



INVESTIGASI ALTERNATIF VARIASI WINDOW-TO-WALL RATIO (WWR) DAN PEMILIHAN MATERIAL KACA JENDELA DALAM MENCAPAI EFISIENSI ENERGI DI BANGUNAN HOTEL BERIKLIM TROPIS

Hidayah Salsabiela Nugraharti¹, Yani Rahmawati²

Program Studi Magister Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

E-mail: hidayahsalsabielanugraharti@mail.ugm.ac.id, yani.rahmawati@ugm.ac.id

Informasi Naskah:

Diterima:
15 Maret 2026

Direvisi:
16 April 2026

Disetujui terbit:
12 Mei 2026

Diterbitkan:
Cetak:
29 Juni 2026

Online
29 Juni 2026

Abstract: The building sector is a major global energy consumer, with windows being the most critical element for heat gain in tropical climates. This research aims to investigate the optimal Window-to-Wall Ratio (WWR) and glass material selection for energy efficiency in hotel building, using Hotel Voyou in Surakarta as a case study. The methodology employs a qualitative approach through descriptive analysis and expert validation (Expert Validation) involving three key stakeholders: a practitioner architect, a green building expert from GBCI, and a glass material vendor. The results confirm that a WWR range of 20-60% is the optimal efficiency zone for balancing daylighting and cooling loads. Among the tested materials, Sunergy Blue Green (Low-E) is the most recommended choice due to its low U-Value (4.1 W/m²K) and Shading Coefficient (0.43), which effectively reduces heat gain without compromising visual quality. The study concludes that WWR and material performance are interdependent; higher WWR can still achieve energy efficiency if paired with high-performance glazing.

Keywords: Energy Efficiency, Hotel Building, Window-to-Wall Ratio (WWR).

Abstrak: Sektor bangunan merupakan konsumen energi terbesar di dunia, dengan jendela sebagai elemen krusial penyebab perolehan panas di iklim tropis. Penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi rentang optimal Window-to-Wall Ratio (WWR) dan pemilihan material kaca guna mencapai efisiensi energi pada bangunan hotel, dengan studi kasus Hotel Voyou di Surakarta. Metode yang digunakan adalah analisis deskriptif melalui validasi ahli yang melibatkan tiga pemangku kepentingan utama: arsitek praktisi, pakar bangunan hijau (GBCI), dan vendor material kaca. Hasil penelitian mengonfirmasi bahwa rentang WWR 20-60% merupakan zona efisiensi optimal untuk menyeimbangkan kebutuhan pencahayaan alami dan beban pendinginan. Di antara alternatif material, Sunergy Blue Green (Low-E) menjadi pilihan yang paling direkomendasikan karena memiliki nilai U-Value terendah (4,1 W/m²K) dan Shading Coefficient (0,43) yang efektif mereduksi panas tanpa mengorbankan kualitas visual. Penelitian menyimpulkan bahwa keputusan WWR dan pemilihan material bersifat saling bergantung, di mana WWR tinggi tetap dapat mencapai efisiensi energi jika dikombinasikan dengan kaca berperforma tinggi.

Kata Kunci: Efisiensi Energi, Bangunan Hotel, Window-to-Wall Ratio (WWR).

PENDAHULUAN

Sektor bangunan menjadi isu yang sedang banyak dibicarakan, karena merupakan salah satu konsumen energi terbesar di dunia terhadap emisi gas rumah kaca (Kaasalainen et al., 2020; Yetim & Kazaz, 2024). Agar penggunaan energi lebih efisien dan terhindar dari biaya perbaikan yang mahal, perlu memperhatikan tahapan desain awal. AlHomoud (2005) menekankan bahwa pendekatan yang sistematis di tahap awal proyek sangat penting untuk nantinya dapat menghasilkan keputusan yang tepat. Karena keputusan desain pada tahap tersebut memiliki dampak jangka panjang yang signifikan terhadap kinerja energi, maka optimasi elemen selubung bangunan menjadi strategi yang paling efektif dan dapat menghemat biaya.

Jendela merupakan elemen selubung paling dinamis yang berfungsi sebagai jalur utama transmisi panas matahari sekaligus sumber cahaya alami. Di wilayah beriklim tropis seperti Surakarta, desain jendela mempunyai tantangan besar untuk menyeimbangkan antara kebutuhan estetika visual melalui bukaan yang lebar dengan upaya meminimalkan perolehan panas matahari atau *heat gain*. Parameter utama yang menentukan keseimbangan ini adalah Window-to-Wall Ratio (WWR) dan jenis material kaca atau *glazing performance* yang dipilih.

Window-to-Wall Ratio (WWR), yang didefinisikan sebagai rasio antara luas bukaan jendela dan luas dinding fasad, berpengaruh besar terhadap kinerja energi bangunan, dengan dampaknya yang sangat

bergantung pada iklim dan konteks lokal (Ahmed et al., 2025; Purwoko & Purwanto, 2022). Pemilihan material kaca jendela bersama dengan WWR merupakan faktor krusial yang saling mempengaruhi kinerja energi bangunan dan dapat dioptimalkan secara bersamaan (Kaasalainen et al., 2020; Salgude et al., 2024).

Secara khusus, penelitian ini disusun untuk melakukan investigasi terhadap berbagai alternatif variasi WWR dan pemilihan jenis material kaca yang paling optimal guna mencapai titik keseimbangan antara efisiensi energi dan kenyamanan penghuni. Dalam mencapai tujuan tersebut, penelitian ini mengintegrasikan tahap validasi melalui wawancara dengan para ahli (stakeholders) guna menyelaraskan data teoritis dengan kondisi lapangan.

Keterlibatan para ahli seperti arsitek sebagai perancang untuk memberikan perspektif estetika dan fungsional, owner vendor material kaca untuk memberikan wawasan mengenai ketersediaan dan spesifikasi termal dari berbagai jenis material kaca. Selain praktisi lapangan seperti arsitek, dan vendor kaca, penelitian ini juga melibatkan Ketua GBCI sebagai pakar otoritas bangunan hijau. Keterlibatan ini bertujuan untuk memvalidasi variabel WWR dan material kaca tidak hanya dari sisi teknis dan estetika, tetapi juga kesesuaiannya dengan standar sertifikasi bangunan hijau dan regulasi efisiensi energi nasional yang berlaku di Indonesia. Narasumber tersebut menjadi instrumen penting untuk menentukan parameter ideal mengenai variasi WWR serta jenis material kaca yang paling efektif dan aplikatif untuk bangunan hotel di iklim tropis.

Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi arsitek dalam menentukan proporsi jendela yang ideal serta memberikan gambaran bagi investor mengenai jenis material kaca yang layak untuk bangunan hotel yang seimbang dengan nilai estetika dan kenyamanan visual.

Pentingnya penelitian ini diperkuat oleh penggunaan standar teknis seperti Intensitas Konsumsi Energi (IKE) sebagai parameter efisiensi dan mendukung pemilihan material kaca merupakan strategi yang efektif untuk dilakukan karena tidak perlu mengubah struktur bangunan secara fisik. Penggunaan teknologi kaca modern seperti *Low-E* atau *double glazing* juga menjadi pertimbangan sebagai solusi teknis untuk mereduksi perolehan panas tanpa mengorbankan pencahayaan alami.

Meskipun studi mengenai optimasi WWR telah banyak dilakukan, mayoritas literatur saat ini masih berfokus pada tipologi bangunan perkantoran, fasilitas kesehatan, atau residensial. Masih terdapat kesenjangan literatur yang secara spesifik membahas bangunan hotel di Indonesia, yang memiliki karakteristik operasional 24 jam dengan beban pendinginan jauh lebih kompleks dan tuntutan kualitas visual yang lebih tinggi untuk kenyamanan tamu. Penelitian ini diharapkan dapat mengisi celah tersebut dengan mengintegrasikan temuan variabel konfigurasi WWR dan pemilihan jenis material kaca

dalam konteks iklim tropis lembab pada bangunan Hotel.

TINJUAN PUSTAKA

Window-to-Wall Ratio (WWR)

WWR merupakan faktor paling dominan yang menentukan besarnya perolehan panas matahari (*solar heat gain*) yang masuk ke dalam bangunan (Syafutri et al., 2025). Pada bangunan tinggi, selubung bangunan umumnya terpapar radiasi matahari secara langsung tanpa banyak peneduh alami. Variasi WWR diterapkan pada penelitian ini untuk memungkinkan peneliti menemukan titik keseimbangan antara kebutuhan pencahayaan alami dan pemandangan (*view*) dengan upaya meminimalkan panas yang masuk. Adapun variasi WWR yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain:

Tabel 1. Rentang WWR Optimal untuk Efisiensi Energi Di Iklim Tropis

No.	Rentang WWR	Efek Utama	Studi Pendukung
1.	10-20%	Suhu stabil, meningkatkan efisiensi energi	(Syukur et al., 2025)
2.	20-30%	Optimal untuk bangunan ber-AC, hemat energi	(Alwetaishi, 2025; Mangkuto et al., 2016; Rana & Hasan, 2020)
3.	30-40%	Keseimbangan <i>daylight</i> & beban pendinginan	(Mangkuto et al., 2016; Xue et al., 2019)
4.	>40%	Beban pendinginan meningkat, perlu proteksi ekstra	(Xue et al., 2019)

Sumber: (Alwetaishi, 2025; Mangkuto et al., 2016; Rana et al., 2021; Syukur et al., 2025; Xue et al., 2019)

Berdasarkan sintesis studi literatur pada Tabel 1, rentang WWR yang efisien untuk iklim tropis umumnya berada di bawah 40%. Namun, penelitian ini menetapkan enam variasi nilai WWR, yaitu 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60%. Penambahan variasi nilai tinggi (50% dan 60%) dilakukan untuk merepresentasikan tren arsitektur bangunan tinggi modern yang cenderung memaksimalkan bukaan kaca demi estetika dan pemandangan.

Nilai 10-40% dipilih untuk menguji zona efisiensi energi optimal (Alwetaishi, 2025; Mangkuto et al., 2016; Rana & Hasan, 2020; Syukur et al., 2025), sementara nilai 50-60% diuji untuk menginvestigasi dampak peningkatan beban pendinginan yang signifikan, memerlukan proteksi ekstra, serta risiko ketidaknyamanan visual (*glare*) (Sayadi et al., 2021; Xue et al., 2019). Dengan rentang yang luas ini, diharapkan dapat mengidentifikasi batas maksimal di mana keuntungan pencahayaan alami menjadi tidak lagi sebanding dengan perolehan panas berlebih.

Jenis Material Kaca

Pemilihan material kaca pada bangunan tinggi di Indonesia sangat dipengaruhi oleh kebutuhan

efisiensi energi, kenyamanan termal, dan estetika. Berdasarkan studi literatur, berikut adalah rangkuman jenis-jenis kaca yang paling umum digunakan beserta pertimbangan pemilihannya.

Tabel 2. Jenis Material Kaca yang Umum Digunakan

No.	Jenis Kaca	Karakteristik & Kelebihan	Aplikasi Umum di Indonesia
1.	Kaca Bening (<i>Clear Glass</i>)	Transparan, murah, namun memiliki performa termal rendah (tinggi U-value, SC, SF)	Fasad gedung, namun mulai jarang digunakan
2.	Kaca Berwarna (<i>Tinted</i>)	Menyerap panas, mengurangi silau, performa termal lebih baik dari kaca bening	Fasad gedung
3.	Kaca Reflektif	Memiliki lapisan reflektif, menurunkan SC dan SF, sering digunakan untuk efisiensi energi, jenis kaca yang berwarna memiliki performa termal lebih baik	Fasad gedung
4.	<i>Double Glazing</i>	Dua lapis kaca dengan ruang udara, menurunkan transfer panas dan suara	Fasad Apartemen, perkantoran
5.	<i>Low-E Glass</i>	Lapisan khusus untuk memantulkan panas, sangat efisien secara termal	Gedung hemat energi, <i>green building</i>

Sumber: (Gilang Pratama et al., 2025; Hajji & Hilmi, 2021; Hendinata et al., 2023; Latifah & Rahadian, 2020; Utama & Setyowati, 2022)

Pertimbangan Pemilihan Material Kaca

- Efisiensi Energi:** Kaca dengan nilai *shading coefficient (SC)*, *solar factor (SF)*, dan *U-value* rendah lebih disukai untuk menurunkan beban pendinginan dan memenuhi standar SNI 6389:2020 (Hajji & Hilmi, 2021; Hendinata et al., 2023; Latifah & Rahadian, 2020; Utama & Setyowati, 2022).
- Ketebalan dan Warna:** Kaca yang lebih tebal dan berwarna terang (misal: *Blue Green*, *Green*) memiliki performa termal lebih baik dibanding kaca gelap (Utama & Setyowati, 2022).
- Lapisan Tambahan:** kaca *low-e* atau kaca dengan emisivitas rendah mampu meningkatkan performa termal kaca (Latifah & Rahadian, 2020; Utama & Setyowati, 2022).
- Aplikasi Lokal:** *Double glazing* semakin banyak digunakan pada gedung-gedung baru untuk memenuhi tuntutan *green building* (Hajji & Hilmi,

2021; Hendinata et al., 2023; Latifah & Rahadian, 2020).

Kaca bening, kaca berwarna, double glazing, dan low-e adalah jenis yang paling umum digunakan pada bangunan tinggi di Indonesia, dengan tren menuju penggunaan kaca berperforma tinggi untuk efisiensi energi dan kenyamanan pengguna (Gilang Pratama et al., 2025; Hajji & Hilmi, 2021; Hendinata et al., 2023; Latifah & Rahadian, 2020; Utama & Setyowati, 2022).

Teknologi kaca memiliki properti termal yang sangat beragam (seperti *U-value* dan *Solar Heat Gain Coefficient/SHGC*). Pemilihan kaca yang tepat dapat berfungsi sebagai filter radiasi. Variabel ini dipilih karena mengganti jenis kaca adalah salah satu strategi paling efektif dan mudah diterapkan dalam tahap konstruksi tanpa harus mengubah bentuk fisik atau struktur bangunan. Untuk jenis material kaca disesuaikan dengan kondisi pasar lokal yang mudah didapat dan memiliki variasi yang beragam yaitu dari Katalog PT Asahimas Flat Glass Tbk, 2022. Jenis kaca yang digunakan antara lain:

Tabel 3. Jenis Material Kaca Jendela

No.	Jenis Kaca	Ketebalan (mm)	SC Value	U Value (W/m ² K)
1.	Panasap Blue Green	6	0,63	5,7
2.	Stopsol – New Supersilver Dark Blue	6	0,39	5,7
3.	Sunergy Blue Green	6	0,43	4,1
4.	T-Sunlux – Clear CS 150 #2	6	0,54	5,7

Sumber: Katalog PT Asahimas Flat Glass Tbk, 2022

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi dan Subjek Penelitian



Gambar 1. Hotel Voyou, Surakarta

Sumber: <https://www.archwork.id/>, diakses 29 Januari 2026

Objek studi yang digunakan sebagai basis evaluasi adalah Hotel Voyou yang terletak di kawasan Sekarpace, Kecamatan Jebres, Kota Surakarta. Pemilihan objek ini didasarkan pada kriteria bangunan *high-rise* yang sedang dalam tahap konstruksi (*under construction*), sehingga

memungkinkan perolehan data teknis yang aktual dan spesifik terhadap konteks lokal. Selain itu, kondisi tersebut dinilai ideal untuk melakukan evaluasi rekomendasi optimasi energi sebelum bangunan beroperasi secara penuh. Bangunan gedung bertingkat ini direncanakan memiliki ketinggian mencapai 15 lantai dengan kapasitas total sebanyak 131 unit kamar.

Subjek atau narasumber penelitian ditentukan untuk mendapatkan validasi dari berbagai sudut pandang otoritas pembangunan. Responden terdiri dari arsitek perancang untuk memberikan perspektif estetika dan fungsional dan vendor material kaca untuk memberikan wawasan mengenai ketersediaan jenis kaca serta spesifikasi termal terbaru. Selain itu penelitian ini juga melibatkan Ketua GBCI Yogyakarta yang juga berprofesi sebagai arsitek dan pakar otoritas bangunan hijau. Keterlibatan ini bertujuan untuk memvalidasi variabel penelitian tidak hanya dari sisi teknis dan estetika, tetapi juga kesesuaiannya dengan standar sertifikasi bangunan hijau dan regulasi efisiensi energi nasional yang berlaku di Indonesia. Instrumen penelitian yang digunakan adalah pedoman wawancara yang berfokus pada penentuan rentang ideal WWR serta pemilihan jenis material kaca yang paling efektif untuk mereduksi beban pendinginan di Surakarta.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui integrasi antara data primer dan data sekunder untuk menghasilkan basis informasi yang komprehensif. Data primer dikumpulkan melalui observasi lapangan pada lokasi objek studi dan wawancara dengan arsitek dan owner vendor kaca.

Data sekunder diperoleh dari dokumen teknis bangunan yang mencakup Gambar *Detailed Engineering Design* (DED), spesifikasi material selubung bangunan, terutama material kaca jendela, serta katalog vendor material kaca.

Instrumen penelitian yang digunakan adalah pedoman wawancara terstruktur yang difokuskan pada penentuan rentang ideal WWR serta pemilihan alternatif jenis material kaca yang efektif untuk mereduksi perolehan panas matahari di Surakarta. Berikut adalah daftar yang menjadi narasumber penelitian:

Tabel 4. Deskripsi Narasumber Penelitian

No.	Pengalaman dan Ahli Bidang	Inisial Narasumber
1.	Dosen dan praktisi arsitektur senior dengan pengalaman profesional perancang di lapangan (± 22 tahun pengalaman)	Narasumber 1
2.	Praktisi arsitektur senior dengan pengalaman profesional dan terlibat dalam pengembangan konsep bangunan hijau dan berkelanjutan (± 8 tahun pengalaman)	Narasumber 2
3.	Arsitek dan pemilik perusahaan material kaca (Agen Asahimas & YKK AP Indonesia) Matahari Glass & Aluminium di Surakarta	Narasumber 3

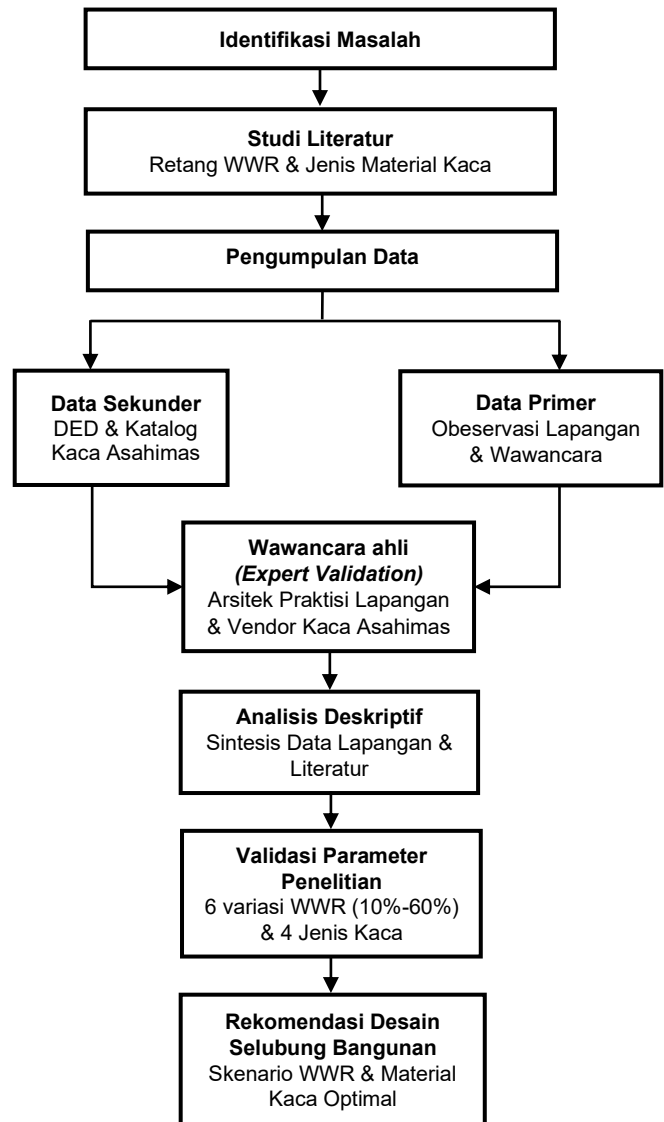
(± 10 tahun pengalaman)

Sumber: Analisis Penulis, 2026

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dilakukan secara deskriptif untuk mengolah hasil wawancara dan observasi menjadi sebuah parameter desain yang sudah tervalidasi oleh para ahli. Sintesis data dilakukan dengan membandingkan data yang didapatkan dari wawancara para ahli terhadap data yang sudah dikumpulkan sebelumnya dari beberapa literatur yang membahas mengenai variasi WWR dan material kaca.

Proses analisis ini bertujuan untuk mensintesis masukan dari responden menjadi rekomendasi skenario variasi WWR (dalam rentang 10%-60%) dan pemilihan material kaca yang dianggap paling optimal secara teknis. Hasil akhir dari tahapan ini adalah strategi desain selubung bangunan yang paling optimal dan dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, guna memastikan tercapainya efisiensi energi tanpa mengorbankan kenyamanan visual penghuni hotel. Berikut adalah alur metode penelitian:



Gambar 2. Alur Metode Penelitian
Sumber: Analisis Penulis, 2026

Identifikasi masalah adalah menentukan isu efisiensi energi pada hotel di iklim tropis, mengumpulkan data sekunder mengenai ambang batas WWR dan jenis material kaca dari penelitian terdahulu, serta titik awal penelitian untuk memetakan gap literatur bahwa bangunan hotel di Indonesia masih minim diteliti dari sisi optimasi WWR dan pemilihan kaca. Studi literatur digunakan untuk menyusun rentang variasi WWR yang akan diuji (10%-60%) dan mengidentifikasi jenis kaca yang relevan berdasarkan studi terdahulu serta katalog PT. Asahimas. Penentuan objek studi menetapkan Hotel Voyou Surakarta sebagai basis evaluasi karena statusnya yang masih *under construction*, sehingga ideal untuk rekomendasi pra operasional. Pengumpulan data bercabang menjadi dua jalur paralel, data sekunder berupa DED dan katalog kaca Asahimas, serta data primer berupa observasi lapangan dan wawancara. Kedua jalur ini saling melengkapi. Wawancara ahli menjadi tahap krusial dalam paper ini karena fungsinya adalah mengonfirmasi dan memvalidasi parameter dari studi literatur terhadap kondisi nyata di lapangan, serta diskusi terstruktur dengan tiga pihak kunci yaitu melibatkan arsitek perancang, vendor kaca, dan Ketua GBCI Yogyakarta yang juga berprofesi sebagai arsitek untuk mendapatkan perspektif teknis, estetika, serta regulasi hijau. Analisis deskriptif mensintesis seluruh data dari kedua jalur pengumpulan dan membandingkannya dengan temuan literatur serta membandingkan standar ideal dari literatur dengan masukan praktis dari para ahli di lapangan. Validasi parameter adalah output akhir analisis dengan menghasilkan rekomendasi penetapan skenario WWR dan 4 jenis kaca yang sudah terverifikasi secara teknis dan praktis. Rekomendasi desain selubung menjadi luaran akhir paper yang bisa digunakan sebagai dasar penelitian simulasi selanjutnya.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Validasi Rentang Window-to-Wall Ratio (WWR) untuk bangunan Hotel di Iklim Tropis

Hasil wawancara dengan ketiga narasumber mengonfirmasi bahwa penentuan rentang WWR tidak dapat dilakukan secara tunggal dan linier, melainkan harus mempertimbangkan orientasi fasad, jenis material kaca, serta standar regulasi yang berlaku. Hal ini sejalan dengan temuan Purwoko dan Purwanto (2022) yang menegaskan bahwa pengaruh WWR terhadap efisiensi energi sangat bergantung pada konteks iklim dan karakteristik selubung bangunan secara keseluruhan.

Dari perspektif sertifikasi bangunan hijau, Narasumber 2 memberikan acuan kuantitatif yang tegas mengenai batas WWR dalam sistem penilaian *GreenShip*. Beliau menyatakan:

"Bangunan yang akan disertifikasi dari GBCI atau GreenShip dengan rentang WWR 20-25% untuk mencapai level platinum dan perlu dilihat dari sisi passive desainnya juga. Bisa WWR di atas 30% tapi perlu memperhatikan jenis kaca yang harus

berbeda, harus Low-E, dengan sifat kaca yang mampu memasukkan cahaya tapi termalnya nggak masuk." (Narasumber 2).

Pernyataan ini memperkuat argumen yang telah dibangun dalam studi literatur, di mana Mangkuto et al. (2016), Purwoko & Purwanto (2022), dan Syukur et al. (2025) menemukan bahwa rentang 20-40% merupakan zona keseimbangan antara kebutuhan pencahayaan alami dan pengendalian beban pendinginan pada bangunan di iklim tropis. Beliau juga memberikan contoh nyata yang membuktikan bahwa WWR tinggi tidak selalu berarti kinerja energi yang buruk, dengan menyebutkan kasus Bandara Yogyakarta International Airport (YIA) yang berhasil meraih sertifikat *green building* dengan peringkat *gold* meskipun desain fasadnya hampir seluruhnya berbahan kaca.

Narasumber 1 sebagai arsitek perancang memberikan perspektif yang lebih operasional mengenai bagaimana keputusan WWR diambil dalam praktik desain nyata. Beliau menegaskan bahwa proses ini bersifat iteratif dan tidak pernah berjalan satu arah:

"Saya selalu menggunakan simulasi untuk menentukan desain jendela. Secara arsitektur luas jendela segini, kemudian supaya masuk, jenis kaca jendelanya pakai apa. Kalau kurang masuk, ya jendelanya dikecilin lagi. Kalau masih jelek, bisa dikasih shading. Jadi analisis dan keputusannya tidak linier tetapi selalu timbal balik."

(Narasumber 1)

Beliau juga mengonfirmasi bahwa dalam praktik, WWR yang berbeda antar orientasi fasad adalah pendekatan yang lazim diterapkan, khususnya dengan strategi memperkecil bukaan pada sisi yang paling banyak menerima paparan radiasi matahari:

"Klien biasanya menuntut penggunaan kaca yang seluas mungkin karena lebih keliatan 'WAH'.

Sedangkan dari sisi termal dan performance, semakin luas kaca semakin jelek performancenya. Maka, untuk trade off-nya membuat desain bukaan pada area barat dan timur sekecil mungkin."

(Narasumber 1)

Temuan ini memperkuat argumen Ahmed et al. (2025) yang menyatakan bahwa dampak WWR terhadap beban energi sangat bergantung pada orientasi jendela terhadap arah datangnya radiasi matahari. Dari sisi vendor kaca, juga mengonfirmasi relevansi orientasi fasad sebagai penentu utama strategi pemilihan material:

"Faktor menahan panas dilihat dari orientasi bangunan dan bukaan jendela. Orientasi Timur-Barat memerlukan treatment khusus dan hati-hati, tidak boleh asal." (Narasumber 3)

Berdasarkan sintesis ketiga sudut pandang tersebut, lima variasi WWR yang ditetapkan dalam penelitian ini yaitu 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60% dinilai valid dan representatif. Narasumber 2 secara khusus mengingatkan bahwa mereduksi WWR secara ekstrem pun bukan solusi yang tepat untuk tipologi hotel, karena keberadaan jendela menyangkut kualitas pengalaman tamu secara langsung:

"Apalagi kalau tidak ada jendelanya, nanti kesannya kayak penjara. Karena ini hotel, jadi ya harus ada jendelanya." (Narasumber 2)

Pernyataan ini menegaskan bahwa variasi WWR pada nilai tinggi (50% dan 60%) memiliki justifikasi yang kuat untuk tetap diuji, mengingat tuntutan estetika dan kenyamanan visual bangunan hotel yang lebih tinggi dibandingkan tipologi bangunan lainnya. Xue et al. (2019) juga mengonfirmasi bahwa pengujian pada rentang WWR yang lebar diperlukan untuk mengidentifikasi titik batas di mana keuntungan pencahayaan alami tidak lagi sebanding dengan beban panas yang ditimbulkan.

Tabel 5. Rangkuman Hasil Validasi Narasumber terhadap WWR Optimal

No.	Aspek Validasi	Narasumber 1	Narasumber 2	Narasumber 3	Kesimpulan
1	Rentang WWR optimal untuk hotel tropis	WWR 30%–60% sesuai untuk iklim tropis; meminimalkan panas matahari masuk	Tidak disebutkan namun ukuran WWR perlu memperhatikan jenis materialnya untuk keseimbangan pencahayaan alami dan beban pendinginan	WWR 20%-30% direkomendasikan agar <i>cooling load</i> tidak meningkat signifikan. WWR diatas 30% perlu mempertimbangkan jenis kaca	WWR optimal berada pada rentang 20%–60%.
2	Pengaruh WWR terhadap konsumsi energi beban pendinginan	Semakin besar WWR makin tinggi <i>cooling load</i>	WWR tinggi menyebabkan peningkatan konsumsi energi AC secara drastis.	Setiap kenaikan WWR dapat meningkatkan <i>cooling load</i> dan tergantung arah orientasi	WWR berbanding lurus dengan konsumsi energi pendinginan.
3	Pengaruh WWR terhadap kenyamanan visual	WWR terlalu rendah (<30%) mengurangi pencahayaan alami dan kenyamanan visual	Keseimbangan antara view dan silau penting; penambahan <i>shading device</i> bisa membantu	Pencahayaan alami yang cukup mengurangi kebutuhan lampu di siang hari	WWR minimal 20% diperlukan untuk memenuhi kenyamanan visual dan pencahayaan alami

Sumber: Analisis Penulis, 2026

Hasil validasi pada Tabel 5 menunjukkan kombinasi yang kuat antara perspektif para narasumber dengan temuan dari berbagai riset terdahulu. Kesepakatan ketiga narasumber bahwa peningkatan WWR berbanding lurus dengan beban pendinginan dikonfirmasi secara kuantitatif oleh Xue et al. (2019), yang menemukan bahwa pada bangunan hotel di wilayah lintang rendah Tiongkok, *cooling load* meningkat secara konsisten seiring kenaikan WWR, dengan nilai WWR referensi awal 0,32 (32%) tanpa *shading* eksternal. Purwoko dan Purwanto (2022) memperkuat hal ini melalui simulasi DOE-2.1E, yang menunjukkan tren penurunan konsumsi energi paling signifikan terjadi pada rentang WWR 40%–50%, sementara pengurangan WWR di bawah 30% justru memicu peningkatan beban pencahayaan buatan yang mengimbangi penghematan pendinginan — konsisten dengan pernyataan Narasumber 1 bahwa pengurangan WWR ekstrem bukan strategi tunggal yang optimal.

Dari aspek kenyamanan visual, rekomendasi para narasumber bahwa WWR minimal 20% diperlukan untuk memenuhi kualitas pencahayaan alami dan pandangan tamu hotel dikuatkan secara empiris oleh Mangkuto et al. (2016), yang menemukan bahwa

Validasi terhadap rentang WWR optimal dilakukan melalui wawancara mendalam kepada tiga narasumber yang memiliki keahlian di bidang yang relevan. Ketiga narasumber diminta untuk memberikan pandangan terhadap temuan literatur mengenai pengaruh WWR terhadap efisiensi energi dan kenyamanan penghuni pada bangunan di iklim tropis. Hasil validasi dari ketiga narasumber dirangkum pada Tabel 5 berikut, disertai konfirmasi dengan temuan riset terdahulu untuk memperkuat validitas setiap poin validasi.

Daylight Glare Probability (DGP) meningkat secara signifikan pada orientasi timur-barat dengan WWR lebih dari 50%, sehingga kombinasi antara pembatasan WWR dan pemilihan orientasi fasad yang tepat menjadi strategi yang paling efektif. Syukur et al. (2025) juga mengonfirmasi bahwa WWR terlalu rendah (<10%) justru menurunkan kualitas pencahayaan alami dan kenyamanan termal penghuni, mendukung argumen bahwa zona 20%–40% merupakan batas keseimbangan yang paling valid untuk tipologi hotel tropis.

Validasi Pemilihan Jenis Material Kaca

Jenis kaca yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari katalog PT Asahimas Flat Glass Tbk (2022) dan telah divalidasi melalui wawancara dengan para narasumber. Masing-masing jenis kaca dinilai relevan dari sisi ketersediaan di pasar lokal, keterjangkauan harga, dan kesesuaian dengan kondisi iklim tropis lembab di Surakarta.

Kaca *Low-E laminated* merupakan jenis kaca yang diposisikan sebagai baseline atau kaca dengan performa baik dalam penelitian ini. Dari pemilik perusahaan kaca (narasumber 3) mengonfirmasi posisi kaca ini paling laku pada bangunan Hotel:

"Pada bangunan Hotel paling laku sunergy. Biasanya permintaannya jenis kaca yang dari luar

juga bisa terlihat. Kalau warna selera, tergantung arsitek ingin performance yang seperti apa."

(Narasumber 3)

Narasumber 1 menambahkan bahwa dalam konteks proyek dengan anggaran terbatas, panasap menjadi pilihan yang masih bisa dipertimbangkan meskipun bukan yang paling direkomendasikan dari sisi kinerja termal:

"Jenis material kaca yang digunakan bermacam-macam tergantung dari kliennya, tergantung performance yang diinginkan. Semakin high performance harganya semakin tinggi, ada klien yang tidak mau karena modal yang mereka punya tidak cukup namun ada juga klien yang mau."

Makanya tergantung dengan projectnya. Jadi gabisa memutuskan jenis material kaca apa yang paling sering digunakan. Paling banyak digunakan kaca reflektif (stopsol) dan kaca Low-E."

(Narasumber 1)

Latifah dan Rahadian (2020) menyatakan bahwa kaca tinted seperti panasap memiliki kemampuan reduksi panas yang lebih baik dibandingkan kaca bening, namun masih jauh di bawah performa kaca Low-E maupun *double glazing*.

Pilihan kaca pertama adalah Panasap Blue Green (SC 0,63/U-Value 5,7 W/m²K) diposisikan sebagai kaca dengan performa termal terendah dalam penelitian ini. Dari pemilik perusahaan kaca (narasumber 3) mengonfirmasi posisi kaca ini dalam hierarki produk Asahimas dari sisi teknis dan harga:

"Kaca panasap atau tinted itu naik level setelah kaca clear. Kaca biasa yang berwarna saja tanpa ada coating-an."

(Narasumber 3)

Narasumber 1 menambahkan bahwa dalam konteks proyek dengan anggaran terbatas, panasap menjadi pilihan yang masih bisa dipertimbangkan meskipun bukan yang paling direkomendasikan dari sisi kinerja termal:

"Bangunan untuk kampus biasanya menggunakan kaca panasap atau kaca yang clear. Jadi tergantung harganya, tidak ada yang sudah ditentukan dari awal."

(Narasumber 1)

Selanjutnya, jenis material kaca Stopsol New Supersilver Dark Blue (SC 0,39 / U-Value 5,7 W/m²K) merupakan kaca reflektif dengan nilai SC terendah di antara keempat jenis kaca yang diuji. Narasumber 1 menyatakan bahwa kaca stopsol merupakan jenis yang paling sering direkomendasikan oleh arsitek dari sisi pengendalian panas matahari, meskipun tidak selalu diterima oleh klien karena pertimbangan harga:

"Arsitek pengennya menggunakan stopsol tapi kliennya tidak mau. Biasanya menampilkan energi performance dulu dari tiap jenis material kaca yang diajukan ke klien."

(Narasumber 1)

Narasumber 3 sebagai pemilik perusahaan kaca memberikan informasi teknis tambahan mengenai perbedaan antara dua jenis coating stopsol yang tersedia di pasar lokal dan implikasinya terhadap kinerja termal:

"Yang membedakan hanya SC-nya saja, U-Value-nya sama. Ada kasus proyek lain yang minta dibalik

atau coating sisi kedua di luar, jadi tidak ada privasi."

(Narasumber 3)

Utama dan Setyowati (2022) dalam penelitiannya mengonfirmasi bahwa kaca reflektif dengan SC rendah berkontribusi signifikan terhadap penurunan nilai OTTV bangunan bertingkat di Indonesia.

Sunergy Blue Green (SC 0,43 / U-Value 4,1 W/m²K) adalah satu-satunya kaca Low-E dalam daftar yang diuji dan memiliki nilai U-Value paling rendah di antara semua alternatif. Narasumber 3 secara tegas menyatakan posisi kaca ini sebagai produk yang paling relevan untuk konteks bangunan hotel:

"Pada bangunan Hotel paling laku sunergy."

Biasanya permintaannya jenis kaca yang dari luar juga bisa terlihat. Low-E atau Sunergy itu lebih bisa menahan panas dibandingkan panasap dan tidak punya sisi reflektifnya. Ada coating-an tapi tidak ada reflektornya."

(Narasumber 3)

Narasumber 3 juga memberikan bukti konkret dari studi kasus Hotel Alila Solo yang menunjukkan dampak nyata penggunaan Sunergy terhadap efisiensi operasional energi:

"Saat tamu datang untuk check-in jam 12, AC perlu dinyalakan dulu 3 jam sebelum jam check-in jika menggunakan material kaca yang biasa atau kaca bening. Tapi ketika menggunakan jenis kaca Sunergy, AC hanya perlu dinyalakan 2 atau 1,5 jam sebelum jam check-in, sehingga otomatis biaya penggunaan energinya akan berkurang. Bisa menghemat biaya sampai 30%."

(Narasumber 3)

Narasumber 2 juga secara khusus merekomendasikan kaca Low-E sebagai solusi teknis yang tepat ketika WWR dinaikkan di atas ambang efisiensi standar:

"Bisa WWR di atas 30% tapi perlu memperhatikan jenis kaca yang harus berbeda, harus Low-E, dengan sifat kaca yang mampu memasukkan cahaya tapi termalnya tidak masuk."

(Narasumber 2)

Pernyataan ini diperkuat oleh Hendinata et al. (2023) yang menemukan bahwa penerapan kaca Low-E pada bangunan apartemen bertingkat di Indonesia menghasilkan penurunan beban energi pendinginan yang signifikan dibandingkan kaca konvensional.

T-Sunlux Clear CS 150 (SC 0,54 / U-Value 5,7 W/m²K) merupakan kaca dengan nilai SC dan U-Value di antara Panasap dan Stopsol. Narasumber 3 memberikan catatan mengenai karakteristik visual kaca ini yang perlu menjadi pertimbangan dalam konteks hotel:

"T-Sunlux tampilan lebih ngejreng, biasanya digunakan di proyek bangunan bank. Biasanya untuk curtain wall, sisi dalamnya pekat banget dan jika dilihat lama-lama terasa pusing, apalagi saat malam hari."

(Narasumber 3)

Meskipun karakteristik visualnya kurang ideal untuk ruang kamar hotel, kaca ini tetap diikutsertakan dalam penelitian untuk memberikan rentang perbandingan yang lebih komprehensif. Secara keseluruhan, hasil validasi dari ketiga narasumber menempatkan Sunergy Blue Green sebagai pilihan yang paling direkomendasikan untuk bangunan hotel di iklim tropis, diikuti oleh Stopsol New Supersilver

Dark Blue, T-Sunlux Clear CS 150, dan Panasap Blue Green. Urutan ini konsisten dengan nilai SC masing-masing material, di mana semakin rendah nilai SC maka semakin efektif kaca tersebut dalam mengurangi perolehan panas matahari yang masuk ke dalam bangunan (Hajji dan Hilmi, 2021).

Untuk memperkuat rekomendasi pemilihan jenis kaca berdasarkan kajian literatur, dilakukan validasi melalui wawancara kepada ketiga narasumber yang

sama. Validasi ini difokuskan pada jenis kaca yang direkomendasikan, pengaruh pemilihan kaca terhadap penghematan energi, serta pertimbangan biaya dengan performa kaca. Hasil validasi narasumber terhadap pemilihan jenis material kaca disajikan pada Tabel 6 berikut, disertai konfirmasi dari riset terdahulu untuk memperkuat rekomendasi yang dihasilkan.

Tabel 6. Hasil Validasi Narasumber terhadap Pemilihan Jenis Kaca

No.	Aspek Validasi	Narasumber 1	Narasumber 2	Narasumber 3	Kesimpulan
1.	Jenis kaca yang direkomendasikan	Low-E glass paling efektif untuk iklim tropis karena keseimbangan U-Valua, SC, dan SHGC	WWR besar harus menggunakan kaca performa tinggi, seperti <i>Low-E glass</i> atau <i>double glazed</i>	<i>Low-E & double glazed</i> memberikan performa energi terbaik namun memerlukan modal yang besar	<i>Low-E glass</i> atau <i>sunergy</i> menjadi rekomendasi utama; <i>double glazed</i> untuk performa optimal
2.	Pengaruh terhadap penghematan energi	<i>Low-E glass</i> dapat mengurangi beban pendinginan dibanding dengan <i>clear glass</i>	Pemilihan kaca yang tepat berpengaruh signifikan pada biaya operasional jangka panjang	Penghematan energi pendinginan 25%–40% dapat dicapai dengan Low-E double glazed	Penghematan energi pendinginan berkisar 20%–40% dibandingkan menggunakan <i>clear glass</i>
3.	Pertimbangan biaya dengan performa kaca	Investasi awal lebih tinggi jika menggunakan kaca performa tinggi	Kaca performa tinggi membutuhkan modal biaya awal yang besar	Klien hotel perlu diedukasi mengenai jenis-jenis material kaca beserta dengan harganya	Kaca <i>Low E</i> dan <i>Double Glazing</i> memerlukan biaya awal lebih tinggi

Sumber: Analisis Penulis, 2026

Hasil validasi pada Tabel 6 menempatkan *Low-E glass (Sunergy)* sebagai rekomendasi utama dari seluruh narasumber, yang selaras dengan temuan dari berbagai studi kuantitatif terdahulu. Utama dan Setyowati (2022) membuktikan secara numerik melalui simulasi OTTV bahwa kaca reflektif dengan SC rendah menghasilkan nilai OTTV total terendah dan merupakan satu-satunya jenis kaca yang dapat memenuhi standar SNI 6389:2020, dengan selisih OTTV antara kaca performa tertinggi dan kaca clear mencapai ± 12 W/m² atau setara dengan penghematan energi sekitar 30%. Urutan performa ini konsisten dengan urutan rekomendasi narasumber dalam penelitian ini, yang menempatkan jenis kaca *Low-E* dan Stopsol di atas Panasap dari sisi kinerja termal.

Pernyataan Narasumber 3 mengenai potensi penghematan energi pendinginan sebesar 30% dengan penggunaan Sunergy pada Hotel Alila Solo memiliki keselarasan yang kuat dengan temuan Latifah dan Rahadian (2020), yang menyimpulkan bahwa kaca dengan SHGC tidak lebih dari 0,40 merupakan syarat minimum untuk mencapai OTTV di bawah ambang batas 45 W/m² pada bangunan di iklim tropis Indonesia. Sunergy Blue Green yang digunakan dalam penelitian ini memiliki SC 0,43 (setara SHGC \approx 0,37), yang tepat berada di bawah ambang kritis tersebut, sehingga secara teknis mendukung pencapaian standar efisiensi energi bangunan hijau di Indonesia.

Terkait pertimbangan biaya dengan performa, ketiga narasumber sepakat bahwa kaca berperforma tinggi seperti *Low-E* dan *double glazing* memerlukan investasi awal lebih besar. Namun, Pratama et al. (2025) membuktikan dalam studi Brilian Tower

bahwa strategi menggunakan kaca berperforma rendah seperti panasap tanpa shading menghasilkan OTTV hingga 111–118 W/m², jauh melampaui standar SNI 35 W/m², sehingga justru membutuhkan biaya tambahan yang jauh lebih besar untuk sistem pendingin dan pengendalian panas aktif. Temuan ini menegaskan bahwa investasi pada kaca berperforma tinggi merupakan keputusan yang lebih *cost-effective* secara jangka panjang, sejalan dengan pandangan Narasumber 2 yang menekankan pentingnya pertimbangan biaya operasional jangka panjang dalam pemilihan material fasad bangunan hotel.

Hubungan Timbal Balik antara WWR dan Pemilihan Kaca

Salah satu temuan paling penting dari proses validasi ini adalah konfirmasi bahwa keputusan mengenai WWR dan pemilihan material kaca bersifat saling bergantung dan tidak dapat dianalisis secara terpisah. Narasumber 1 menegaskan prinsip ini secara langsung:

"Iya, pasti ada pengaruhnya. Saya selalu menggunakan simulasi untuk menentukan desain jendela. Secara arsitektur luas jendela segini, kemudian supaya masuk, jenis kaca jendelanya pakai apa. Kalau kurang masuk, ya jendelanya dicek lagi. Jadi analisis dan keputusannya tidak linier tetapi selalu timbal balik. Kasus ini tidak berlaku hanya untuk kaca saja, tapi untuk shading juga." (Narasumber 1)

Pernyataan tersebut secara langsung memberikan arah yang jelas untuk tahapan simulasi berikutnya. Kaasalainen et al. (2020) dalam penelitiannya juga menyimpulkan hal yang serupa, bahwa desain jendela yang efisien secara energi membutuhkan

pendekatan integratif yang mempertimbangkan ukuran bukaan dan properti termal material. Salgude et al. (2024) lebih lanjut mengonfirmasi bahwa kombinasi antara konfigurasi WWR yang tepat dan pemilihan kaca yang sesuai merupakan strategi paling efektif untuk mencapai bangunan komersial dengan konsumsi energi rendah dan emisi CO₂ yang minimal.

Pertimbangan Konteks Lokal: Surakarta sebagai Kota Berkembang

Hasil wawancara juga mengungkapkan dimensi kontekstual yang spesifik terhadap karakteristik Surakarta sebagai kota berkembang. Narasumber 1 memperkirakan adanya perbedaan kemampuan adopsi material kaca berperforma tinggi antara proyek di kota besar dan kota berkembang:

"Saya bayangkan untuk bangunan-bangunan di kota kecil, mereka tidak memiliki dana untuk menggunakan kaca performa tinggi yang misalnya seperti, stopsol atau Low-E, paling mentok di panasap." (Narasumber 1)

Narasumber 3 mengonfirmasi hal ini dari perspektif permintaan pasar, dengan menyoroti bahwa perbedaan antara kota besar dan kota berkembang tidak hanya soal anggaran, tetapi juga menyangkut kondisi teknis seperti beban angin pada bangunan tinggi:

"Ada perbedaan, pada beban angin, lantai tinggi harus hati-hati, tergantung ukuran modulnya dan ketebalan kacanya. Tergantung kondisi kontur site-nya juga, semakin tinggi kondisi lahannya, semakin tinggi juga beban anginnya. Kusennya juga harus benar-benar kedap, tidak bisa sembarangan, karena bisa terjadi kebocoran." (Narasumber 3)

Kemudian ada penambahan lain dari narasumber 3 yang mengatakan bahwa jenis kaca low-E atau *sunergy* dapat menurunkan konsumsi energi operasional studi kasus pada Hotel Alila Solo:

"Saat tamu datang untuk check-in jam 12, AC perlu dinyalakan dulu 3 jam sebelum jam check-in jika

menggunakan material kaca yang biasa atau kaca bening. Tapi ketika menggunakan jenis kaca Sunergy, AC hanya perlu dinyalakan 2 atau 1,5 jam sebelum jam check-in, sehingga otomatis biaya penggunaan energinya akan berkurang. Bisa menghemat biaya sampai 30%." (Narasumber 3)

Perspektif ini konsisten dengan temuan Salgude et al. (2024) yang menyimpulkan bahwa investasi pada material kaca berperforma tinggi menghasilkan penghematan biaya operasional jangka panjang yang signifikan pada bangunan. Selain aspek termal, Beliau juga menambahkan dimensi akustik yang relevan untuk tipologi hotel yang berlokasi di kawasan perkotaan seperti Hotel Voyou:

"Case hotel di pinggir jalan yang ramai, contohnya seperti Hotel Mandarin di Bundaran HI, rate-nya bisa turun atau tidak menarik bagi tamu gara-gara bising dan kurang nyaman untuk tempat istirahat. Faktor yang perlu diperhatikan selain termal yaitu kebisingannya. Lebih baik kacanya dibuat double glass." (Narasumber 2)

Pernyataan ini membuka peluang yang relevan untuk penelitian lanjutan yang mempertimbangkan dimensi akustik sebagai variabel tambahan dalam optimasi selubung bangunan hotel, sekaligus memperkuat argumen bahwa pemilihan material kaca untuk tipologi hotel harus mempertimbangkan aspek kenyamanan penghuni secara holistik, tidak hanya terbatas pada efisiensi energi termal semata. Secara keseluruhan, penelitian ini menghasilkan sejumlah temuan utama yang diperoleh melalui triangulasi antara kajian literatur dan validasi narasumber ahli. Temuan-temuan tersebut mencakup aspek teknis maupun praktis yang dapat dijadikan pedoman dalam perancangan selubung bangunan hotel yang efisien energi di iklim tropis. Temuan-temuan utama penelitian ini disajikan pada Tabel 7, dilengkapi dengan dukungan empiris dari riset terdahulu untuk memperkuat validitas hasil validasi narasumber yang telah dilakukan.

Tabel 7. Ringkasan Temuan Utama Hasil Penelitian

No.	Temuan	Keterangan	Dukungan Riset Terdahulu
1.	WWR optimal untuk hotel tropis	Rentang WWR 20%–60% tergantung orientasi fasad bangunannya.	Xue et al. (2019): WWR referensi 0,32 untuk hotel lintang rendah; Mangkuto et al. (2016): WWR 30% optimal untuk iklim tropis; Purwoko & Purwanto (2022): penurunan energi paling signifikan pada WWR 40–50%; Syukur et al. (2025): WWR 20% optimal untuk kestabilan termal
2.	Jenis kaca paling efisien	<i>Low-E glass</i> memberikan keseimbangan terbaik antara SHGC, U-Value, dan SC rendah yang memadai untuk iklim tropis	Utama & Setyowati (2022): Stopsol (SC rendah) menghasilkan OTTV terendah; Latifah & Rahadian (2020): SHGC ≤ 0,40 sebagai syarat minimum green building tropis; Pratama et al. (2025): Low-E menghasilkan OTTV terbaik dibanding kaca panasap
3.	Potensi penghematan energi	Kombinasi WWR optimal dan Low-E glass dapat menghemat mencapai 30% konsumsi energi pendinginan dibandingkan penggunaan <i>clear glass</i> konvensional	Latifah & Rahadian (2020): penghematan AC signifikan dengan SHGC rendah; Purwoko & Purwanto (2022): penghematan energi rata-rata 8% dari perubahan WWR saja; Pratama et al. (2025): tanpa kaca berperforma tinggi, OTTV melampaui standar
4.	Validasi narasumber	Ketiga narasumber sepakat bahwa WWR dan pemilihan material kaca merupakan faktor dominan dalam efisiensi energi selubung bangunan hotel tropis	Ahmed et al. (2025): WWR dan glazing terbukti sebagai dua variabel paling berpengaruh terhadap cooling & heating load; Xue et al. (2019): WWR dan sunshade harus dioptimalkan secara bersamaan

Sumber: Analisis Penulis, 2026

Berdasarkan Tabel 7, dapat disimpulkan bahwa optimalisasi WWR dan pemilihan material kaca merupakan dua variabel desain yang saling berkaitan dan secara signifikan mempengaruhi efisiensi energi bangunan hotel di iklim tropis. Kombinasi antara hasil validasi narasumber dengan berbagai riset terdahulu yang disajikan dalam tabel ini memperkuat validitas temuan penelitian, sekaligus mengonfirmasi bahwa strategi desain selubung bangunan berbasis WWR dan pemilihan kaca berperforma tinggi merupakan pendekatan yang telah teruji secara empiris di berbagai konteks iklim panas dan tropis di Asia (Mangkuto et al., 2016; Xue et al., 2019; Ahmed et al., 2025; Purwoko & Purwanto, 2022). Dengan mengimplementasikan rekomendasi kombinasi WWR dan jenis kaca yang sesuai dengan orientasi fasad, bangunan hotel tidak hanya dapat mencapai efisiensi energi yang optimal tetapi juga memenuhi standar bangunan serta memberikan kenyamanan termal dan visual yang memadai bagi penghuninya.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil memvalidasi parameter desain selubung bangunan yang akan digunakan sebagai basis penelitian optimasi energi berikutnya, melalui integrasi antara studi literatur dan wawancara mendalam dengan tiga narasumber yang mewakili perspektif teknis, praktis, dan regulatif.

Dari sisi rentang WWR, hasil validasi mengonfirmasi bahwa lima variasi yang ditetapkan yaitu 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60% merupakan rentang yang representatif dan memiliki dasar teknis yang kuat. Rentang 20-40% merupakan zona efisiensi optimal yang didukung oleh standar GBCI GreenShip dan literatur ilmiah, sementara variasi 50% dan 60% penting untuk tetap diuji guna menginvestigasi dampak beban pendinginan pada kondisi desain hotel tinggi modern yang mengutamakan estetika bukaan lebar.

Dari sisi material kaca, keempat jenis kaca dari katalog PT Asahimas Flat Glass Tbk yaitu Panasap Blue Green, Stopsol New Supersilver Dark Blue, Sunergy Blue Green, dan T-Sunlux Clear CS 150 telah divalidasi sebagai pilihan yang relevan, tersedia di pasar lokal, dan representatif terhadap performa termal dari yang terendah hingga tertinggi. Sunergy Blue Green mendapat rekomendasi paling kuat dari seluruh narasumber untuk konteks hotel di iklim tropis karena memiliki U-Value terendah (4,1 W/m²K) dan SC yang rendah (0,43), disertai tampilan visual yang tidak reflektif sehingga tetap memberikan kualitas pandangan yang baik bagi tamu hotel.

Temuan paling mendasar dari proses validasi ini adalah konfirmasi bahwa keputusan mengenai WWR dan pemilihan material kaca bersifat saling bergantung dan harus dianalisis secara bersamaan. Peningkatan WWR tidak serta-merta menurunkan kinerja energi bangunan apabila diimbangi dengan material kaca berperforma tinggi yang tepat. Prinsip ini menjadi landasan ilmiah yang kuat bagi tahapan simulasi energi yang akan dilakukan pada penelitian selanjutnya.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada cakupan validasi yang belum menyentuh aspek simulasi kuantitatif, sehingga belum dapat menentukan nilai IKE secara numerik. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk melakukan simulasi energi menggunakan perangkat lunak seperti DesignBuilder atau EnergyPlus dengan parameter yang telah divalidasi dalam penelitian ini sebagai input utama, serta mempertimbangkan variasi orientasi fasad dan dimensi akustik sebagai variabel tambahan guna menghasilkan rekomendasi desain yang lebih spesifik dan aplikatif untuk bangunan Hotel Voyou di Surakarta.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis haturkan ke hadirat Allah SWT atas segala berkah dan kelancaran yang melimpah selama pelaksanaan penelitian ini. Penulis menyampaikan terima kasih yang mendalam kepada dosen pembimbing. Ungkapan apresiasi juga ditujukan kepada narasumber dari praktisi arsitektur, vendor material kaca, dan Ketua GBCI Yogyakarta atas kontribusi validasi data lapangan yang krusial, serta kepada keluarga dan rekan-rekan terdekat atas dukungan moral yang senantiasa menjadi kekuatan bagi penulis hingga terselesaikannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, A. E., Suwaed, M. Sh., Shakir, A. M., & Ghareeb, A. (2025). The Impact of Window Orientation, Glazing, and Window-To-Wall Ratio on The Heating and Cooling Energy Of an Office Building: The Case of Hot and Semi-Arid Climate. *Journal of Engineering Research*, 13(1), 409–422. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.10.034>
- Alwetaishi, M. (2025). Investigation of The Use of External Insulation Materials in Domestic Buildings in Hot Regions Considering Various Window-To-Wall Ratios (WWR). *Case Studies in Thermal Engineering*, 74, 106900. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2025.106900>
- Gilang Pratama, Johanita Anggia Rini, & Isyryn Yus Fauziah. (2025). Pengaruh Shading Eggcrate dan Penggunaan Kaca Panasap Guna Efisiensi Energi yang di Ukur dengan Nilai OTTV Bangunan Bertingkat Studi Kasus: Brilian Tower. *Jurnal Kendali Teknik Dan Sains*, 3(2), 01–17. <https://doi.org/10.59581/jkts-widyakarya.v3i2.4692>
- Hajji, A. M., & Hilmi, A. R. Z. (2021). Façade design modification in complying the Indonesia's national standard of energy conservation for tall building envelope – Case study: Green Office Park 9, Serpong, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 847(1), 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/847/1/012028>
- Hendinata, L. K., Siddiq, N. A., Fikri, A. I. R., Suprpto, M. A., & Prilia, R. (2023). Passive Window Energy Performance in Buildings: Modeling of Apartment Buildings in Indonesia. *Journal of Artificial Intelligence in Architecture*, 2(2), 1–12. <https://doi.org/10.24002/jarina.v2i2.6729>
- Kaasalainen, T., Mäkinen, A., Lehtinen, T., Moisio, M., & Vinha, J. (2020). Architectural Window Design and Energy Efficiency: Impacts on Heating, Cooling and Lighting Needs in Finnish Climates. *Journal of*

- Building Engineering*, 27, 100996.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100996>
- Latifah, N. L., & Rahadian, E. Y. (2020). Energy Saving Building Strategies through The Application of Solar Control Glass. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 8(2), 388.
<https://doi.org/10.26760/elkomika.v8i2.388>
- Mangkuto, R. A., Rohmah, M., & Asri, A. D. (2016). Design optimisation for window size, orientation, and wall reflectance with regard to various daylight metrics and lighting energy demand: A case study of buildings in the tropics. *Applied Energy*, 164, 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.046>
- Purwoko, G. H., & Purwanto, LMF. (2022). Pengaruh Window-To-Wall Ratio (WWR) dalam Meningkatkan Efisiensi Energi Bangunan. *Vitruvian: Jurnal Arsitektur, Bangunan Dan Lingkungan*, 11(2), 133. <https://doi.org/10.22441/vitruvian.2022.v11i2.004>
- Rana, Md. J., & Hasan, Md. R. (2020). The Effects of Thermal Insulation on Energy Consumption in Small Office Buildings in The Context of Subtropical Monsoon Climate. *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*, 3(4), 275–292. <https://doi.org/10.31462/jcemi.2020.04275292>
- Rana, Md. J., Hasan, Md. R., Sobuz, Md. H. R., & Sutan, N. M. (2021). Evaluation of Passive Design Strategies to Achieve NZEB in The Corporate Facilities: The Context of Bangladeshi Subtropical Monsoon Climate. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 39(4), 619–654. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-05-2020-0037>
- Salgude, R. R., Sawant, S. D., & Sakhare, V. (2024). Achieving Low Energy and Low CO2 Emission Through Effective Application of Window To Wall Ratio and Window Glass Considering Orientation. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 9(1), 40. <https://doi.org/10.1007/s41024-024-00391-w>
- Syafutri, R., Rahmawati, Y., & Suryabrata, J. A. (2025). Investigating Window Design Impact on OTTV Through BIM Modeling in Warm-Humid Cities. *Architecture and Engineering*, 10(3), 53–66. <https://doi.org/10.23968/2500-0055-2025-10-3-53-66>
- Syukur, A., Alifia Niza Salafy, & Yenni Yosita br Barus. (2025). Improving Thermal Efficiency Of Subsidized Houses Through Window-To-Wall Ratio Design. *Built Environment Studies*, 6(1). <https://doi.org/10.22146/best.v6i1.20979>
- Utama, H., & Setyowati, E. (2022). Optimalisasi Konservasi Energi Bangunan Bertingkat melalui Pilihan Material Kaca sebagai Fasad. *ARSITEKTURA*, 20(2), 353. <https://doi.org/10.20961/arst.v20i2.65099>
- Xue, P., Li, Q., Xie, J., Zhao, M., & Liu, J. (2019). Optimization of window-to-wall ratio with sunshades in China low latitude region considering daylighting and energy saving requirements. *Applied Energy*, 233–234, 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.027>
- Yetim, E., & Kazaz, A. (2024). The Effect of Opaque-Transparent Surface Ratio on Building Energy Performance. *Proceedings of the Creative Construction Conference 2024*, null-null. <https://doi.org/10.3311/CCC2024-134>