca dalam desain bangunan.

2.5.2 Faktor Pencahayaan Alami pada Bangunan

Faktor pencahayaan alami siang hari merujuk pada perbandingan tingkat cahaya yang diterima di suatu titik dalam ruangan dengan tingkat pencahayaan di ruang terbuka tanpa penghalang. Faktor ini digunakan untuk menilai efektivitas bukaan cahaya dalam suatu bangunan. Terdapat tiga aspek dalam faktor pencahayaan alami siang hari, diantaranya yaitu:

1. *Sky Component (SC)* – Cahaya yang langsung berasal dari langit tanpa pantulan.
2. *Externally Reflected Component (ERC)* – Cahaya yang dipantulkan oleh elemen di luar bangunan, seperti permukaan tanah atau bangunan di sekitarnya.
3. *Internally Reflected Component (IRC)* – Cahaya yang dipantulkan oleh elemen dalam ruangan, seperti dinding, lantai, atau langit-langit.

Ketiga komponen ini bekerja secara bersamaan dalam menentukan seberapa baik suatu ruangan menerima dan mendistribusikan cahaya alami.

2.5.3 Efisiensi Energi oleh Pencahayaan Alami

Untuk mencapai efisiensi energi melalui pencahayaan alami, diperlukan strategi desain yang tepat guna mengoptimalkan pemanfaatan cahaya alami dalam suatu bangunan. Menurut (Hesti et al., 2015) berikut beberapa strategi desain untuk optimalisasi energi pada bangunan:

1. Orientasi bangunan terhadap arah matahari

Bangunan yang dirancang dengan orientasi menghadap utara-selatan cenderung menerima sinar matahari secara lebih stabil. Hal ini membantu mengurangi paparan panas berlebih pada ruangan, sehingga menciptakan lingkungan yang lebih nyaman.

2. Tipe Bukaan

Pada dasarnya, semakin luas ukuran bukaan atau jendela, semakin banyak cahaya alami yang dapat masuk ke dalam ruangan. Selain itu, jenis serta variasi desain bukaan juga berperan dalam mengatur jumlah cahaya yang diterima oleh bangunan.

3. *Shading*

Perlindungan terhadap sinar matahari pada bangunan bertujuan untuk mengurangi intensitas radiasi yang masuk ke dalam ruangan. Bukan pada bangunan untuk mengurangi atau mencegah silau (*glare*) serta paparan sinar matahari langsung yang dapat menyebabkan panas berlebih. Beberapa elemen yang dapat digunakan sebagai pelindung di antaranya adalah vegetasi, sisi vertikal, sisi horizontal, serta kaca khusus untuk menghalau sinar matahari. Sisi horizontal lebih efektif diterapkan pada area dengan posisi matahari tinggi, seperti fasad utara, selatan, barat daya, tenggara, barat laut, dan timur laut. Sementara itu, sisi vertikal lebih cocok untuk mengatasi sinar matahari rendah, seperti pada fasad barat, barat daya, barat laut, timur, dan tenggara.

4. Memantulkan Sinar Matahari

Menyebarkan cahaya matahari yang masuk ke dalam bangunan agar ruangan tetap nyaman dan tidak mengalami silau akibat paparan sinar matahari secara langsung.

5. Penggunaan Solar Panel pada Bangunan

Panel surya atau sel surya adalah teknologi berbasis bahan semikonduktor yang dirancang untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Panel surya biasanya dipasang pada atap, dinding, atau digunakan sebagai elemen peneduh dalam sebuah bangunan.

2.5.4 Cara Meningkatkan Efisiensi Energi pada Bangunan

Cara yang dapat dilakukan dalam mewujudkan efisiensi energi pada suatu bangunan ada beberapa cara, salah satunya adalah melalui pengaplikasian *shading device*. Merupakan suatu strategi desain pasif yang signifikan untuk meningkatkan kenyamanan visual serta efisiensi energi itu sendiri. Alat ini dinilai mampu dalam mengurangi intensitas cahaya matahari langsung, yang silau serta panas berlebih, sehingga dapat menurunkan beban pendinginan dan meningkatkan konsumsi energi. (Ghiffari et al., 2025)

2.6 Simulasi Software Velux Daylight Visualizer 3.0

Kenyamanan visual merupakan kondisi di mana seseorang merasa puas secara mental terhadap kondisi visual di sekitarnya. Salah satu faktor yang dapat memenuhi kenyamanan ini adalah tingkat pencahayaan atau iluminasi (E) (Hajji et al., 2024). Berdasarkan sumber-sumber yang ada, kenyamanan visual dapat dicapai melalui dua jenis pencahayaan, yaitu pencahayaan alami dan pencahayaan buatan (Hajji et al., 2024). Untuk mengetahui tingkat pencahayaan yang ada, dilakukan analisis menggunakan perangkat lunak Velux Daylight Visualizer (VDV) (Hajji et al., 2024). Software Velux Daylight Visualizer 3.0 adalah perangkat lunak simulasi yang digunakan untuk menganalisis kondisi pencahayaan alami dalam suatu bangunan (Hajji et al., 2024). Perangkat ini dirancang untuk membantu arsitek dan perancang dalam mengevaluasi dan mendokumentasikan tingkat pencahayaan alami serta tampilan visual pada suatu bangunan (Hajji et al., 2024). Dengan demikian, pengguna dapat membuat keputusan desain yang lebih tepat terkait strategi pencahayaan alami. Menurut (Hajji et al., 2024) software Velux Daylight Visualizer ini memungkinkan pengguna untuk:

- Mensimulasikan distribusi cahaya alami dalam ruang interior berdasarkan desain arsitektural.
- Menghitung parameter pencahayaan seperti *Daylight Factor (DF)* dan *Illuminance (E)*.
- Mengevaluasi kenyamanan visual dengan mempertimbangkan potensi silau dan distribusi cahaya yang merata.
- Membandingkan berbagai strategi desain untuk mengoptimalkan pencahayaan alami sesuai dengan standar yang berlaku, seperti SNI 03-2396-2001 di Indonesia