

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsumsi Energi

Efisiensi energi dalam konteks bangunan didefinisikan sebagai upaya untuk mengurangi konsumsi energi tanpa mengorbankan kualitas lingkungan dan kenyamanan bagi penghuninya. Pendekatan ini sangat penting, terutama di negara beriklim tropis seperti Indonesia, di mana energi yang dihabiskan untuk pendingin udara dapat mencapai lebih dari 50% dari total konsumsi energi gedung. Peningkatan efisiensi energi tidak hanya berdampak pada penghematan biaya operasional, tetapi juga berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim dengan mengurangi emisi karbon.

Studi yang dilakukan oleh Vishwajit Anand pada tahun 2023 dalam artikel berjudul “*Passive Buildings: A State of the Art Review*” membahas perkembangan konsep bangunan pasif dalam mencapai efisiensi energi yang optimal. Penelitian ini merupakan kajian literatur komprehensif yang menganalisis berbagai strategi desain pasif yang diterapkan pada bangunan di berbagai kondisi iklim. Anand menekankan bahwa optimalisasi orientasi bangunan terhadap lintasan matahari merupakan langkah awal yang krusial untuk mengurangi beban panas dan kebutuhan energi pendinginan. Selain itu, pemanfaatan ventilasi alami dan peningkatan kinerja selubung bangunan (*building envelope*) melalui pemilihan material dan perangkat peneduh yang tepat terbukti efektif dalam menekan konsumsi energi operasional. Secara keseluruhan, studi tersebut menyimpulkan bahwa pendekatan desain pasif merupakan strategi yang paling berkelanjutan dan hemat energi karena mampu mengurangi ketergantungan terhadap sistem mekanis seperti pendingin udara.

2.2 Thermal Transfer

Pada bangunan modern yang menerapkan sistem fasad berventilasi (*ventilated facades*), perhatian khusus harus diberikan pada detail konstruksi yang berpotensi menjadi jembatan termal (*thermal bridges*). Ujma dan Pomada (2019) menyoroti bahwa penggunaan konektor mekanis seperti konsol dan angkur yang menembus lapisan isolasi termal sering kali diabaikan dalam perhitungan neraca panas, padahal dampaknya sangat signifikan. Elemen-

elemen ini menciptakan "jembatan termal titik" (*point thermal bridges*) yang dapat menyumbang kehilangan panas dalam jumlah besar.

Penelitian Ujma dan Pomada (2019) memperkirakan bahwa jembatan termal titik dari pengikat mekanis dapat berkontribusi hingga 25-35% dari total kehilangan panas melalui partisi bangunan. Pemilihan material konektor menjadi krusial; penggunaan baja tahan karat (*stainless steel*) dengan konduktivitas termal 15–17 W/m·K jauh lebih disarankan dibandingkan baja biasa atau aluminium yang memiliki konduktivitas termal tinggi, yang dapat memperburuk kehilangan panas. Sebagai strategi mitigasi, penerapan bantalan termal (*thermal pads*) berbahan PVC di bawah konsol disarankan untuk membatasi aliran panas dan mengurangi risiko kondensasi.

2.3 Overall Thermal Transfer Value (OTTV)

Overall Thermal Transfer Value (OTTV) merupakan parameter fundamental dalam desain arsitektur berkelanjutan yang berfungsi untuk mengukur kinerja termal selubung bangunan. Kusumawati et al. (2021) mendefinisikan OTTV sebagai aspek esensial dalam menciptakan bangunan hemat energi, di mana nilai ini merepresentasikan rata-rata perpindahan panas eksternal yang masuk ke dalam bangunan per satuan luas selubung. Secara spesifik, perhitungan OTTV mengintegrasikan tiga komponen utama perolehan panas, yaitu: (1) konduksi panas melalui dinding masif (*opaque wall*), (2) konduksi panas melalui bukaan kaca, dan (3) radiasi matahari yang ditransmisikan melalui kaca jendela. Ketiga komponen ini sangat menentukan beban pendinginan yang harus ditanggung oleh sistem pengondisian udara buatan.

Pentingnya pengendalian nilai OTTV ditekankan dalam studi yang dilakukan oleh Muhfizurrahmah et al. (2021), yang menemukan adanya korelasi linear antara nilai OTTV dengan konsumsi energi bangunan. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai OTTV suatu bangunan, semakin besar pula konsumsi energi listrik yang dibutuhkan untuk operasional, terutama untuk kebutuhan pendinginan ruangan. Oleh karena itu, penerapan standar OTTV yang ketat seperti yang diatur dalam SNI 6389 menjadi strategi mitigasi yang efektif untuk menurunkan intensitas penggunaan energi (IKE) dan mencapai target efisiensi energi pada bangunan gedung di wilayah beriklim tropis.

Perhitungan *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) merupakan metode kuantitatif untuk mengestimasi rata-rata perpindahan panas eksternal ke dalam bangunan melalui selubung luar. Menurut Kusumawati et al. (2021), formulasi OTTV dikembangkan untuk

membantu perancang mengontrol perolehan panas sejak tahap desain awal guna mencapai efisiensi energi. Secara matematis, nilai OTTV W/m² dihitung dengan menjumlahkan tiga komponen utama perolehan panas yang terjadi pada selubung bangunan.

2.4 Perhitungan OTTV

Tiga komponen utama yang membentuk perhitungan *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) adalah sebagai berikut :

1. Perpindahan Panas Konduksi melalui Dinding Masif (*Heat Conduction through Opaque Wall*)

Komponen ini menghitung panas yang merambat melalui material dinding yang tidak tembus cahaya. Besarannya dipengaruhi oleh luas dinding, koefisien perpindahan panas termal dinding (U-value), absorbtansi radiasi matahari pada permukaan dinding (α), serta perbedaan temperatur ekuivalen (T_{Dek}). Dalam formulasi OTTV menurut SNI 6389:2020, konduksi melalui dinding opak merupakan salah satu elemen utama yang menentukan besarnya beban panas eksternal. Pemilihan material dengan resistansi termal tinggi atau nilai U yang rendah akan secara signifikan menurunkan kontribusi panas dari komponen ini (Kusumawati et al., 2021).

2. Perpindahan Panas Konduksi melalui Bukaannya Kaca (*Heat Conduction through Window Glass*)

Komponen ini mewakili panas yang masuk akibat perbedaan suhu udara luar dan dalam melalui material kaca. Variabel penentunya adalah luas bukaan kaca, koefisien perpindahan panas kaca (U_f atau U_g), dan beda temperatur perencanaan (ΔT) sesuai ketentuan wilayah tropis dalam SNI 6389:2020. Nilai U kaca yang tinggi akan meningkatkan laju aliran panas konduksi ke dalam ruangan. Oleh karena itu, penggunaan kaca dengan performa termal lebih baik, seperti kaca berlapis atau Low-E, dapat mengurangi kontribusi panas konduksi ini (Octarino & Feriadi, 2021).

3. Perolehan Panas Radiasi Matahari melalui Kaca (*Solar Heat Gain through Window Glass*)

Komponen ini sering kali menjadi penyumbang terbesar dalam perhitungan OTTV, khususnya pada bangunan di wilayah beriklim tropis. Nilainya ditentukan oleh intensitas radiasi matahari (Solar Factor/SF), luas bukaan kaca, serta efektivitas sistem peneduh yang dinyatakan dalam Shading Coefficient (SC) atau SC efektif (SC_{eff}). Menurut Muhfizaturrahmah et al. (2021), peningkatan nilai OTTV sangat berkorelasi

dengan besarnya radiasi matahari yang ditransmisikan melalui kaca. Oleh karena itu, strategi desain seperti pengurangan WWR dan penambahan shading device menjadi solusi utama dalam menurunkan komponen radiasi ini (SNI 6389:2020; Safitri & Zakiah, 2020).

Muhfizaturrahmah et al. (2021) menekankan bahwa akurasi dalam memperhitungkan ketiga variabel ini sangat krusial, karena nilai OTTV yang dihasilkan memiliki korelasi langsung dengan profil konsumsi energi bangunan. Oleh karena itu, strategi penurunan nilai OTTV biasanya difokuskan pada manipulasi variabel-variabel tersebut, seperti meminimalkan *Window-to-Wall Ratio* (WWR) untuk mengurangi paparan radiasi, atau menggunakan perangkat peneduh (*shading device*) untuk memperbaiki nilai SC tanpa mengorbankan pencahayaan alami.

Rumus OTTV Berdasarkan SNI 2020

$$OTTV = \alpha[U_w \times (1 - WWR)] \times T_{Dek} + (U_f \times WWR \times \Delta T) + (SC \times WWR \times SF)$$

Keterangan:

- *OTTV*: Nilai perpindahan termal menyeluruh pada dinding luar yang memiliki arah atau orientasi tertentu (W/m^2).
- α (alfa): Absorbtansi radiasi matahari (tanpa dimensi). Nilai ini tergantung pada warna dan jenis material dinding.
- U_w : Transmittansi termal dinding tidak tembus cahaya (W/m^2K).
- WWR (*Window-to-Wall Ratio*): Perbandingan luas jendela dengan luas seluruh dinding luar pada orientasi yang ditentukan.
- T_{Dek} : Beda temperatur ekuivalen (K), nilai ini mengacu pada tabel yang disediakan dalam SNI.
- U_f : Transmittansi termal fenestrasi/jendela (W/m^2K).
- ΔT : Beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan bagian dalam (diambil 5 K untuk wilayah tropis).
- SC: Koefisien peneduh dari sistem fenestrasi (tanpa dimensi).
- SF: Faktor radiasi matahari (W/m^2), nilainya tergantung pada orientasi dan waktu.

2.5 Konsumsi Energi pada Bangunan Pendidikan

Bangunan pendidikan memegang peranan vital dalam konteks keberlanjutan global karena tergolong sebagai konsumen energi utama yang memberikan dampak signifikan terhadap anggaran operasional maupun lingkungan. Efisiensi energi di sektor pendidikan ini tidak hanya berkontribusi pada pengurangan emisi, tetapi juga memiliki peran strategis dalam mendukung pembangunan ekonomi dan sosial suatu wilayah. Juričić dan Krstić (2025) menjelaskan bahwa pola konsumsi energi di sekolah sangat bervariasi dan dipengaruhi oleh faktor-faktor kunci seperti lokasi geografis, kondisi iklim setempat, karakteristik fisik bangunan, serta tingkat okupansi pengguna.

Secara spesifik, komponen yang menjadi penyumbang terbesar terhadap total beban energi di bangunan sekolah adalah sistem pengondisian udara (pemanas/pendingin) dan sistem pencahayaan. Hal ini diperkuat oleh studi Hossin dan AlShehhi (2024) yang melakukan audit energi pada bangunan sekolah, di mana ditemukan bahwa analisis mendalam terhadap parameter energi seperti total konsumsi tahunan, konsumsi per orang, dan konsumsi per kategori alat (terutama AC) sangat diperlukan untuk memahami perilaku energi bangunan. Pemahaman terhadap profil konsumsi ini menjadi landasan penting dalam merumuskan strategi konservasi yang tepat sasaran guna menurunkan biaya operasional dan jejak karbon.

2.6 Studi Terdahulu

1. Studi Muhammad Syarif Hidayat (2022)

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Syarif Hidayat pada tahun 2022 mengkaji nilai Overall Thermal Transfer Value (OTTV) pada selubung bangunan gedung kampus Universitas Mercu Buana Jakarta Barat. Objek yang dianalisis adalah Gedung D dan Gedung E dengan fokus pada kinerja termal fasad, khususnya dinding luar dan bukaan kaca. Metode yang digunakan adalah perhitungan numerik OTTV berdasarkan standar konservasi energi bangunan yang berlaku, dengan mempertimbangkan variabel seperti Window to Wall Ratio (WWR), nilai transmitansi termal material, serta koefisien peneduh kaca. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai OTTV Gedung D sebesar 49,8 W/m² dan Gedung E sebesar 42,8 W/m². Kedua nilai tersebut melampaui batas maksimum SNI sebesar 35 W/m², sehingga bangunan dinilai belum memenuhi standar efisiensi energi dan memerlukan strategi perbaikan desain fasad untuk menurunkan beban panas.

2. Studi Stifa Hi'mah Safitri & Aisyah Zakiah (2020)

Penelitian yang dilakukan oleh Stifa Hi'mah Safitri dan Aisyah Zakiah berfokus pada simulasi berbagai desain peneduh (shading device) untuk menurunkan nilai OTTV pada bangunan hipotetikal di Jakarta. Studi ini menganalisis kinerja selubung bangunan, terutama pada bagian bukaan kaca yang berkontribusi besar terhadap radiasi matahari. Metode yang digunakan adalah simulasi perhitungan OTTV dengan memvariasikan tipe perangkat peneduh seperti vertical fin, horizontal louvers, dan eggcrate. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain vertical fin merupakan strategi paling efektif dalam menurunkan nilai OTTV, terutama pada fasad timur, barat, dan selatan yang menerima paparan radiasi tinggi. Secara keseluruhan, vertical fin menghasilkan nilai OTTV total terendah dibandingkan tipe peneduh lainnya, sehingga direkomendasikan sebagai solusi desain pasif yang optimal untuk iklim tropis.

3. Studi Christian Nindyaputra Octarino & Henry Feriadi (2021)

Penelitian yang dilakukan oleh Christian Nindyaputra Octarino dan Henry Feriadi pada tahun 2021 mengevaluasi kinerja termal selubung Gedung Agape Universitas Kristen Duta Wacana (UKDW) Yogyakarta. Fokus analisis diarahkan pada fasad bangunan yang terdiri dari dinding masif dan bukaan kaca dengan rasio jendela yang cukup besar. Metode penelitian menggunakan perhitungan OTTV sesuai standar SNI untuk mengidentifikasi tingkat ketidaksesuaian terhadap batas konservasi energi. Hasil perhitungan menunjukkan nilai OTTV sebesar $49,06 \text{ W/m}^2$, yang jauh melebihi batas maksimum SNI yaitu 35 W/m^2 . Untuk menurunkan nilai tersebut, penelitian ini mensimulasikan strategi desain berupa penggantian material kaca menjadi kaca Low-E dan penyesuaian rasio Window to Wall Ratio (WWR), yang berhasil menurunkan nilai OTTV hingga $34,89 \text{ W/m}^2$ sehingga memenuhi standar SNI.

Ketiga studi tersebut menunjukkan bahwa permasalahan nilai OTTV yang tinggi umumnya disebabkan oleh dominasi bukaan kaca dan kurangnya strategi pengendalian panas pada selubung bangunan. Temuan-temuan tersebut menegaskan urgensi penelitian ini serta memberikan landasan teoretis dalam merumuskan strategi redesain fasad. Evaluasi nilai OTTV pada Gedung FISIP UNSOED akan dilakukan dengan pendekatan serupa, yaitu analisis numerik berbasis SNI dan simulasi strategi desain pasif. Hasilnya akan dibandingkan dengan standar konservasi energi nasional untuk menentukan tingkat efisiensi bangunan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bersifat evaluatif, tetapi juga solutif dalam merancang intervensi desain yang efektif.