



Citation:

Nasution, A., Moerni, S. Y., & Rambe, Y. S. (2024). Efisiensi Energi Berkelanjutan: Strategi Desain dan Perhitungan Optimalisasi Efisiensi Energi pada Selubung Bangunan. *MARKA (Media Arsitektur Dan Kota) : Jurnal Ilmiah Penelitian*, 7(2), 167-182. <https://doi.org/10.33510/marka.2024.7.2.167-182>

Article Process

Submitted:
03/11/2023

Accepted:
30/12/2023

Published:
29/01/2024

Office:

Departement of Architecture
Matana University
ARA Center, Matana University Tower
Jl. CBD Barat Kav, RT.1,
Curug Sangereng, Kelapa Dua, Tangerang, Banten,
Indonesia



This is an open access article published under the CC-BY-SA license.

Original Paper

Efisiensi Energi Berkelanjutan: Strategi Desain dan Perhitungan Optimalisasi Efisiensi Energi pada Selubung Bangunan

Saufa Yardha Moerni¹, Aulia Muflih Nasution^{2*}, Yunita Syafitri Rambe³

^{1, 2, 3} Universitas Medan Area
*auliamuflih@staff.uma.ac.id

ABSTRACT

Global warming is an increase in the temperature of the Earth's surface over the last few decades. Building energy consumption is the number two contributor to global warming. About 5-13% of the energy consumed during construction and the remaining 87-95% occur during the lifetime of a building, mainly for heating, cooling, and lighting purposes. This requires the selection of building materials that are certified green or environmentally friendly to help reduce energy consumption. The aim of this study is to evaluate the energy efficiency of a variety of designs of the building cover best in the glass protector as a building wall material. The research method uses comparative research that involves comparing energy efficiency between 4 different designs and materials with the calculation of OTTV on the facade of the building. Overall Thermal Transfer Value (OTTV) is a design parameter used to measure the level of energy efficiency of a building in reducing the heat from sunlight entering through walls and roofs. The results of the study showed massive walls with a 0.8 m high parapet and 1.2 m sharpening (Aluminum 4 mm with semi-flash white paint + 30 mm airspace + 150 mm precast concrete), along with window walls using the Stopray Vision 52 T (8 mm (#2) + 12 mm Anti-Shatter + 6 mm Clear Glass) and horizontal shading as high as 0.4 m, as well as openings

Efisiensi Energi Berkelanjutan: Strategi Desain dan Perhitungan Optimalisasi Efisiensi Energi pada Selubung Bangunan

Saufa Yardha Moerni, Aulia Muflih Nasution, Yunita Syafitri Rambe

with a configuration of 8 mm (No2) + 12 mm anti-shatter + 6 mm Clear glass, showing that the Overall Thermal Transfer Value (OTTV) reached its peak with a 29% decrease from the standard value. It states the combination of these elements provides optimal thermal performance, minimizing overall heat transfer.

Keywords: energy efficiency, optimization, building façade, design strategy, architecture

ABSTRAK

Pemanasan global merupakan peningkatan suhu pada permukaan bumi yang terjadi pada beberapa dekade terakhir. Konsumsi energi bangunan merupakan penyumbang no 2 dalam pemanasan global sekitar 5-13% konsumsi energi yang terjadi saat konstruksi dan sisa konsumsi energi mencapai 87-95% terjadi selama masa hidup bangunan, terutama untuk keperluan pemanasan, pendinginan, dan penerangan. Sehingga diperlukan pemilihan material bahan bangunan yang tersertifikasi *green* atau ramah lingkungan guna membantu mengurangi konsumsi energi. Tujuan dari penelitian ini untuk mengevaluasi efisiensi energi dari berbagai desain selubung bangunan yang terbaik dalam pelindung kaca sebagai material dinding bangunan. Metode penelitian menggunakan penelitian komparatif yaitu penelitian dengan

melibatkan perbandingan efisiensi energi antara 4 desain dan material yang berbeda dengan perhitungan OTTV pada fasad bangunan. *Overall Thermal Transfer Value (OTTV)* merupakan parameter desain yang digunakan untuk mengukur tingkat efisiensi energi suatu bangunan dalam mengurangi panas dari sinar matahari yang masuk melalui dinding dan atap bangunan. Hasil penelitian menunjukkan dinding masif dengan parapet setinggi 0,8 m dan janggutan 1,2 m (Aluminium 4 mm dengan cat putih semi kilap+rongga udara 30 mm+beton precast 150 mm), bersama dengan dinding fenestrasi menggunakan Stopray Vision 52 T (8 mm (#2) +12 mm Anti-Shatter+6 mm Clear Glass) dan shading horizontal setinggi 0,4 m, serta bukaan dengan konfigurasi 8 mm (#2) + 12 mm Anti-Shatter+6 mm Clear Glass, menunjukkan bahwa Overall Thermal Transfer Value (OTTV) mencapai nilai maksimal dengan penurunan sebesar 29% dari nilai standar. Hal ini menyatakan kombinasi elemen-elemen ini memberikan kinerja termal yang optimal, meminimalkan transfer panas secara keseluruhan.

Kata Kunci: efisiensi energi, optimasi, selubung bangunan, strategi desain, arsitektur

PENDAHULUAN

Pembangunan gedung tinggi atau bangunan pencakar langit pada umumnya memerlukan penggunaan material selubung bangunan yang beragam, seperti kaca, aluminium, beton, dan baja. Namun, penggunaan material tersebut dapat berdampak buruk pada lingkungan, khususnya terkait dengan penggunaan energi. Pada bangunan tinggi, selubung bangunan pada umumnya kaca sebagai prioritas penutup bangunan dengan tujuan untuk estetika, *view*, maupun kesan luas pada bangunan. Dari hasil penelitian penggunaan kaca yang berlebihan pada selubung bangunan dapat meningkatkan konsumsi energi dan merusak lingkungan yang berdampak dengan pengikisan lapisan ozon dan menaikkan suhu panas (Buildings, 2019; Prakoso et al., 2014).

Penelitian Karyono (2016) menyatakan bahwa arsitek mempunyai tanggungjawab dalam kehidupan dan lingkungan. Upaya yang dilakukan dalam menurunkan suhu panas dalam perancangan salah satunya dengan memilih material yang tepat. Sebuah penelitian mengatakan penggunaan material selubung bangunan yang tepat pada desain fasad dapat mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan kinerja energi gedung. Dalam penelitian Maciej Serda (2018) menunjukkan bahwa material selubung bangunan seperti kaca dengan teknologi canggih dapat mengurangi jumlah radiasi matahari yang masuk ke dalam gedung, sehingga mengurangi kebutuhan untuk mendinginkan gedung (Hassan, 2020).

Perlu dilakukan optimalisasi atau perhitungan terhadap penggunaan material dan desain bangunan dalam mengurangi dampak konsumsi energi dan dampak lingkungan. Optimalisasi ini

dapat dilakukan dengan memilih material selubung bangunan yang ramah lingkungan, mengurangi jumlah kaca pada fasad bangunan, serta memperbaiki sirkulasi udara dan pencahayaan alami di dalam bangunan. Yang menjadi perhatian konsumsi energi bangunan sangat tergantung pada jenis material bahan bangunan yang dipilih, dengan sekitar 5-13% konsumsi energi yang terjadi saat konstruksi dan sisa konsumsi energi mencapai 87-95% terjadi selama masa hidup bangunan (Widyawati, 2018).

Teknologi dan inovasi material baru dapat dimanfaatkan untuk mengoptimalkan penggunaan material pada selubung bangunan yang ramah lingkungan. Material-material pada saat ini sudah tersertifikasi secara green untuk memastikan material tersebut dapat aman bagi lingkungan jika digunakan (GBCI, 2013). Optimalisasi penggunaan material selubung bangunan tinggi ini sangat penting dalam meningkatkan efisiensi energi dan konservasi lingkungan. Selain itu, hal ini juga dapat memberikan manfaat jangka panjang bagi pemilik bangunan, seperti pengurangan biaya operasional dan perawatan, serta meningkatkan kualitas hidup penghuni bangunan. Namun, dengan teknologi dan inovasi material perlu juga dilakukannya perancangan dengan konsep yang baik untuk melakukan efisiensi penyerapan panas ke dalam bangunan. Terlebih pada bangunan-bangunan tinggi yang menggunakan material kaca sebagai material utama selubung bangunan. Hal ini menjadi dasar dalam melakukan penelitian pada bangunan tinggi dengan menggunakan selubung kaca sebagai material dinding.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi energi dari berbagai desain selubung bangunan, dengan fokus pada penilaian yang mendalam terhadap kinerja pelindung kaca sebagai material dinding bangunan. Dengan mempertimbangkan aspek-aspek seperti dinding masif, dinding fenestrasi, dan penggunaan shading, penelitian ini bermaksud untuk mengidentifikasi desain selubung bangunan yang memberikan kinerja termal optimal. Dengan demikian, penelitian ini berupaya memberikan kontribusi pada pengembangan strategi desain bangunan yang efisien secara energi, terutama pada bangunan berorientasi kaca, dengan tujuan meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal.

TINJAUAN PUSTAKA

Bangunan Tinggi

Pembangunan gedung tinggi menjadi salah satu solusi untuk mengatasi keterbatasan lahan di perkotaan. Namun, gedung-gedung tersebut memiliki penggunaan energi yang cukup tinggi dalam operasionalnya, termasuk untuk keperluan pendinginan, pemanasan, dan pencahayaan. Hal ini berdampak pada peningkatan konsumsi energi di kota-kota besar yang pada akhirnya berdampak pada perubahan iklim.

Oleh karena itu, efisiensi dan konservasi energi di bangunan tinggi menjadi sangat penting. Perlu adanya alternatif-alternatif desain dalam menentukan bentuk, penutup selubung bangunan dengan memilih material bangunan yang tepat. Material bangunan memiliki peran penting dalam efisiensi dan konservasi energi pada bangunan tinggi karena dapat mempengaruhi kinerja termal, pencahayaan, dan ventilasi bangunan (Averina & Putri, 2019).

Dalam pemilihan material bangunan, beberapa faktor harus dipertimbangkan, termasuk kebutuhan energi, iklim, dan lingkungan sekitar. Selain itu, efek material pada lingkungan dan kesehatan manusia juga harus diperhatikan. Pemilihan material yang tepat dapat membantu mengurangi penggunaan energi dan biaya operasional bangunan, sementara material yang tidak tepat dapat meningkatkan konsumsi energi dan berdampak negatif pada lingkungan.

Dalam konteks bangunan tinggi, penting untuk memilih material bangunan yang efektif dalam mengontrol suhu dan cahaya di dalam bangunan, dan dapat meningkatkan efisiensi sistem pemanas dan pendingin. Material yang memenuhi kriteria ini akan berdampak dalam pengurangan penggunaan energi dan biaya operasional, dan memperbaiki kualitas udara dalam bangunan.

Pengaruh Pemilihan jenis dan warna material selubung bangunan

Tampilan fisik suatu gedung yang digunakan, dapat memberikan dampak besar terhadap kesan

Efisiensi Energi Berkelanjutan: Strategi Desain dan Perhitungan Optimalisasi Efisiensi Energi pada Selubung Bangunan

Saufa Yardha Moerni, Aulia Muflih Nasution, Yunita Syafitri Rambe

visual dan estetika bangunan. Namun, selain faktor estetika, pemilihan jenis dan warna material selubung bangunan juga dapat mempengaruhi berbagai aspek seperti konsumsi energi, iklim mikro, kenyamanan termal, dan biaya pemeliharaan. Menurut (Fajarsari, 2019) dampak suhu panas sinar matahari terhadap suhu ruangan dapat terjadi melalui tiga mekanisme, yakni konduksi, konveksi, dan radiasi. Material yang memiliki konduktivitas termal rendah dapat berfungsi sebagai isolator yang baik untuk mengurangi aliran panas, sedangkan material dengan konduktivitas termal tinggi berperan sebagai konduktor panas yang efektif. Menurut (Handayani, 2010) terdapat beberapa aspek yang dapat dipengaruhi oleh alternatif material dan warna material selubung bangunan yaitu:

1. **Konsumsi Energi:** Pemilihan jenis dan warna material selubung bangunan dapat mempengaruhi konsumsi energi bangunan dalam jangka panjang. Misalnya, material dengan konduktivitas termal yang lebih rendah dapat membantu meminimalkan kebocoran energi melalui selubung bangunan, sehingga mengurangi biaya pengeluaran energi untuk pemanasan atau pendinginan bangunan. Selain itu, warna material selubung yang cerah dapat membantu mengurangi pemanasan yang berlebihan pada bangunan pada hari-hari yang terik.
2. **Iklim Mikro:** Jenis dan warna material selubung bangunan dapat mempengaruhi iklim mikro di sekitar bangunan. Material yang memiliki daya serap panas dan kelembapan yang tinggi dapat membantu menjaga suhu dan kelembapan udara di sekitar bangunan, sementara material yang lebih berkilau atau mengandung bahan metalik dapat menciptakan pantulan cahaya yang kuat dan dapat mempengaruhi iklim mikro di sekitar bangunan.
3. **Kenyamanan Termal** dapat mempengaruhi kenyamanan termal di dalam bangunan. Material yang lebih terbuka dan transparan dapat membantu memaksimalkan sinar matahari alami dan menjaga suhu udara yang nyaman di dalam bangunan. Di sisi lain, material yang lebih padat dapat membantu memblokir sinar matahari yang berlebihan dan menjaga suhu udara yang lebih sejuk di dalam bangunan.
4. **Biaya Pemeliharaan:** Jenis dan warna material selubung bangunan juga dapat mempengaruhi biaya pemeliharaan bangunan dalam jangka panjang. Material yang lebih tahan lama dan mudah dirawat dapat membantu mengurangi biaya pemeliharaan bangunan, sementara material yang lebih rentan terhadap kerusakan atau korosi dapat memerlukan biaya pemeliharaan yang lebih tinggi.

Dalam pemilihan selubung bangunan, perlu dipertimbangkan faktor-faktor tersebut secara matang untuk memastikan bahwa bangunan tersebut memenuhi kebutuhan estetika, fungsional, dan ekonomi yang diinginkan

Efisiensi dan Konservasi Energi

Topik penting dalam desain bangunan modern karena semakin meningkatnya kesadaran tentang pentingnya penggunaan energi yang berkelanjutan (GBCI, 2013)(Suárez et al., 2021). Selain dampak lingkungan, efisiensi dan konservasi energi juga berdampak pada keuangan dan kenyamanan penghuni bangunan. Penggunaan material yang efisien dan teknologi penghemat energi dapat mengurangi biaya operasional dan perawatan bangunan. Sementara itu, kenyamanan penghuni dapat ditingkatkan dengan pengaturan suhu dan cahaya yang tepat, sehingga memberikan lingkungan yang lebih sehat dan produktif (Magdalena & Tondobala, 2016).

Menurut (Yasser Arab et al., 2023) desain bangunan yang tepat dapat mempengaruhi pengurangan konsumsi energi pada selubung bangunan. Beberapa strategi desain yang dapat digunakan untuk mengurangi konsumsi energi pada selubung bangunan antara lain :

1. **Penggunaan bahan isolasi:** Selain untuk menjaga kenyamanan termal pada bangunan, bahan isolasi yang digunakan pada selubung bangunan juga dapat membantu mengurangi konsumsi energi. Dengan penggunaan bahan isolasi yang tepat, transfer panas ke dalam dan keluar bangunan dapat dikurangi sehingga kebutuhan pemanas dan pendingin ruangan dapat berkurang.
2. **Penggunaan material berkualitas:** Material yang digunakan pada selubung bangunan harus berkualitas baik dan mampu mengurangi transfer panas. Material seperti kaca berenergi rendah, kaca dengan lapisan low-e, dan bahan dinding eksternal dengan nilai U yang rendah dapat membantu mengurangi konsumsi energi.

3. Penggunaan desain fasad yang tepat: Desain fasad yang tepat dapat membantu mengurangi kebutuhan pemanas dan pendingin ruangan. Misalnya, penggunaan shading device seperti kisi-kisi atau vertical fin dapat membantu mengurangi radiasi matahari langsung pada bangunan sehingga suhu dalam ruangan tetap stabil.
4. Penggunaan teknologi terbaru: Teknologi terbaru seperti fasad cerdas dapat membantu mengurangi konsumsi energi pada selubung bangunan. Fasad cerdas dapat mengatur sirkulasi udara, pencahayaan, dan suhu di dalam bangunan secara otomatis sehingga mengurangi kebutuhan energi yang diperlukan.

Dengan mengikuti strategi desain yang tepat, pengurangan energi pada selubung bangunan dapat dicapai sehingga memungkinkan penggunaan sumber daya energi yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Dampak lingkungan terhadap pengurangan energi

Penggunaan energi pada bangunan mempengaruhi dampak lingkungan seperti jenis bahan bakar yang digunakan, efisiensi energi bangunan, dan kebijakan energi yang ada. Penggunaan energi yang berlebih pada bangunan dapat berdampak negatif pada lingkungan. Hal ini dapat memicu perubahan iklim dan meningkatkan risiko bencana alam seperti banjir, kekeringan, dan badai. Selain itu, penggunaan energi yang berlebih pada bangunan juga dapat berdampak negatif pada kualitas udara dan kesehatan manusia.

Perlu strategi yang efektif untuk mengurangi dampak lingkungan dari penggunaan energi pada bangunan, seperti pemanfaatan sumber energi terbarukan dan efisiensi energi bangunan. Misalkan beban pendinginan yang berasal dari luar melalui selubung bangunan pada gedung-gedung kantor di Indonesia pada saat pemakaian waktu puncak mencapai 40 – 50%. Perlu dilakukan perencanaan yang matang terhadap fasade terutama pada material bangunan (Langit et al., 2019).

Material selubung bangunan

Material selubung bangunan pada bangunan tinggi sangat penting karena berfungsi sebagai pelindung bangunan dari pengaruh lingkungan luar, seperti sinar UV, hujan, angin, suhu tinggi dan rendah, dan lain sebagainya. Material selubung bangunan juga mempengaruhi penampilan visual bangunan dan juga dapat membantu meningkatkan efisiensi energi dengan meminimalkan kebocoran udara dan meningkatkan isolasi termal.

Kaca merupakan material selubung bangunan yang sering digunakan pada bangunan tinggi karena memberikan transparansi yang baik dan tampilan yang elegan. Aluminium dan baja digunakan sebagai bingkai kaca atau sistem panel dinding. Beton pracetak juga sering digunakan pada bangunan tinggi sebagai panel dinding. Penggunaan kaca sebagai selubung bangunan tinggi menjadi tidak efisien karena, secara umum, nilai perolehan panas secara konduksi atau nilai U pada kaca lebih rendah daripada material selubung lainnya seperti beton atau bata. Begitu pula dengan koefisien perolehan panas matahari atau *Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)* atau *Shading Coefficient (SC)*. Hal ini menyebabkan kaca menjadi mudah memasukkan panas ke dalam bangunan, baik melalui konduksi maupun radiasi, sehingga menyebabkan beban energi penyejukan menjadi besar. Selain itu, penggunaan kaca juga memiliki beberapa kerugian lain, seperti menyebabkan silau dan masuknya sinar ultraviolet ke dalam bangunan yang dapat merusak buku, cat, furnitur, dan lukisan dalam interior. Penggunaan elemen internal seperti tirai dan kerei, meskipun baik untuk menghalangi silau, bekerja dengan merefleksikan dan memasukkan udara panas dari luar ke dalam bangunan, sehingga pada akhirnya dapat membuat kualitas udara dalam menjadi tidak nyaman (Bahantwelu & Mbake, 2021).

Selain material selubung bangunan tersebut, ada juga beberapa material inovatif yang digunakan untuk bangunan tinggi seperti panel surya dan material kaca yang dapat berubah warna dan mengatur cahaya masuk ke dalam bangunan. Pemilihan material selubung bangunan pada bangunan tinggi sangat penting untuk mencapai efisiensi energi yang optimal, daya tahan yang baik terhadap pengaruh lingkungan, serta penampilan yang estetis. Oleh karena itu banyak faktor yang harus difikirkan dalam perancangan bangunan gedung khususnya bangunan gedung tinggi (Anindita et al., 2022; Handayani, 2010; Magdalena & Tondobala, 2016).

Efisiensi Energi Berkelanjutan: Strategi Desain dan Perhitungan Optimalisasi Efisiensi Energi pada Selubung Bangunan

Saufa Yardha Moerni, Aulia Muflih Nasution, Yunita Syafitri Rambe

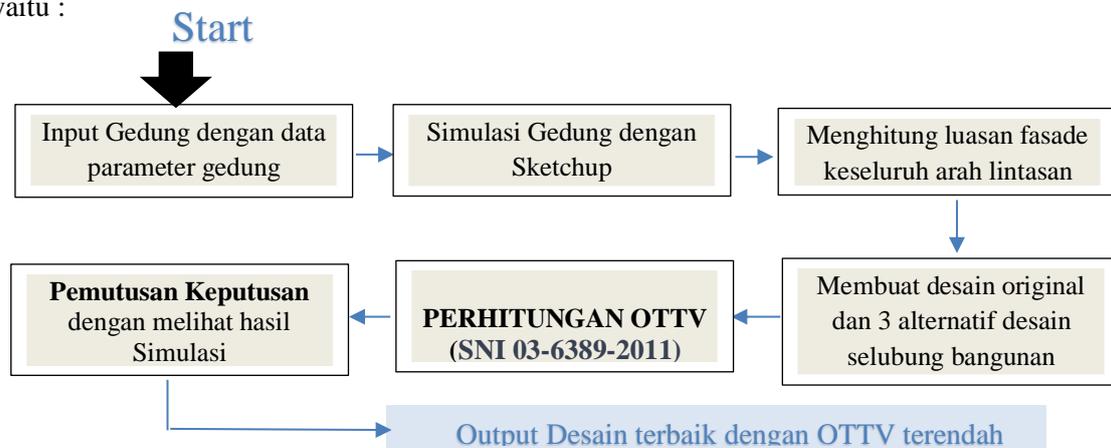
Dalam penelitian Cristino (2021) dan penelitian Budhyowati (2021) penggunaan material bangunan yang efisien dapat berkontribusi pada pengurangan konsumsi energi pada bangunan. Beberapa contoh penggunaan material bangunan yang efisien antara lain:

1. Bahan isolasi: Bahan isolasi seperti serat mineral, busa poliuretan, atau gabus dapat digunakan untuk mengurangi kebocoran udara dan mempertahankan suhu dalam ruangan.
2. Kaca low-e: Kaca low-e (low emissivity) dapat mengurangi jumlah sinar UV dan inframerah yang masuk ke dalam bangunan, sehingga dapat mengurangi kebutuhan pendingin dan pemanas.
3. Bahan bangunan ramah lingkungan: Bahan bangunan seperti bambu atau kayu secara berkelanjutan dapat membantu mengurangi dampak lingkungan dari pembangunan.
4. Peralatan hemat energi: Peralatan seperti lampu LED, mesin cuci, dan lemari es dengan label energi dapat membantu mengurangi konsumsi energi pada bangunan.
5. Penggunaan material bangunan daur ulang: Menggunakan bahan bangunan daur ulang dapat membantu mengurangi limbah konstruksi dan membantu memperpanjang umur bangunan.

METODE PENELITIAN

Penelitian komparatif yaitu metode penelitian yang melibatkan membandingkan efisiensi energi antara beberapa sistem atau teknologi yang berbeda (Sugiyono, 2017). Metode ini membantu untuk menentukan teknologi mana yang lebih efisien dalam menghasilkan energi dan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi energi. Dalam konteks desain arsitektur, penelitian komparatif dapat dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi energi dari berbagai sistem atau teknologi bangunan seperti sistem pemanas dan pendingin udara, pencahayaan, isolasi termal, dan lain sebagainya. Penelitian komparatif dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai metode, simulasi terhadap rumus-rumus perhitungan berdasarkan beberapa alternatif desain. Tujuan penelitian dengan mengumpulkan data penggunaan energi dari alternatif desain pada gedung dengan bentuk dan material berbeda dilakukan analisis data tersebut. Dalam penelitian komparatif, variabel yang mempengaruhi efisiensi energi harus diidentifikasi dan dikendalikan dengan baik. Variabel-variabel ini dapat mencakup sumber energi yang digunakan, kondisi cuaca, penggunaan bangunan, dan lain sebagainya.

Dalam konteks desain bangunan, penelitian komparatif dapat membantu dalam pengambilan keputusan tentang teknologi yang lebih efisien dalam menghasilkan energi dan pengurangan biaya energi yang digunakan oleh bangunan. Diinginkan penelitian komparatif ini dapat memberikan sumbangan penting dalam pilihan materi dan pilihan desain dan sistem bangunan yang lebih efisien dan ramah lingkungan di masa depan. Adapun langkah yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian Efisiensi Energi Berkelanjutan
Sumber : Penulis, 2024

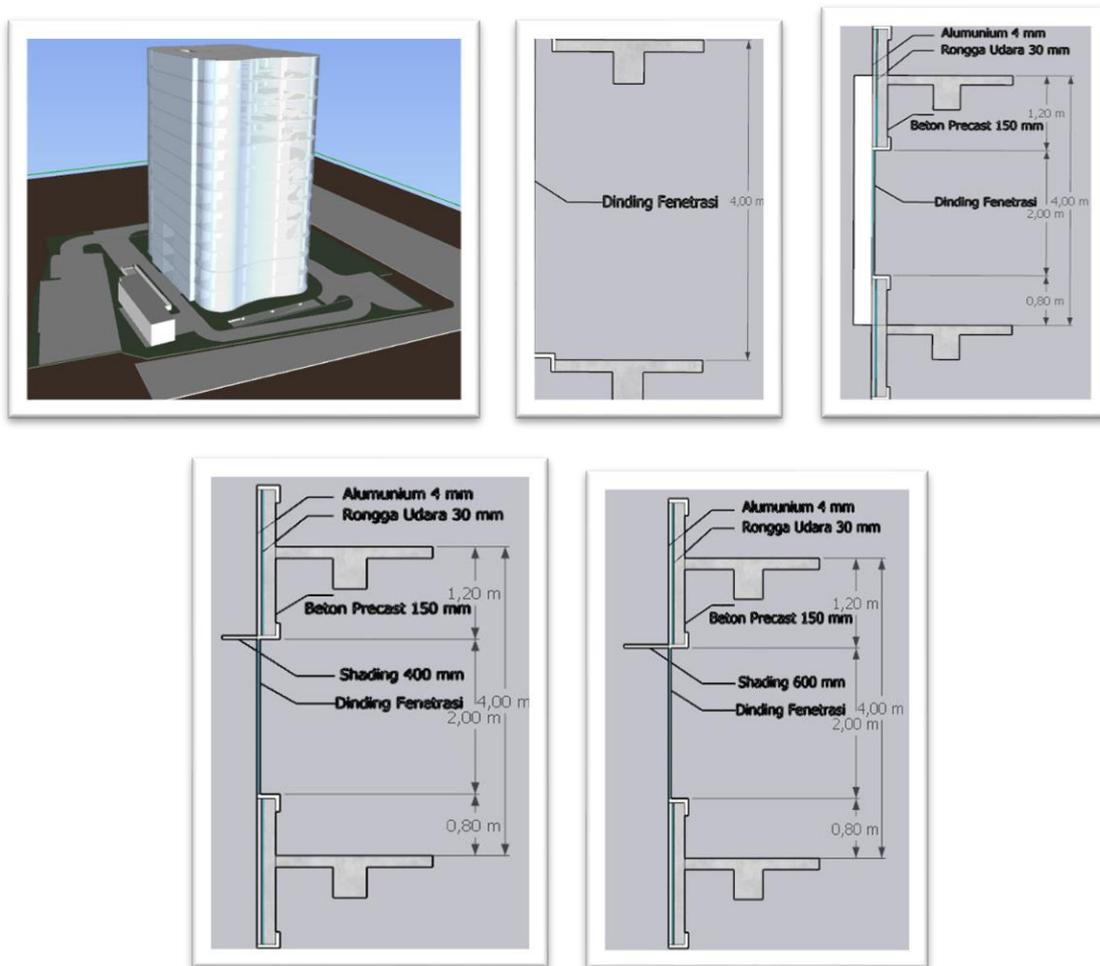
Data Parameter Gedung

Objek penelitian ini dilakukan dengan melakukan simulasi gedung tinggi yang terdiri dari 12

lantai. Bangunan ini memilih material kaca sebagai penutup dinding pada arah utara, barat, selatan dan timur. yang berarti seluruh dinding luar bangunan terbuat dari kaca. Bangunan ini dirancang sebagai bangunan dengan fungsi perkantoran yang membutuhkan pemandangan atau view yang menarik dari segala arah. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pertimbangan dengan analisa bentuk bangunan memanjang, dengan podium, selasar, dan lain-lain.

Pengolahan Gedung dengan Sketchup

SketchUp adalah perangkat lunak desain 3D. SketchUp dipilih karena mampu menciptakan model gedung dengan detail tinggi, termasuk fasade yang diperinci dengan material kaca. Pengguna dapat dengan mudah membuat alternatif desain dengan salin dan modifikasi model, memungkinkan eksplorasi kreatif sebelum memilih desain terbaik. Dalam penelitian ini, penggunaan software ini digunakan untuk membantu dalam perencanaan desain bangunan dan alternatif selubung bangunan dalam 3 dimensi. Software ini juga digunakan dalam perhitungan luasan fasade sebagai data perhitungan OTTV.



Gambar 2. Gambar Perencanaan Objek Penelitian
Sumber : Penulis, 2024

Perhitungan OTTV

Dalam perhitungan ini, dilakukan proporsi berdasarkan orientasi, luasan kemampuan konduksi dan radiasi, sehingga dapat digunakan dalam perhitungan nilai perpindahan panas atau OTTV. Dalam penelitian dilakukan pengukuran luasan fasad bangunan baik dari arah timur, barat, utara dan selatan. Langkah selanjutnya melakukan pengumpulan data dan merancang alternatif desain lalu dilakukan perhitungan untuk membandingkan efisiensi energi dari berbagai desain bangunan.

Efisiensi Energi Berkelanjutan: Strategi Desain dan Perhitungan Optimalisasi Efisiensi Energi pada Selubung Bangunan

Saufa Yardha Moerni, Aulia Muflih Nasution, Yunita Syafitri Rambe

Simulasi menggunakan perhitungan pada rumus-rumus dengan menggunakan data material dan SNI 03-6389-2011 tentang konservasi energi selubung bangunan pada bangunan gedung. Dilakukan beberapa alternatif desain untuk mendapatkan nilai optimal terhadap desain dengan efisiensi energi yang baik nantinya pada bangunan ini. Dalam buku GBCI (2013) penilaian Greenship GBCI rumus perhitungan OTTV yaitu :

$$OTTV = \text{Konduksi Dinding Masif} + \text{Konduksi Dinding Fenestrasi} + \text{Radiasi Dinding Fenestrasi}$$

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

dengan:

OTTV = Nilai perpindahan termal menyeluruh pada dinding luar yang memiliki arah atau orientasi tertentu (W/m^2);

α = Absorbtansi radiasi matahari. (Tabel 1 dan 2);

U_w = Transmittan termal dinding tidak tembus cahaya ($W/m^2 \cdot K$);

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

TD_{Ek} = Beda temperatur ekuivalen (K); (lihat tabel 8)

SF = Faktor radiasi matahari (W/m^2);

SC = Koefisien peneduh dari sistem fenestrasi;

U_f = Transmittan termal fenestrasi ($W/m^2 \cdot K$);

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

Hasil perhitungan OTTV ini, semakin rendah nilai OTTV, maka semakin baik efisiensi energi pada bangunan tersebut (Anindita et al., 2022). Dalam optimalisasi ini melakukan perhitungan terhadap pemilihan material bangunan yang digunakan dengan melakukan perhitungan OTTV atau Overall Thermal Transfer Value pada desain fasade bangunan (Fajarsari, 2019).

Hasil dari perhitungan OTTV terhadap 4 desain alternatif selubung bangunan akan diakumulasi dan dilakukan perbandingan terhadap nilai OTTV dan nilai penekanan reduksi terendah untuk dapat dijadikan dasar dalam keberhasilan keputusan desain terbaik selubung bangunan pada bangunan berlantai 12 dengan kondisi keseluruhan fasade bangunan dinding menggunakan material kaca.

HASIL DAN DISKUSI

Pemilihan desain yang tepat akan membuat bangunan lebih ramah lingkungan. Desain selubung bangunan yang optimal akan memaksimalkan penggunaan sumber daya alam yang tersedia untuk menciptakan ruang yang sehat dan nyaman. Tujuannya adalah untuk mengurangi ketergantungan gedung terhadap peralatan mekanikal dan elektrik yang memerlukan energi listrik, seperti sistem pengkondisian udara dan pencahayaan buatan. Hal ini bertujuan untuk mengurangi emisi karbon yang dihasilkan oleh pembangkit listrik. Dalam penelitian ini, perhitungan dibagi menjadi tiga bagian yaitu:

1. Perpindahan kalor melalui konduksi oleh material yang masif (Q_w). Pada perhitungan ini terdapat nilai absorbtansi panas atau α yaitu nilai penerapan energi termal akibat radiasi matahari pada suatu bahan dan ditentukan oleh warna bahan.
2. Perpindahan kalor melalui konduksi material yang transparan (Q_f1)
3. Perpindahan kalor melalui radiasi oleh matahari yang transparan (Q_f2)

Dalam perhitungan terdapat beberapa hal yang perlu diketahui seperti Luas dinding masif atau U_w merupakan luas area dinding yang tidak dapat ditembus cahaya termasuk dengan komponen bukaan seperti kusen dan lainnya pada suatu orientasi tertentu. Sementara WWR adalah rasio antara luas bukaan jendela pada dinding bangunan dengan total luas dinding, yang berfungsi untuk mengukur seberapa besar pengaruh cahaya dan sinar matahari yang masuk ke dalam ruangan.

Adapun material yang dipakai dalam selubung bangunan pada 4 alternatif desain pada dinding masif, dinding fenestrasi, shading dan bukaan yaitu :

Tabel 1. Ujicoba pada 4 alternatif desain

Desain	Dinding Masif	Dinding	Shading	Bukaan
--------	---------------	---------	---------	--------

		Fenestrasi		
Original		Indoflot Clear Glass 8 mm	-	Single Clear Glass
Alternatif 1	Parapet 0,8 m dan janggutan 1,2 m (Al 4 mm cat putih semi kilap + rongga udara 30 mm + beton pre cast 150 mm)	Stopray vision 52 T (8 mm(#2) + 12 mm AS + 6 mm Clear Glass)	Shading vertikal R 0,05	(8 mm (#2)+ 12 mm AS + 6 mm clear glass)
Alternatif 2	Parapet 0,8 m dan janggutan 1,2 m (Al 4 mm cat putih semi kilap + rongga udara 30 mm + beton pre cast 150 mm)	Stopray vision 52 T (8 mm(#2) + 12 mm AS + 6 mm Clear Glass)	Shading horizontal 0,4 m	(8 mm (#2)+ 12 mm AS + 6 mm clear glass)
Alternatif 3	Parapet 0,8 m dan janggutan 1,2 m (Al 4 mm cat putih semi kilap + rongga udara 30 mm + beton pre cast 150 mm)	Sunergy Euro Grey (SNGE) 8 mm	Shading horizontal 0,6 m	Single Glass 1

Sumber : Penulis, 2024

Dinding fenestrasi adalah dinding bangunan yang memiliki bukaan atau jendela yang memungkinkan masuknya cahaya dan udara dari luar ke dalam ruangan. Istilah "fenestrasi" berasal dari bahasa Latin "fenestra" yang berarti jendela. Dinding fenestrasi biasanya terbuat dari kaca atau bahan transparan lainnya untuk memungkinkan cahaya alami masuk ke dalam ruangan (GBCI, 2013) (Yasser Arab et al., 2023).

Dinding fenestrasi sering digunakan pada bangunan komersial, seperti perkantoran, pusat perbelanjaan, dan hotel, karena memberikan tampilan yang modern dan menarik, serta dapat menghemat penggunaan listrik untuk penerangan. Namun, penggunaan dinding fenestrasi juga perlu dipertimbangkan dengan baik karena dapat mempengaruhi suhu dan kondisi udara dalam ruangan, serta pengaruh dari sinar matahari yang berlebihan pada kesehatan dan kenyamanan penghuni ruangan. Oleh karena itu, perlu diperhatikan juga penggunaan bahan dan teknologi yang tepat untuk menjaga keseimbangan antara tampilan estetika dan kenyamanan lingkungan dalam penggunaan dinding fenestrasi pada bangunan.

Sementara dari objek penelitian ini pada 4 alternatif desain menggunakan material yang dipilih untuk dinding kaca yaitu :

1. Desain original menggunakan material indoflot clear glass 8 mm
2. Pada alternatif 1 dan Alternatif 2 menggunakan dinding stopray vision 52T dengan ketebalan 8 mm (#2) + 12 mm AS + 6 mm clear glass.
3. Alternatif 3 menggunakan sunergy Euro Grey (SNGE) 8 mm.

Pada material kaca ini merupakan material yang sudah memiliki sertifikasi. Biasanya kaca ini digunakan pada desain-desain yang mengadopsi pendekatan desain pasif yang memiliki peran penting dalam mengurangi beban listrik dengan cara mengontrol interaksi antara kondisi luar dan dalam gedung. Salah satu caranya adalah dengan menyaring elemen eksternal yang tidak diinginkan sebelum memasuki gedung.

Desain ini harus mencapai proporsi antara jenis material transparan dan masif harus dipertimbangkan berdasarkan orientasi, luas permukaan, serta kemampuan konduksi dan radiasi bangunan agar panas tidak masuk namun tetap memberikan penerangan alami optimal ke dalam ruangan. Hal ini sesuai dengan literatur dan penelitian yang pernah dilakukan (Lai et al.,

Efisiensi Energi Berkelanjutan: Strategi Desain dan Perhitungan Optimalisasi Efisiensi Energi pada Selubung Bangunan

Saufa Yardha Moerni, Aulia Muflih Nasution, Yunita Syafitri Rambe

2023)(Anindita et al., 2023).

Sebelum melakukan perhitungan OTTV pada setiap arah, diperlukan perhitungan area fasad bangunan. Perhitungan dilakukan dengan melakukan perhitungan luasan Fasad pada semua arah mata angin. Setelah melakukan akumulasi perhitungan dan memasukkan data-data panjang, tinggi per lantai, jumlah lantai, tinggi akan didapat area yaitu :

Tabel 2. Data dan perhitungan luas area permukaan fasad pada seluruh orientasi

Orientasi	Panjang (m)	Tinggi per lantai (m)	Jumlah Lantai	Tinggi (m)	Area (m ²)
Utara	19.19	4.00	12.00	48	921.27
Timur Laut	8.22	4.00	12.00	48	394.63
Timur	28.78	4.00	12.00	48	1381.46
Tenggara	6.59	4.00	12.00	48	316.55
Selatan	20.81	4.00	12.00	48	999.11
Barat Daya	6.60	4.00	12.00	48	316.75
Barat	8.49	4.00	12.00	48	407.47
Barat Laut	6.60	4.00	12.00	48	316.57
Total	105.29	4.00	12.00	48	5053.81

Sumber : Perhitungan data, 2024

Dalam penelitian ini, pemilihan material kaca yang digunakan dalam selubung bangunan didasarkan pada sertifikasi kualitasnya. Material-material untuk dinding masif, dinding fenestrasi, shading, dan bukaan juga telah dipilih secara cermat untuk memastikan ketersediaan data yang akurat dalam simulasi. Keputusan ini diambil dengan mempertimbangkan karakteristik termal dan sifat konstruksi masing-masing material, serta potensi kontribusinya terhadap efisiensi energi dan kenyamanan termal pada gedung.

Proses selanjutnya melibatkan perhitungan dan simulasi pada gambar objek penelitian, dengan memasukkan data panjang, tinggi per lantai, jumlah lantai, dan tinggi keseluruhan yang menjadi dasar perhitungan luas area. Dengan menggunakan data tersebut, perhitungan *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) dapat dilakukan pada setiap desain yang telah direncanakan sebelumnya.

Langkah-langkah perhitungan OTTV melibatkan evaluasi elemen-elemen kunci seperti Luas Fasade (A), Luas Jendela (Aw), Luas Dinding (Ad), Luas Langit-langit (At), Luas Lantai (Af), Luas Lantai Bangunan (AfB), Waktu Pencahayaan Matahari (S), Daya Kaca Matahari (G), Tingkat Pertukaran Udara (ACH), Temperatur Ruang (Ti) dan Temperatur Luar Ruang (Te), Koefisien Transfer Panas (U-Value), Ketebalan Material (d), Reflectance (R) dan Absorptance (α) Material, Shading Factor (SF), Densitas Matahari (Sd). Selama proses perhitungan ini, parameter-parameter termal dari setiap elemen diperhitungkan secara cermat untuk mencapai hasil yang akurat dan komprehensif. Adapun perhitungan OTTV pada setiap desain yaitu :

1. Desain Original

Klasifikasi material dan standar angka pada material, akan menjadi dasar dalam perhitungan OTTV pada bangunan. Pada desain original menggunakan dinding fenestrasi dengan material kaca indoflot clear Glass 8 mm, tidak menggunakan shading dan bukaan menggunakan kaca single clear glass dengan tebal 8 mm. Dengan melakukan perhitungan yang sama pada segala arah mata angin, didapat perhitungan akhir OTTV pada bangunan pada desain original yaitu :

Tabel 3. Perhitungan OTTV pada setiap orientasi pada desain original

Orientasi	Area (m ²)	OTTV Orientasi	Total OTTV Orientasi
Utara	921.27	145.65	134185.93
Timur Laut	394.63	153.87	60723.12
Timur	1381.46	167.77	231767.59
Tenggara	316.55	143.25	45344.53
Selatan	999.11	119.07	118959.37

Barat Daya	316.75	156.27	49496.77
Barat	407.47	198.12	80726.66
Barat Laut	316.57	183.24	58007.78
Total	5053.81		779211.75
OTTV		154.18	

Sumber : Perhitungan data, 2024

2. Desain Alternatif 1

Pada desain alternatif 1 menggunakan dinding masif menggunakan Parapet 0,8 m dan janggutuan 1,2 m (Al 4 mm cat putih semi kilap + rongga udara 30 mm + beton pre cest 150 mm), dinding fenetrasi Stopray vision 52 T (8 mm(#2) + 12 mm AS + 6 mm Clear Glass), shading vertikal R 0,05 dan bukaan menggunakan kaca (8 mm (#2)+ 12 mm AS + 6 mm clear glass). Dengan melakukan perhitungan yang sama pada segala arah mata angin, didapat perhitungan akhir OTTV pada bangunan pada desain alternatif 1 yaitu :

Tabel 4. Perhitungan OTTV pada setiap orientasi pada desain alternatif 1

Orientasi	Area (m2)	OTTV Orientasi	Total OTTV Orientasi
Utara	921.27	26.83	24720.70
Timur Laut	394.63	28.75	11344.60
Timur	1381.46	31.09	42948.70
Tenggara	316.55	24.15	7645.59
Selatan	999.11	20.22	20198.12
Barat Daya	316.75	26.27	8321.46
Barat	407.47	33.50	13652.32
Barat Laut	316.57	30.65	9701.46
Total	5053.81		138532.94
OTTV		27.41	

Sumber : Perhitungan data, 2024

3. Alternatif Desain 2

Pada desain alternatif 2 menggunakan dinding masif menggunakan Parapet 0,8 m dan janggutuan 1,2 m (Al 4 mm cat putih semi kilap + rongga udara 30 mm + beton pre cest 150 mm), dinding fenetrasi Stopray vision 52 T (8 mm(#2) + 12 mm AS + 6 mm Clear Glass), shading horizontal 0,4 m dan bukaan menggunakan kaca (8 mm (#2)+ 12 mm AS + 6 mm clear glass). Dengan melakukan perhitungan yang sama pada segala arah mata angin, didapat perhitungan akhir OTTV pada bangunan pada desain alternatif 1 yaitu :

Tabel 5. Perhitungan OTTV pada setiap orientasi pada desain alternatif 2

Orientasi	Area (m2)	OTTV Orientasi	Total OTTV Orientasi
Utara	921.27	24.86	22905.13
Timur Laut	394.63	26.40	10418.47
Timur	1381.46	28.42	39254.57
Tenggara	316.55	21.61	6839.84
Selatan	999.11	18.50	18481.02
Barat Daya	316.75	23.47	7433.42
Barat	407.47	29.99	12220.85
Barat Laut	316.57	27.48	8699.18
Total	5053.81		126252.47
OTTV		24.98	

Sumber : Perhitungan data, 2024

4. Alternatif Desain 3

Pada desain alternatif 2 menggunakan dinding masif menggunakan Parapet 0,8 m dan janggutuan 1,2 m (Al 4 mm cat putih semi kilap + rongga udara 30 mm + beton pre cest 150 mm),

Efisiensi Energi Berkelanjutan: Strategi Desain dan Perhitungan Optimalisasi Efisiensi Energi pada Selubung Bangunan

Saufa Yardha Moerni, Aulia Muflih Nasution, Yunita Syafitri Rambe

dinding fenetrasi Sunergy Euro Grey (SNGE) 8 mm, shading horizontal 0,6 m dan bukaan menggunakan kacasingle glass 1. Dengan melakukan perhitungan yang sama pada segala arah mata angin, didapat perhitungan akhir OTTV pada bangunan pada desain alternatif 1 yaitu :

Tabel 6. Perhitungan OTTV pada setiap orientasi pada desain alternatif 3

Orientasi	Area (m2)	OTTV Orientasi	Total OTTV Orientasi
Utara	921.27	33.66	31009.35
Timur Laut	394.63	35.32	13939.44
Timur	1381.46	37.88	52329.75
Tenggara	316.55	28.53	9032.14
Selatan	999.11	24.75	24732.16
Barat Daya	316.75	30.82	9761.73
Barat	407.47	39.23	15985.80
Barat Laut	316.57	35.89	11360.98
Total	5053.81		168151.34
OTTV		33.27	

Sumber : Perhitungan data, 2024

Dari hasil perhitungan secara keseluruhan berdasarkan 4 alternatif desain, perhitungan OTTV terhadap 4 desain alternatif di dapat :

1. OTTV pada desain original 154,18
2. OTTV pada desain alternatif 1 yaitu 27,41
3. OTTV dengan desain alternatif 2 yaitu 24,98
4. OTTV dengan desain alternatif 3 yaitu 33,27

Kesimpulan hasil perhitungan yang dilakukan terhadap OTTV dan elemen perhitungan OTTV pada 4 alternatif desain di dapat perhitungan yaitu:

Tabel 7. Ujicoba pada 4 alternatif desain

Desain	Dinding Masif	Dinding Fenetrasi	Shading	Bukaan	Tebal	SC	U-Value	VLT	VLR	WWR	OTTV	Reduction (%)
Original		Indoflot Clear Glass 8 mm	-	Single Clear Glass	8 mm	0.93	5.7	88	8	1	154.18	341
Alt 1	Parapet 0,8 m dan janggutan 1,2 m (Al 4 mm cat putih semi kilap + rongga udara 30 mm + beton pre cest 150 mm)	Stopray vision 52 T (8 mm(#2) + 12 mm AS + 6 mm Clear Glass)	Shading vertikal R 0,05	(8 mm (#2)+ 12 mm AS + 6 mm clear glass)	8 mm	0.31	1.5	50	16	0.5	27.41	22
Alt 2	Parapet 0,8 m dan janggutan 1,2 m (Al 4 mm cat putih semi kilap + rongga udara 30 mm + beton pre cest 150 mm)	Stopray vision 52 T (8 mm(#2) + 12 mm AS + 6 mm Clear Glass)	Shading horizontal 0,4 m	(8 mm (#2)+ 12 mm AS + 6 mm clear glass)	8 mm	0.31	1.5	50	16	0.5	24.98	29

	mm)											
Alt 3	Parapet 0,8 m dan janggutan 1,2 m (Al 4 mm cat putih semi kilap + rongga udara 30 mm + beton pre cast 150 mm)	Sunergy Euro Grey (SNGE) 8 mm	Shading horizontal 0,6 m	Single Glass 1	8 mm	0,41	4.1	22	6	0.5	33.27	5

Sumber : Pengolahan data, 2024

Keempat perhitungan desain yang dilakukan telah dihitung dan dibandingkan terhadap perhitungan data OTTV (Overall Thermal Transfer Value) pada masing-masing alternatif. Hasilnya menunjukkan bahwa alternatif ke-2 memiliki OTTV paling maksimal sebesar 24,98 dengan reduksi sebesar 29%. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, alternatif ke-2 atau desain alternatif ke 3 menunjukkan bahwa dengan OTTV paling maksimal, maka penggunaan material bangunan dan konfigurasi desain pada alternatif tersebut dapat menjamin efisiensi energi pada bangunan. Selain itu, dengan reduksi sebesar 29%, hal ini juga menunjukkan penggunaan bahan yang lebih hemat energi dibandingkan dengan alternatif lainnya. Oleh karena itu, alternatif ke-2 dapat menjadi pilihan yang tepat dalam membangun bangunan yang hemat energi dan ramah lingkungan.

KESIMPULAN

Pemilihan material sebagai selubung bangunan menjadi penting dalam desain bangunan untuk mengurangi dampak lingkungan. Pemilihan kaca sebagai material pada bangunan tinggi menjadi mayoritas pilihan owner dari segi estetika dan view bangunan. Untuk mendapatkan efisiensi energi pada bangunan dengan memperhatikan dampak lingkungan pada bangunan tersebut perlu dilakukan perhitungan OTTV. Penelitian ini dilakukan pada gedung 12 lantai dengan orientasi keseluruhan menggunakan material kaca, termasuk 4 alternatif desain selubung bangunan dengan satu di antaranya merupakan desain original. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain selubung bangunan yang mengusung dinding masif dengan parapet setinggi 0,8 m dan janggutan 1,2 m (Aluminium 4 mm dengan cat putih semi kilap+rongga udara 30 mm+beton precast 150 mm), bersama dengan dinding fenestrasi yang menggunakan Stoprax Vision 52 T (8 mm (#2) +12 mm Anti-Shatter+6 mm Clear Glass) dan shading horizontal setinggi 0,4 m, termasuk bukaan dengan konfigurasi 8 mm (#2) + 12 mm Anti-Shatter+6 mm Clear Glass, menunjukkan bahwa nilai Overall Thermal Transfer Value (OTTV) mencapai puncaknya dengan penurunan sebesar 29% dari nilai standar. Hal ini menegaskan bahwa kombinasi elemen-elemen tersebut memberikan kinerja termal yang optimal, efektif dalam mengurangi transfer panas secara keseluruhan pada gedung tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Anindita, M. K. A., Ola, F. B., Suwarno, N., & Sekarlangit, N. (2022). Utilization of building design performance simulation in the architectural design studio process. *ARTEKS: Jurnal Teknik Arsitektur*, 7(2), 163–174. <https://doi.org/10.30822/arteks.v7i2.1391>
- Anindita, M. K. A., Ola, F. B., Suwarno, N., Sekarlangit, N., Budhiyanto, A., Lai, F., Zhou, J., Lu, L., Hasanuzzaman, M., Yuan, Y., Yasser Arab, Ahmad Sanusi Hassan, Zeyad Amin Al-Absi, Boonsap Witchayangkoon, & Bushra Qanaa. (2023). Green building technologies in Southeast Asia: A review. *DIMENSI (Journal of Architecture and Built Environment)*, 44(2), 189–194. <https://doi.org/10.37934/arfmits.102.2.2132>
- Averina, G., & Putri, O. T. (2019). Analisis Pemilihan Material, Pencahayaan dan Penghawaan pada Apartemen Trillium Surabaya Kajian Terapan Eko-Interior. *Seminar*

Efisiensi Energi Berkelanjutan: Strategi Desain dan Perhitungan Optimalisasi Efisiensi Energi pada Selubung Bangunan

Saufa Yardha Moerni, Aulia Muflih Nasution, Yunita Syafitri Rambe

Nasional Infrastruktur Berkelanjutan Era Revolusi Industri 4.0 Teknik Sipil Dan Perencanaan, 11–18.

- Bahantwelu, M., & Mbake, I. N. (2021). Smart Glass dan Penerapannya pada Selubung Bangunan di Iklim Tropis untuk Efisiensi Energi Gedung. *Gewang*, 3(1), 18–24. <http://ejurnal.undana.ac.id/gewang/article/view/4088><https://ejurnal.undana.ac.id/gewang/article/download/4088/2560>
- Budhyowati, N. M. Y. (2021). Desain Selubung Bangunan Untuk Bangunan Hemat Energi. *Jurnal Teknik Sipil Terapan*, 3(2), 57. <https://doi.org/10.47600/jtst.v3i2.292>
- Buildings, H. (2019). *Technological Advances and Trends in Modern High-Rise Buildings*.
- Cristino, T. M., Lotufo, F. A., Delinchant, B., Wurtz, F., & Faria Neto, A. (2021). A comprehensive review of obstacles and drivers to building energy-saving technologies and their association with research themes, types of buildings, and geographic regions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110191>
- Fajarsari, A. D. (2019). Pengaruh Selubung Bangunan Terhadap Kenyamanan Termal (Studi Kasus PPSDM Migas Cepu). *Jurnal Nasional Pengelolaan Energi MigasZoom*, 1(1), 50–60. <https://doi.org/10.37525/mz/2019-1/228>
- GBCI. (2013). Perangkat Penilaian GREENSHIP (GREENSHIP Rating Tools). *GreenShip New Building Versi 1.2, April*, 1–15. http://elib.artefakarkindo.co.id/dok/Tek_Ringkasan_GREENSHIP_NB_V1.2_id.pdf
- Handayani, T. (2010). Efisiensi Energi Dalam Rancangan Bangunan. *Spektrum Sipil*, 1(2), 102–108.
- Hassan, S. A. (2020). The effect of residential building facade design on energy consumption for hot desert climate. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 928(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/928/2/022029>
- Karyono, T. H. (2016). *Pemanasan bumi dan dosa arsitek*. July.
- Lai, F., Zhou, J., Lu, L., Hasanuzzaman, M., & Yuan, Y. (2023). Green building technologies in Southeast Asia: A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 55(November 2022), 102946. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102946>
- Langit, A. S., Hendrawati, D., & Lippsmiere, M. (2019). Peran Material Selubung Bangunan dalam Efisiensi. *Seminar Karya Dan Pameran Arsitektur Indonesia*, 241–254.
- Maciej Serda, Becker, F. G., Cleary, M., Team, R. M., Holtermann, H., The, D., Agenda, N., Science, P., Sk, S. K., Hinnebusch, R., Hinnebusch A, R., Rabinovich, I., Olmert, Y., Uld, D. Q. G. L. Q., Ri, W. K. H. U., Lq, V., Frxqwu, W. K. H., Zklfk, E., Edvhg, L. V, ...)2018. (فاطمی ح). Energy Consumption and Efficiency in Green Buildings. *International Journal for Scientific Research and Development*, 5(11), 78–81. <https://desytamara.blogspot.com/2017/11/sistem-pelayanan-perpustakaan-dan-jenis.html><https://lambeturah.id/pengertian-website-secara-umum-dan-menurut-parahli/>https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf2252
- Magdalena, E. D., & Tondobala, L. (2016). Implementasi Konsep Zero Energy Building (Zeb) Dari Pendekatan Eco-Friendly Pada Rancangan Arsitektur. *Media Matrasain*, 13(1), 1–15.
- Prakoso, N. A., Lamahala, A. K., & Sentanu, G. (2014). *Kajian Penerapan Material pada Selubung Bangunan yang Mempengaruhi Kenyamanan Termal dan Visual*. 2(2), 1–12.
- Suárez, I. D. S., Gonzalez, A. M., & Contreras, S. U. (2021). Building Energy System Design and Planning: The Universidad de Santander Case. *Journal of Sustainability Perspectives*, 1(1),

14–20. <https://doi.org/10.14710/jsp.2021.11202>

Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung : Alfabeta, CV.

Widyawati, R. L. (2018). Green Building Dalam Pembangunan Berkelanjutan Konsep Hemat Energi Menuju Green Building Di Jakarta. *Karya Lintas Ilmu Bidang Rekayasa Arsitektur, Sipil, Industri, 13*, 01–17. <https://ejournal.borobudur.ac.id/index.php/teknik/article/view/463>

Yasser Arab, Ahmad Sanusi Hassan, Zeyad Amin Al-Absi, Boonsap Witchayangkoon, & Bushra Qanaa. (2023). OTTV'S Assessment on Thermal Performance of High-Rise Apartment Buildings in Penang. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, 102(2)*, 21–32. <https://doi.org/10.37934/arfmts.102.2.2132>

