

OPTIMALISASI NILAI OVERALL THERMAL TRANSFER VALUE (OTTV) PADA SELUBUNG BANGUNAN MASJID SITI AISYAH MANAHAN SURAKARTA

OPTIMIZATION OF OVERALL THERMAL TRANSFER VALUE (OTTV) ON THE BUILDING ENVELOPE OF THE SITI AISYAH MOSQUE IN MANAHAN SURAKARTA

Diyah Aryani Nurhakim^(1*), Ronim Azizah⁽¹⁾, Nazal Syahrazat Tamimi⁽¹⁾

Penulis korespondensi: d300220219@student.ums.ac.id^(*)

⁽¹⁾ Program Studi Arsitektur, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 57169, Indonesia.

Abstract:

The Siti Aisyah Mosque in Manahan is known as the "Kotak Mosque," a reference to its shape, which is entirely covered in marble, creating a luxurious impression. The easiest way to remember it is the "Kotak Mosque." This mosque is a place of worship for the Muslim community, where the five daily prayers (hablum minallah) and the hablum minannas are performed religious and social studies. The mosque building is dominated by massive walls made of granite and reinforced concrete which cover an area of approximately 80% and the remaining 20% are glass openings. The type of material for the building envelope aims to protect excess heat in the building, such as the use of wall materials, glass, window sizes and roof types. This study aims to evaluate the Overall Thermal Transfer Value (OTTV) of the Siti Aisyah Mosque in Manahan based on SNI 6389: 2020. The calculation results show that the OTTV value on the East facade reaches 38.99 W/m² exceeding the maximum limit of 35 W/m². The OTTV value on the South facade reaches 32.25 W/m² and the West side reaches 20.54 W/m² which indicates that it is in accordance with the standard below the threshold of 32.25 W/m². Therefore, the modification simulation was carried out on the East side facade only with four sheath variables, namely changing the wall paint color to semi-gloss white, using 6 mm Cool Lite ST 108 Neutral glass, 8 mm Low-e Glass and 12 mm double glass. The results of the OTTV variable modification on the East side facade can result in a decrease in the total OTTV value from 30.6 W/m² to 27 W/m².

Keywords: tropical architecture, mosque, OTTV, building envelope.

Abstrak:

Bangunan Masjid Siti Aisyah di Manahan terkenal dengan nama Masjid Kotak yang memang identik dengan bentuk masjid tersebut yang seluruh bangunan ditutupi batu marmer yang menggambarkan kesan mewah. Masyarakat mengambil cara termudah untuk mengingat yaitu Masjid Kotak. Bangunan masjid ini merupakan bangunan ibadah khalayak masyarakat muslim dengan kegiatan *hablum minallah* yaitu sholat lima waktu dan *hablum minannas* yaitu kajian sosial keagamaan. Bangunan masjid ini didominasi oleh dinding masif berupa granit dan beton bertulang yang mencakup luas bidang sekitar 80% dan 20% sisanya merupakan bukaan kaca. Jenis material untuk selubung bangunan bertujuan untuk memproteksi panas berlebih dalam bangunan, seperti pada penggunaan material dinding, kaca, ukuran jendela dan tipe atap. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) Masjid Siti Aisyah di Manahan berdasarkan SNI 6389:2020. Hasil perhitungan menunjukkan nilai OTTV pada fasad fasad sisi Timur mencapai 38,99 W/m² melebihi batas maksimal yaitu 35 W/m². Nilai OTTV pada fasad sisi Selatan mencapai 32,25 W/m² dan sisi Barat mencapai 20,54 W/m² yang menunjukkan sudah sesuai standar dibawah ambang batas yaitu mencapai 32,25 W/m². Oleh karena itu simulasi modifikasi dilakukan pada fasad sisi Timur saja dengan empat variabel selubung yaitu perubahan warna cat dinding menjadi putih semi kilap, penggunaan kaca *Cool Lite ST 108 Neutral* 6 mm, *low-e Glass* 8 mm dan *double glass* 12 mm. Hasil modifikasi variabel OTTV pada fasad sisi Timur dapat menghasilkan penurunan nilai OTTV total dari 30,6 W/m² menjadi 27 W/m².

Kata-kunci: arsitektur tropis, masjid, OTTV, selubung bangunan.

1. PENDAHULUAN

Selubung bangunan merupakan komponen utama yang berfungsi sebagai penghalang perpindahan panas antara lingkungan luar dan dalam

bangunan. Parameter yang secara luas digunakan untuk mengukur performa termal selubung bangunan adalah Overall Thermal Transfer Value (OTTV), yaitu indikator yang mengukur besarnya

perpindahan panas rata-rata melalui dinding opak dan bukaan kaca akibat konduksi maupun radiasi matahari [1]. Berdasarkan SNI 6389:2020, nilai maksimum OTTV yang diperbolehkan pada bangunan ber-AC adalah 35 W/m², dan pemenuhan standar ini merupakan syarat utama dalam sertifikasi bangunan hijau di Indonesia [2]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa banyak bangunan publik di Indonesia belum mengevaluasi nilai OTTV secara optimal sehingga performa termal selubung bangunan tidak diketahui dengan pasti, dan hal ini berpotensi meningkatkan beban energi pendinginan secara keseluruhan [3].

Nilai OTTV suatu bangunan sangat dipengaruhi oleh komponen desain selubung bangunan, antara lain *Window to Wall Ratio* (WWR), jenis material dinding, jenis kaca, nilai transmitansi termal (U-value), *Solar Heat Gain Coefficient* (SHGC), dan keberadaan elemen peneduh (*shading device*) [4]. Bangunan dengan persentase bukaan kaca yang besar tanpa perlindungan peneduh cenderung memiliki nilai OTTV yang jauh melampaui batas standar yang ditetapkan [5]. Penelitian pada berbagai tipologi bangunan gedung menunjukkan bahwa penggantian material kaca konvensional dengan kaca berperforma tinggi, seperti kaca *low-e* atau reflektif, mampu menurunkan nilai OTTV secara signifikan [6].

Masjid Siti Aisyah Manahan Surakarta dipilih sebagai objek studi dengan beberapa pertimbangan yang saling berkaitan. Pertama, masjid ini merupakan fasilitas ibadah yang melayani komunitas muslim secara intensif, mencakup kegiatan sholat berjamaah lima waktu, kegiatan pendidikan keagamaan, dan aktivitas sosial kemasyarakatan. Kedua, selubung bangunan masjid ini didominasi oleh dinding masif berupa granit dan beton bertulang yang mencakup sekitar 80% luas total fasad, sementara sekitar 20% sisanya merupakan bukaan kaca lembaran tunggal tanpa elemen peneduh komposisi yang menjadikan absorptansi permukaan dinding sebagai variabel termal dominan dan sekaligus membuka peluang intervensi desain pasif yang efisien.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini berfokus pada evaluasi performa termal selubung Masjid Siti Aisyah Manahan Surakarta menggunakan indikator OTTV berdasarkan SNI 6389:2020, disertai simulasi modifikasi material selubung bangunan untuk mengidentifikasi strategi

paling efektif dalam menurunkan nilai OTTV [7]. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi nilai OTTV kondisi eksisting dan menganalisis pengaruh modifikasi material selubung terhadap penurunan beban panas bangunan. Apabila nilai OTTV berhasil diturunkan melalui strategi yang diidentifikasi, Manfaat nyata yang diharapkan bagi Masjid Siti Aisyah mencakup: (1) berkurangnya beban panas yang masuk ke dalam ruang sholat sehingga sistem pendingin udara bekerja lebih ringan dan konsumsi listrik operasional masjid dapat ditekan; (2) meningkatnya potensi kenyamanan termal jamaah, terutama pada fasad timur yang menerima radiasi matahari pagi bertepatan dengan waktu sholat subuh dan aktivitas pagi; serta (3) terbukanya peluang bagi masjid ini untuk memenuhi persyaratan sertifikasi bangunan hijau berbasis SNI, yang dapat menjadikannya percontohan penerapan efisiensi energi pada tipologi bangunan ibadah di Indonesia.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Arsitektur Tropis

Arsitektur tropis merupakan pendekatan perancangan bangunan yang secara sistematis merespons kondisi iklim panas lembap melalui pengendalian radiasi matahari, optimalisasi ventilasi alami, dan pemilihan material selubung yang mampu mereduksi perpindahan panas ke dalam bangunan [8]. Di wilayah tropis seperti Indonesia, strategi desain pasif menjadi krusial karena suhu udara tinggi, kelembapan relatif besar, dan intensitas radiasi matahari yang berlangsung sepanjang tahun menciptakan tekanan termal yang terus-menerus pada selubung bangunan.

Secara tipologis, arsitektur tropis dapat dibedakan berdasarkan respons dominan terhadap iklim [8][9]:

- a. Tipe masif-tertutup: menggunakan dinding tebal dengan massa termal tinggi untuk memperlambat perpindahan panas; cocok untuk material batu atau beton ekspos. Waktu tunda (*time lag*) termal yang panjang membuat panas luar tidak segera masuk ke ruang dalam.
- b. Tipe ringan-terbuka: mengutamakan ventilasi silang melalui bukaan besar; efektif di kawasan dengan angin dominan, namun rentan terhadap radiasi matahari langsung jika tidak dilengkapi elemen peneduh.
- c. Tipe hibrid: menggabungkan massa termal pada dinding opak dengan bukaan terkontrol dan

elemen peneduh; paling umum diterapkan pada bangunan publik modern di Indonesia.

Masjid Siti Aisyah Manahan termasuk dalam kategori tipe hibrid: dinding luar didominasi granit dan beton bertulang (massa termal tinggi) dengan bukaan kaca lembaran tunggal pada orientasi selatan dan timur. Beberapa faktor menjadi tantangan utama dalam pengendalian panas pada bangunan tropis [9] [10]:

- a. Radiasi matahari langsung intensitas radiasi horizontal dapat mencapai lebih dari 400 W/m^2 di kota-kota Indonesia (Tabel SF SNI 6389:2020), dengan variasi signifikan antar orientasi fasad.
- b. Absorbtansi permukaan material gelap atau permukaan dengan absorbtansi tinggi ($\alpha > 0,7$) menyerap sebagian besar radiasi dan menghantarkannya ke dalam ruang melalui konduksi.
- c. Transmisi radiasi melalui kaca kaca transparan tanpa peneduh ($SC = 1,0$) meneruskan hampir seluruh radiasi matahari yang datang, menjadikannya komponen paling kritis pada bangunan dengan bukaan luas.
- d. Konduksi melalui dinding opak bergantung pada nilai transmitansi termal (U_w), ketebalan, dan komposisi lapisan material dinding.
- e. Orientasi fasad fasad timur dan barat menerima radiasi matahari pagi dan sore dengan sudut datang rendah yang sulit dihalangi oleh elemen peneduh horizontal.

Dari faktor-faktor di atas, terdapat beberapa celah intervensi desain pasif yang dapat dimanfaatkan arsitek untuk menurunkan nilai OTTV [4][6][10]:

- a. Penurunan absorbtansi permukaan dinding (α) penggunaan cat atau finishing berwarna terang secara signifikan mengurangi beban konduksi pada dinding opak, yang pada bangunan bermassa dinding besar memberikan dampak paling luas.
- b. Penggantian jenis kaca kaca *low-e*, reflektif, atau *selective coating* memiliki nilai SC dan U_f lebih rendah dibanding kaca bening tunggal, sehingga mengurangi transmisi radiasi dan konduksi melalui bukaan.
- c. Penambahan elemen peneduh (*shading device*) *overhang* horizontal efektif untuk fasad selatan, sedangkan *vertical fin* lebih efektif untuk fasad timur dan barat; keduanya menurunkan nilai SC efektif tanpa mengganti material kaca.

- d. Optimasi *Window-to-Wall Ratio* (WWR) mereduksi proporsi bukaan kaca pada orientasi dengan radiasi tinggi secara langsung mengurangi komponen radiasi dan konduksi kaca dalam formula OTTV.
- e. Pemilihan material dinding dengan massa termal tinggi memperpanjang *time lag* sehingga puncak panas tidak terjadi bersamaan dengan jam operasional bangunan.
- f. Pada penelitian ini, intervensi yang disimulasikan difokuskan pada poin 1 dan 2 yakni perubahan absorbtansi dinding dan penggantian jenis kaca karena kedua variabel tersebut dapat diterapkan tanpa mengubah struktur atau geometri bangunan yang sudah terbangun.

2.2. Masjid Tropis

Masjid merupakan bangunan ibadah umat Islam yang berfungsi sebagai tempat pelaksanaan kegiatan keagamaan, pendidikan, dan aktivitas sosial kemasyarakatan [9]. Di iklim tropis, masjid memiliki beberapa karakteristik khas berikut:

- a. Volume ruang besar dan langit-langit tinggi ruang sholat utama umumnya dirancang dengan ketinggian plafon yang signifikan untuk menampung jamaah dalam jumlah besar, menciptakan volume udara panas yang besar dan mempersulit pendinginan mekanis.
- b. Kepadatan pengguna yang sangat fluktuatif masjid dapat kosong di luar waktu sholat dan penuh sesak pada sholat Jumat atau Ramadan, menghasilkan fluktuasi beban panas internal yang ekstrem dan tidak dapat diprediksi dengan pola stabil seperti bangunan kantor.
- c. Beban panas internal tinggi saat berjamaah kepadatan tubuh manusia pada ruang sholat menghasilkan panas metabolik yang signifikan, yang bersinergi dengan panas selubung bangunan dan memperburuk kondisi termal ruang jika selubung tidak dioptimalkan.
- d. Dominasi dinding masif berbeda dari bangunan komersial yang cenderung bermuka kaca (*full glazing*), masjid umumnya memiliki proporsi dinding opak yang tinggi karena kebutuhan privasi, akustik ibadah, dan estetika arsitektur Islam. Kondisi ini menjadikan absorbtansi permukaan dinding sebagai variabel termal yang paling dominan.
- e. Keterbatasan operasional pendingin mekanis sebagian masjid, khususnya di Indonesia,

beroperasi tanpa AC atau dengan AC terbatas, menjadikan performa termal selubung bangunan sebagai satu-satunya pengendali kenyamanan termal pengguna [11].

Dari perspektif OTTV, karakteristik di atas menempatkan masjid sebagai tipologi bangunan yang perlu mendapat perhatian khusus: beban panas selubung yang tidak terkelola dengan baik berpotensi langsung mempengaruhi kenyamanan jamaah dalam menjalankan ibadah. Masjid Siti Aisyah berlokasi di Jalan Menteri Supeno No. 17, Manahan, Kecamatan Banjarsari, Kota Surakarta, Jawa Tengah. Bangunan ini merupakan masjid komunitas yang melayani jamaah dari kawasan permukiman dan fasilitas olahraga di sekitar Stadion Manahan, sehingga intensitas penggunaan bangunan relatif tinggi dan beragam sepanjang pekan.

Bangunan masjid terdiri dari empat lantai dengan total luas bangunan $\pm 2.775 \text{ m}^2$ di atas lahan $\pm 925 \text{ m}^2$: lantai basement (kantor takmir, ruang pompa), lantai dasar (ruang sholat utama pria, area wudu), lantai mezzanine (ruang pertemuan, TPA), dan lantai 2 (ruang sholat wanita). Tampilan arsitektur bangunan berkarakter kontemporer-minimalis dengan dominasi material beton ekspos dan granit abu-abu pada fasad, dikombinasikan dengan bukaan kaca lembaran tunggal pada sisi selatan dan timur.

Dari sisi termal, selubung bangunan Masjid Siti Aisyah memiliki beberapa karakteristik yang menjadikannya relevan sebagai objek evaluasi OTTV: (1) sekitar 80% luas total fasad merupakan dinding masif granit dan beton tanpa bukaan, menjadikan absorptansi permukaan sebagai variabel dominan; (2) kaca yang digunakan merupakan kaca bening tunggal tanpa elemen peneduh (*shading coefficient* $SC = 1,0$), yang pada fasad timur berpotensi menghasilkan beban radiasi tinggi pada waktu sholat subuh dan aktivitas pagi; serta (3) bangunan belum pernah dievaluasi secara formal menggunakan indikator OTTV, sehingga status pemenuhan SNI 6389:2020 belum diketahui. Evaluasi ini diharapkan dapat menjadi dasar rekomendasi desain pasif yang konkret dan dapat diterapkan pada bangunan yang sudah terbangun.

2.3. Overall Thermal Transfer Value (OTTV)

Overall Thermal Transfer Value (OTTV) berfungsi untuk mengontrol perpindahan panas dari lingkungan luar menuju lingkungan dalam bangunan melalui selubung bangunan. Konsep OTTV

mencakup tiga elemen dasar perpindahan panas melalui selubung luar bangunan yaitu: (1) Konduksi panas melalui dinding tidak tembus cahaya, (2) Konduksi panas melalui kaca, dan (3) Transmisi radiasi matahari melalui kaca. Nilai OTTV dinyatakan dalam satuan W/m^2 dan digunakan sebagai indikator standar efisiensi termal selubung bangunan [12]. Berdasarkan SNI 6389:2020, nilai OTTV maksimum yang diperbolehkan pada bangunan ber-AC di Indonesia adalah 35 W/m^2 ; semakin kecil nilai OTTV maka semakin baik performa termal bangunan karena panas yang masuk ke dalam ruang menjadi lebih rendah [3].

Perhitungan OTTV dipengaruhi oleh beberapa komponen utama, yaitu nilai transmitansi termal dinding (U_w), luas bukaan kaca yang dinyatakan sebagai *Window to Wall Ratio* (WWR), nilai transmitansi termal kaca (U_f), *Solar Heat Gain Coefficient* (SHGC) kaca, serta faktor peneduhan dari *shading device* [4]. Penggunaan material selubung bangunan dan luas bukaan kaca sangat mempengaruhi besarnya perpindahan panas ke dalam bangunan sehingga berdampak pada konsumsi energi pendinginan ruang. Bangunan dengan bukaan kaca yang besar tanpa perlindungan *shading* cenderung memiliki nilai OTTV yang lebih tinggi dibandingkan bangunan dengan desain selubung yang responsif terhadap iklim tropi. Rumus 1 dan 2 merupakan perhitungan OTTV berdasarkan SNI 6389:2020 [12].

$$OTTV = \alpha[U_w \times (1 - WWR) \times TDEK] + (U_f \times WWR \times \Delta T) + (SC \times WWR \times SF) \quad (1)$$

dimana;

OTTV: Nilai perpindahan termal menyeluruh pada dinding luar yang memiliki arah atau orientasi tertentu (W/m^2); α = Absorptansi radiasi matahari (Tabel 1 dan 2); U_w = Transmittan termal dinding tidak tembus cahaya ($\text{W/m}^2\text{K}$); WWR = Perbandingan luas jendela dengan luas seluruh dinding luar pada orientasi yang ditentukan; $TDEK$ = Beda temperatur ekuivalen (K) (lihat Tabel 8); SF = Faktor radiasi matahari (W/m^2); SC = Koefisien peneduh dari sistem fenestration; U_f = Transmittan termal fenestration ($\text{W/m}^2\text{K}$); dan ΔT = Beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan bagian dalam (diambil 5 K).

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

dimana:

OTTV = Nilai perpindahan termal rata-rata pada seluruh dinding luar bangunan (W/m^2); A_{oi} = Luas bagian dinding luar ke-i, termasuk luas dinding tidak tembus cahaya dan luas fenestration pada bagian tersebut (m^2); $OTTV_i$ = Nilai perpindahan termal menyeluruh pada bagian dinding luar ke-i (W/m^2); dan i = Indeks bagian atau orientasi dinding luar yang dihitung.

Tabel 1. Nilai absorbtansi radiasi matahari untuk dinding luar dan atap tidak transparan [12]

Bahan Dinding Luar	α
Ubin putih	0,58

Tabel 2. Nilai Absorbansi Radiasi Matahari untuk Cat Permukaan Dinding Luar[12]

Cat Permukaan Dinding Luar	α
Abu-abu biru tua	0,88

Tabel 3. Nilai U Untuk Kusen Jendela [12]

Bahan Dasar Kusen	Nilai U (W/m ² K)
Kayu	3.0

Tabel 4. Nilai R Lapisan Udara Permukaan Untuk Dinding dan Atap [12]

Jenis permukaan		Resistans Termal R (m ² .K/W)
Permukaan dalam (R _{UP})	Emisivitas tinggi ¹⁾	0,120
	Emisivitas rendah ²⁾	0,299
Permukaan luar (R _{UL})	Emisivitas tinggi	0,044
1) Emisivitas tinggi adalah permukaan halus yang tidak mengkilap (non reflektif)		
2) Emisivitas rendah adalah permukaan dalam yang sangat reflektif, seperti aluminium foil		

Tabel 5. Nilai k Bahan Bangunan [12]

No	Bahan Bangunan	Densitas (kg/m ³)	k (W/m.K)
1	Beton	2400	1,448
2	Beton ringan	960	0,303
3	Bata dengan lapisan plester	1760	0,807
4	Plesteran pasir semen	1837	0,533
5	Kaca lembaran	2512	1,053
6	Granit	2640	2,927

Tabel 6. Nilai R Lapisan Rongga Udara [12]

No	Jenis Celah Udara	Resistansi Termal (m ² K/W)			
		5 mm	10 mm	100 mm	
1	Rr untuk dinding Rongga udara vertikal (aliran panas secara horizontal)				
	1. Emisivitas tinggi	0,110	0,148	0,160	
	2. Emisivitas rendah	0,250	0,578	0,606	
2	Rr untuk atap Rongga udara horizontal/miring (aliran panas ke bawah)				
	Rongga udara horizontal	0,110	0,148	0,174	
	Emisivitas tinggi	Rongga udara kemiringan 22½°	0,110	0,148	0,165
	Rongga udara kemiringan 45°	0,110	0,148	0,158	

Tabel 7. Beda Temperatur Ekuivalen Untuk Dinding [12]

Berat/satuan luas (kg/m ²)	TD _{Ek}
Kurang dari 125	15
126 - 195	12
Lebih dari 195	10

Tabel 8. Faktor Radiasi Matahari (SF, W/m²) di Kota Yogyakarta [12]

U	TL	T	TGR	S	BD	B	BL	R
152	168	170	130	105	139	178	168	380

Untuk daerah yang tidak tersebut dalam tabel, merujuk ke daerah terdekat atau yang kondisi cuacanya mirip yang ada ditabel.

Keterangan

U: Utara; TL: Timur Laut; T: Timur; TGR: Tenggara; S: Selatan; BD: Barat Daya; B: Barat; BL: Barat Laut; R: Roof

3. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan rancangan evaluatif-komparatif. Evaluasi dilakukan untuk menilai performa termal selubung bangunan Masjid menggunakan OTTV sebagai indikator kinerja termal selubung bangunan berdasarkan SNI 6389:2020. Komparasi dilakukan melalui simulasi skenario modifikasi material selubung bangunan untuk membandingkan efektivitas masing-masing alternatif dalam menurunkan nilai OTTV terhadap kondisi eksisting. Pengumpulan data dilakukan pada November 2024 melalui observasi lapangan, pengukuran dimensi bangunan, dokumentasi visual, dan identifikasi material penyusun selubung bangunan.

3.1 Objek Penelitian

Obyek penelitian adalah Masjid Siti Aisyah yang berlokasi di Jalan Menteri Supeno No.17, Manahan, Kecamatan Banjarsari, Kota Surakarta (Gambar 1). Bangunan memiliki luas lahan ±925 m² dan luas bangunan ±2.775 m² dengan material dominan berupa beton, granit, dan kaca. Penelitian difokuskan pada evaluasi selubung bangunan yang terekspos langsung terhadap radiasi matahari, yaitu fasad selatan, timur, dan barat.



Gambar 1. Kondisi Eksisting Masjid Siti Aisyah

3.2 Jenis Data dan Variabel Penelitian

Variabel penelitian pada penelitian yang dijelaskan pada Tabel 9 diperoleh dari data primer dan data sekunder. Data primer dikumpulkan melalui pengukuran lapangan dan dokumentasi kondisi eksisting, meliputi dimensi selubung bangunan, luas bukaan, orientasi fasad, serta jenis dan ketebalan material dinding dan kaca. Data sekunder bersumber dari SNI 6389:2020 dan literatur terkait, mencakup nilai konduktivitas termal, absorptansi, shading coefficient, faktor radiasi matahari untuk Yogyakarta sebagai kota referensi terdekat dari Surakarta, serta beda temperatur ekuivalen berdasarkan bobot dinding.

Tabel 9. Variabel Penelitian

Jenis Variabel	Variabel	Keterangan
Terikat	Nilai OTTV (W/m^2)	Indikator performa termal selubung bangunan; ambang batas maksimum 35 W/m^2 sesuai SNI 6389:2020
Bebas	Absorbtansi permukaan dinding (α)	Dimodifikasi melalui perubahan warna cat dinding
	Jenis kaca (SC dan transmitansi termal Uf)	Dimodifikasi melalui simulasi penggantian tipe kaca
Terkontrol	Dimensi bangunan, WWR, orientasi fasad, SF	Tetap sesuai kondisi eksisting selama simulasi

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Data penelitian dikumpulkan melalui observasi lapangan untuk mengidentifikasi kondisi fisik bangunan dan elemen selubung, pengukuran dimensi bangunan untuk memperoleh luas dinding, luas bukaan, dan nilai *window-to-wall ratio* (WWR), serta dokumentasi visual kondisi eksisting. Identifikasi material bangunan dilakukan berdasarkan hasil observasi lapangan, sedangkan nilai termalnya mengacu pada SNI 6389:2020.

3.4 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dilakukan melalui perhitungan OTTV pada masing-masing orientasi fasad berdasarkan parameter sesuai SNI 6389:2020. Hasil perhitungan setiap orientasi kemudian dibobotkan berdasarkan luas bidang selubung untuk memperoleh nilai OTTV total bangunan. Setelah itu dilakukan simulasi modifikasi material selubung berupa perubahan warna permukaan dinding dan penggunaan jenis kaca berbeda untuk mengevaluasi alternatif penurunan nilai OTTV bangunan.

Analisis data dilakukan dalam dua tahap: tahap pertama perhitungan OTTV Kondisi Eksisting.

Nilai OTTV dihitung pada masing-masing orientasi fasad (selatan, timur, barat) menggunakan formula SNI 6389:2020. Hasil perhitungan per orientasi kemudian dibobotkan berdasarkan luas bidang selubung masing-masing untuk memperoleh nilai OTTV total bangunan. Nilai OTTV total ini selanjutnya dibandingkan terhadap ambang batas maksimum sebesar 35 W/m^2 yang ditetapkan SNI 6389:2020 sebagai standar konservasi energi selubung bangunan gedung ber-AC di Indonesia.

Tahap kedua simulasi modifikasi material selubung. Simulasi dilakukan dengan mengubah nilai variabel bebas secara bergantian sambil mempertahankan seluruh parameter lainnya tetap sesuai kondisi eksisting. Empat skenario modifikasi yang diuji adalah:

- Perubahan warna cat dinding menjadi putih semi kilap ($\alpha = 0,30$);
- Penggantian kaca dengan double glass 12 mm ($U_f \approx 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$);
- Penggantian kaca dengan Cool Lite ST 108 Neutral 6 mm ($SC \approx 0,41$); Penggantian kaca dengan Low-e Glass 8 mm ($U_f \approx 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$; $SC \approx 0,55$).
- Efektivitas setiap skenario diukur berdasarkan persentase penurunan nilai OTTV total dibandingkan kondisi eksisting, kemudian dibandingkan satu sama lain untuk mengidentifikasi strategi modifikasi yang paling efektif.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

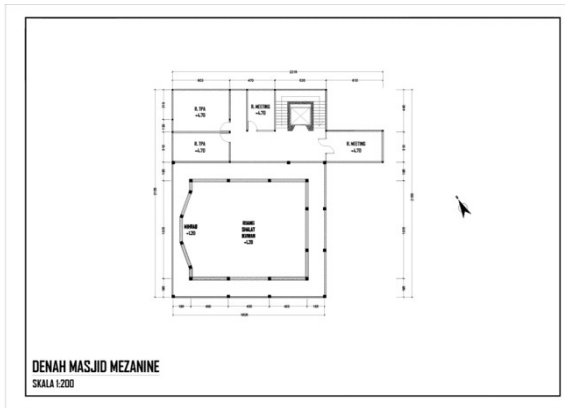
4.1 Kondisi Eksisting Bangunan

Masjid Siti Aisyah terdiri dari empat lantai: basement (kantor, ruang takmir, ruang pompa), ground (ruang sholat utama pria, wudhu pria, taman), lantai 1/*mezzanine* (ruang meeting, TPA, toilet), dan lantai 2 (ruang sholat wanita, wudhu wanita) (Gambar 2). Fasad bangunan didominasi beton ekspos dan granit abu-abu dengan kombinasi kaca transparan pada sisi Selatan dan Timur (Tabel 10).

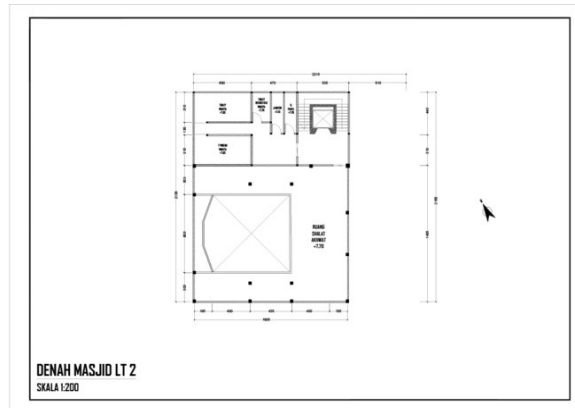
4.2 Perhitungan OTTV

Perhitungan OTTV dilakukan pada tiga orientasi fasad yang terekspos radiasi matahari langsung. Proses perhitungan ini dilakukan dengan pada area bangunan masjid yang terkondisi yang kemudian dilanjutkan dengan perhitungan OTTV pada masing-masing fasad (Gambar 3). Pada Gambar 3a-3b menunjukkan ilustrasi perhitungan area fasad pada masing-masing fasad dengan

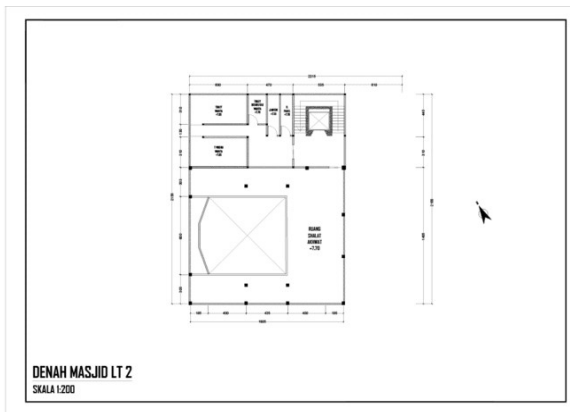
(a) Lantai 1



(b) Lantai Mezanine



(c) Lantai 2



(d) Eksterior Masjid



Gambar 2. Kondisi Fisik Masjid Siti Aisyah, (a) Lantai 1; (b) Lantai Mezanine, (c) Lantai 2, dan (d) Eksterior Masjid

Tabel 10. Material Selubung Bangunan

Elemen Bangunan	Material	k (W/m ² ·K)	Tebal (mm)	Keterangan
Dinding Luar	Granit	2,927	12	Lapisan finishing luar dan dalam
Dinding Dalam	Beton	1,448	200	Struktur dinding.
Jendela / Fasad	Kaca Lembaran Tunggal	1,053	8	Bukaan kaca fasad.
Plafond	Gypsum	-	-	Mengalami kebocoran dan jamur.
Lantai	Marmer / Granit	-	-	Finishing lantai.

perhitungan mendetail pada masing-masing area yang mencakup perhitungan fisik dinding fasad yaitu lebar dinding, tinggi dinding, total luas dinding. Selain itu juga mencakup perhitungan fisik transmittan yaitu lebar kaca, tinggi kaca, total luas kaca, dan WWR. Hasil perhitungan tersebut kemudian dilanjutkan untuk menghitung OTTV menggunakan parameter utama yang digunakan tersaji pada Tabel 11-14.

Berdasarkan hasil perhitungan *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) pada masing-masing orientasi bangunan, diperoleh nilai OTTV sisi selatan sebesar 32,2527 W/m², sisi timur sebesar 38,9937 W/m², dan sisi barat sebesar 20,5422 W/m² (Tabel 15-16). Setelah dilakukan pembobotan berdasarkan luas selubung bangunan tiap orientasi, diperoleh nilai OTTV total sebesar 30,6 W/m².

Tabel 11. Transmittan Termal Dinding - Uw

Lapisan	Tebal (m)	k (W/m·K)	R = t/k (m²K/W)
Udara luar (Rul)	-	-	0,0440
Granit 12mm	0,012	2,927	0,0041
Plesteran pasir semen 12mm (Tabel 5)	0,012	0,533	0,0225
Beton 200mm (Tabel 5)	0,200	1,448	0,1381
Plesteran pasir semen 12mm (Tabel 5)	0,012	0,533	0,0225
Granit 12mm	0,012	2,927	0,0041
Udara dalam (Rup)	-	-	0,1200
R Total			0,3553
Uw = 1 / R Total			2,814 W/m²K

Tabel 12. Transmittan Termal Kaca - Uf

Lapisan	R (m²K/W)
Udara luar (Rul)	0,0440
Kaca 8mm	0,0076
Udara dalam (Rup)	0,1200
R Total Kaca	0,1716 m²K/W
Uf = 1 / 0,1716	5,828 W/m²K

Tabel 13. Parameter Input Perhitungan OTTV

Parameter	Nilai	Dasar Acuan
α (absorbtansi dinding)	0,730	[Tabel 1 & 2, rerata tanpa SRI]
SC (kaca bening 8mm)	1,0	SNI
TDEK	10 K	Berat dinding $\approx 502 \text{ kg/m}^2 > 195 \text{ kg/m}^2$
ΔT (perencanaan)	5 K	Sesuai SNI 6389:2020
SF - Selatan	105 W/m²	Data Yogyakarta
SF - Timur	170 W/m²	Data Yogyakarta
SF - Barat	178 W/m²	Data Yogyakarta

Tabel 14. Data Dinding

Sisi	A Total (m²)	A Kaca (m²)	A Dinding (m²)	WWR
Selatan	202,5	21,0	181,5	0,1037
Timur	202,5	21,0	181,5	0,1037
Barat	202,5	0	202,5	0,0000
TOTAL	607,5	42,0	565,5	-

Tabel 15. Hasil Perhitungan per Sisi

Komponen	Selatan	Timur	Barat
SF (W/m²)	105	170	178
WWR	0,1037	0,1037	0,0000
$\alpha \times Uw \times (1 - WWR) \times TDEK$	$0,73 \times 2,814 \times 0,893 \times 10$	$0,73 \times 2,814 \times 0,893 \times 10$	$0,73 \times 2,814 \times 1,000 \times 10$
Konduksi Dinding (W/m²)	18,3417	18,3417	20,5422
$Uf \times WWR \times \Delta T$	$5,828 \times 0,1037 \times 5$	$5,828 \times 0,1037 \times 5$	0
Konduksi Kaca (W/m²)	3,022	3,022	0,000
$SC \times WWR \times SF$	$1,0 \times 0,1037 \times 105$	$1,0 \times 0,1037 \times 170$	0
Radiasi Kaca (W/m²)	10,889	17,630	0,000
OTTV Sisi (W/m²)	32,2527	38,9937	20,5422

Tabel 16. Hasil OTTV Total

Sisi	OTTVi (W/m²)	Aoi (m²)	OTTVi $\times$ Aoi
Selatan	32,2527	202,5	6.531,17175
Timur	38,9937	202,5	7.896,22425
Barat	20,5422	202,5	4.159,7955
TOTAL	-	607,5	18.587,1915
OTTV Total = 18.587,1915 / 607,5			30,6 W/m²

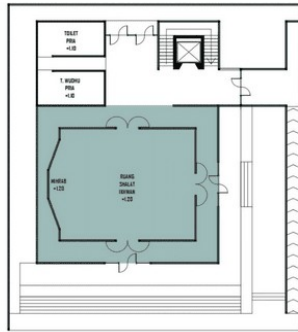
Tingginya nilai OTTV pada fasad timur terutama disebabkan oleh kontribusi radiasi matahari melalui bukaan kaca, yaitu sebesar $17,63 \text{ W/m}^2$, jauh lebih besar dibanding kontribusi radiasi kaca pada fasad selatan ($10,89 \text{ W/m}^2$) meskipun keduanya memiliki WWR yang sama (10,37%). Hal ini terjadi karena fasad timur menerima intensitas radiasi matahari pagi yang lebih tinggi ($SF = 170 \text{ W/m}^2$, dibanding 105 W/m^2 pada sisi selatan), sementara kaca yang digunakan merupakan kaca bening tanpa elemen peneduh ($SC = 1,0$) sehingga seluruh radiasi matahari yang datang diteruskan ke dalam ruang tanpa filtrasi. Secara arsitektural, kondisi ini relevan dengan pola pemakaian ruang masjid: ruang sholat utama yang berorientasi ke arah bukaan timur menerima beban panas matahari pagi secara langsung, bertepatan dengan waktu pelaksanaan ibadah subuh dan aktivitas pagi jamaah, sehingga ketidaknyamanan termal akibat panas radiasi berpotensi paling terasa pada periode tersebut. Temuan ini menegaskan bahwa optimasi fasad timur, melalui penambahan elemen peneduh horizontal/vertikal (*overhang* atau *fin*) maupun penggantian kaca dengan nilai SC rendah, merupakan intervensi desain pasif yang paling prioritas untuk diterapkan pada bangunan ini.

Untuk mengidentifikasi strategi modifikasi yang paling efektif menurunkan nilai OTTV, dilakukan simulasi terhadap empat skenario perubahan variabel bebas, yaitu perubahan warna cat dinding serta penggunaan tiga jenis kaca berperforma lebih tinggi dari kondisi eksisting. Hasil simulasi disajikan pada Tabel 17 dan Tabel 18.

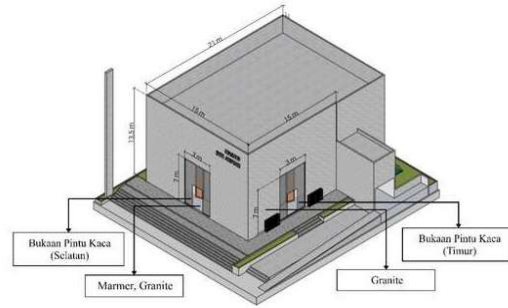
Tabel 17. Hasil Modifikasi Variabel OTTV Pada Fasad Timur

Variabel Modifikasi	Timur (W/m²)	Penurunan (%)
Eksisting	38,99	-
Warna Cat Putih Semi Kilap ($\alpha = 0,30$)	28,19	27,70
Double Glass 12 mm (Uf $\approx 2,8$)	37,42	4,03
Cool Lite ST 108 Neutral 6 mm (SC $\approx 0,41$)	28,59	26,67
Low-e Glass 8 mm (Uf $\approx 3,5$; SC $\approx 0,55$)	29,86	23,42

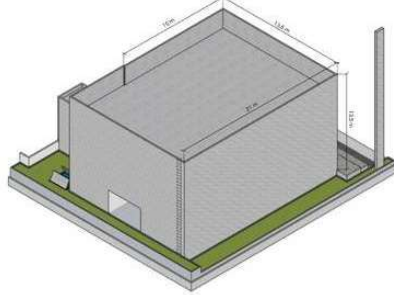
(a) Area Perhitungan OTTV



(b) Area bagian Selatan dan Timur



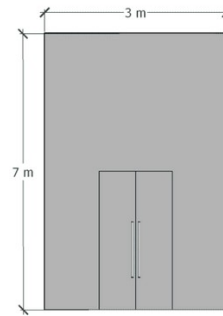
(c) Area bagian Barat dan Utara

**Barat:**

Lebar Dinding: 15 m
Tinggi Dinding: 13,5 m
Total luas dinding: 202,5 m²
WWR: 0% = 0

Utara:

Fasad utara tidak dihitung dalam evaluasi OTTV karena tidak berfungsi sebagai selubung luar bangunan sehingga tidak menerima radiasi matahari secara langsung.

**Selatan:**

Lebar Dinding: 15 m
Tinggi Dinding: 13,5 m
Total luas dinding: 181,5 m²
Lebar Kaca: 3 m
Tinggi Kaca: 7 m
Total luas kaca: 21 m²
WWR: 10,37% = 0,1037

**Timur:**

Lebar Dinding: 15 m
Tinggi Dinding: 13,5 m
Total luas dinding: 181,5 m²
Lebar Kaca: 3 m
Tinggi Kaca: 7 m

Gambar 3. Perhitungan OTTV pada area fasad**Tabel 18.** Hasil Modifikasi Variabel OTTV Total

Variabel Modifikasi	OTTV Total (W/m ²)	Penurunan terhadap Eksisting (%)
Eksisting	30,60	-
Warna Cat Putih Semi Kilap ($\alpha = 0,30$)	26,99	11,79
Double Glass 12 mm ($U_f \approx 2,8$)	30,07	1,73
Cool Lite ST 108 Neutral 6 mm (SC $\approx 0,41$)	27,13	11,34
Low-e Glass 8 mm ($U_f \approx 3,5$; SC $\approx 0,55$)	27,55	9,97

Pada fasad timur, seluruh alternatif modifikasi menunjukkan penurunan nilai OTTV dibanding kondisi eksisting sebesar 38,99 W/m². Penurunan terbesar diperoleh pada penggunaan warna cat putih semi kilap ($\alpha = 0,30$) dengan nilai OTTV sebesar 28,19 W/m² atau turun 27,70%. Hasil ini

menunjukkan bahwa pengurangan absorbtansi panas permukaan dinding memberikan pengaruh paling signifikan terhadap kinerja termal selubung bangunan. Kondisi tersebut terjadi karena luas dinding opak mendominasi fasad timur, sedangkan proporsi bukaan kaca relatif kecil dengan nilai WWR sekitar 10,37%. Dengan menurunkan nilai absorbtansi dari $\alpha = 0,730$ menjadi $\alpha = 0,30$, jumlah radiasi matahari yang diserap oleh dinding berkurang secara signifikan sehingga panas yang diteruskan ke dalam bangunan juga menurun.

Modifikasi menggunakan Cool Lite ST 108 Neutral 6 mm (SC $\approx 0,41$) menghasilkan nilai OTTV fasad timur sebesar 28,59 W/m² atau mengalami penurunan 26,67%. Nilai ini mendekati efektivitas modifikasi warna cat karena kaca tersebut memiliki shading coefficient yang rendah sehingga mampu mengurangi radiasi matahari yang masuk melalui

bukaan. Sementara itu, penggunaan Low-e Glass 8 mm ($U_f \approx 3,5$; $SC \approx 0,55$) menurunkan OTTV fasad timur menjadi 29,86 W/m² atau sebesar 23,42%. Meskipun masih efektif, kinerjanya sedikit lebih rendah dibanding Cool Lite karena nilai SC yang lebih tinggi menyebabkan sebagian radiasi matahari masih dapat menembus kaca.

Sebaliknya, penggunaan Double Glass 12 mm ($U_f \approx 2,8$) hanya menurunkan OTTV fasad timur menjadi 37,42 W/m² atau sebesar 4,03%. Penurunan yang relatif kecil menunjukkan bahwa peningkatan performa konduksi termal kaca melalui penurunan nilai U-factor belum cukup efektif apabila tidak diikuti dengan pengurangan transmisi radiasi matahari. Pada iklim tropis, komponen radiasi matahari umumnya menjadi penyumbang terbesar beban panas pada bukaan kaca, sehingga perbaikan nilai shading coefficient memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap penurunan OTTV dibanding sekadar peningkatan isolasi termal kaca.

Apabila ditinjau pada tingkat bangunan secara keseluruhan, nilai OTTV total eksisting sebesar 30,60 W/m² mengalami penurunan menjadi 26,99 W/m² pada modifikasi warna cat putih semi kilap atau sebesar 11,79%. Penggunaan Cool Lite ST 108 Neutral menurunkan OTTV total menjadi 27,13 W/m² (11,34%), sedangkan Low-e Glass menghasilkan OTTV total sebesar 27,55 W/m² (9,97%). Sementara itu, Double Glass 12 mm hanya menurunkan OTTV total menjadi 30,07 W/m² atau sebesar 1,73%. Persentase penurunan OTTV total lebih kecil dibanding penurunan pada fasad timur karena modifikasi hanya memengaruhi satu orientasi fasad, sedangkan fasad selatan dan barat tetap menggunakan kondisi eksisting.

Temuan ini memberikan implikasi penting bagi strategi desain pasif pada bangunan masjid di iklim tropis. Pertama, penggunaan warna dinding dengan absorptansi rendah merupakan strategi yang paling efektif untuk menurunkan OTTV baik pada fasad timur maupun pada tingkat bangunan secara keseluruhan karena memengaruhi komponen dinding yang mendominasi luas selubung bangunan. Kedua, pada fasad timur yang menerima radiasi matahari cukup tinggi pada pagi hingga siang hari, penggunaan kaca dengan nilai shading coefficient rendah seperti Cool Lite lebih direkomendasikan dibanding hanya meningkatkan performa konduksi termal kaca. Ketiga, efektivitas pengendalian panas dapat ditingkatkan melalui kombinasi modifikasi

material dengan elemen peneduh pasif seperti overhang, vertical fin, atau vegetasi, sehingga radiasi matahari dapat direduksi sebelum mencapai permukaan kaca. Dengan demikian, strategi pengendalian panas yang mengombinasikan pengurangan absorptansi dinding dan pembatasan radiasi matahari melalui bukaan berpotensi memberikan peningkatan performa termal selubung bangunan yang lebih optimal.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi performa termal selubung bangunan Masjid Siti Aisyah menggunakan indikator Overall Thermal Transfer Value (OTTV) sesuai SNI 6389:2020, diperoleh nilai OTTV total sebesar 30,60 W/m², yang berarti selubung bangunan secara agregat telah memenuhi ambang batas konservasi energi sebesar 35 W/m². Namun demikian, fasad timur secara individual menghasilkan nilai OTTV sebesar 38,99 W/m², melampaui angka acuan yang sama, terutama akibat kontribusi radiasi matahari melalui bukaan kaca bening tanpa elemen peneduh ($SC = 1,0$). Temuan ini menunjukkan bahwa kepatuhan terhadap standar pada tingkat bangunan secara keseluruhan tidak serta-merta mencerminkan performa termal yang merata pada setiap orientasi fasad, sehingga fasad timur tetap memerlukan perhatian khusus dalam strategi perbaikan desain.

Hasil simulasi modifikasi variabel bebas pada fasad timur menunjukkan urutan prioritas strategi penurunan OTTV sebagai berikut: (1) penurunan absorptansi permukaan dinding melalui penggunaan cat berwarna terang (putih semi kilap, $\alpha = 0,30$), yang menurunkan nilai OTTV fasad timur dari 38,99 W/m² menjadi 28,19 W/m² atau sebesar 27,70%, sehingga menjadi alternatif paling efektif; (2) penggunaan kaca dengan nilai shading coefficient rendah, seperti Cool Lite ST 108 Neutral yang menurunkan OTTV menjadi 28,59 W/m² (26,67%) dan Low-e Glass yang menurunkan OTTV menjadi 29,86 W/m² (23,42%), yang relevan diterapkan pada bukaan fasad timur; serta (3) optimasi fasad timur melalui kombinasi elemen peneduh pasif dan kaca berperforma tinggi, mengingat orientasi ini merupakan penyumbang beban panas terbesar pada bangunan. Sementara itu, modifikasi berupa penggunaan double glass 12 mm hanya menurunkan OTTV menjadi 37,42 W/m² atau sebesar 4,03%, menunjukkan bahwa peningkatan performa

konduksi termal kaca saja kurang efektif apabila tidak disertai pengurangan transmisi radiasi matahari melalui nilai shading coefficient yang lebih rendah.

Hasil ini menunjukkan bahwa pengendalian absorbtansi dinding penggunaan cat putih semi kilap menurunkan OTTV total dari 30,60 W/m² menjadi 26,99 W/m² atau sebesar 11,79%, sedangkan penggunaan Cool Lite ST 108 Neutral dan Low-e Glass menurunkan OTTV total masing-masing menjadi 27,13 W/m² (11,34%) dan 27,55 W/m² (9,97%). Adapun penggunaan double glass 12 mm hanya menurunkan OTTV total menjadi 30,07 W/m² atau sebesar 1,73%. Hasil ini menunjukkan bahwa pengendalian absorbtansi dinding dan pemilihan kaca dengan nilai shading coefficient rendah berpotensi meningkatkan performa termal selubung bangunan Masjid Siti Aisyah secara signifikan. Penurunan absorbtansi dinding memberikan dampak terbesar karena memengaruhi sebagian besar luas selubung bangunan, sedangkan penggunaan kaca berperforma tinggi efektif mengurangi beban panas radiasi pada bukaan yang menerima paparan matahari langsung.

Perlu ditegaskan bahwa kesimpulan ini terbatas pada perbaikan nilai OTTV berdasarkan perhitungan sesuai SNI 6389:2020 dan belum dapat digeneralisasi sebagai bukti peningkatan kenyamanan termal pengguna maupun penurunan konsumsi energi aktual, karena kedua aspek tersebut tidak diukur secara langsung dalam penelitian ini.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu menjadi perhatian dalam interpretasi hasil. Pertama, data faktor radiasi matahari (solar factor) yang digunakan merupakan data acuan Kota Yogyakarta sebagai lokasi terdekat yang tersedia dalam SNI 6389:2020, bukan data spesifik Kota Surakarta, sehingga dapat menimbulkan deviasi kecil pada hasil perhitungan. Kedua, evaluasi hanya dilakukan pada fasad selatan, timur, dan barat, sedangkan fasad utara tidak diikutsertakan karena pertimbangan fungsi ruang, sehingga gambaran performa termal yang diperoleh belum mencakup seluruh sisi bangunan. Ketiga, penelitian ini menggunakan pendekatan penghitungan OTTV statis berdasarkan prosedur SNI dan belum melibatkan simulasi energi dinamis maupun pengukuran langsung terhadap suhu udara dalam ruang, kenyamanan termal subjektif jamaah, atau konsumsi energi aktual bangunan.

Penelitian lanjutan disarankan untuk melengkapi temuan ini melalui simulasi energi

dinamis menggunakan data klimatologi yang lebih spesifik untuk Kota Surakarta, pengukuran lapangan terhadap suhu udara dan kelembapan ruang dalam, survei kenyamanan termal subjektif pengguna masjid pada berbagai waktu ibadah, serta analisis kelayakan ekonomi dari setiap alternatif modifikasi material selubung bangunan yang diuji. Dengan demikian, rekomendasi perbaikan desain yang dihasilkan tidak hanya efektif dalam menurunkan nilai OTTV, tetapi juga dapat dievaluasi berdasarkan dampaknya terhadap kenyamanan pengguna dan efisiensi energi bangunan secara nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. L. Amir and I. S. Zulfiana, "Optimasi Overall Thermal Transfer Value (OTTV) Pada Masjid Baiturrohman di Jember dengan Pemilihan Kaca," *JTT (Jurnal Teknol. Terpadu)*, vol. 14, no. 1, pp. 181–187, 2026, doi: 10.32487/jtt.v14i1.3018.
- [2] A. Suryansyah, A. Safyan, and S. Olivia, "Perhitungan OTTV (Overall Thermal Transfer Value) Pada Kantor DPRK Lhokseumawe," *JITU (Jurnal Ilm. Tek. Unida)*, vol. 5, no. 1, pp. 82–95, 2024.
- [3] A. R. Enggarswi, S. Yuliani, and Y. Winarto, "Thermal Performance of Tall Building Envelope Design in Tropical Urban Region," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. Pap.*, pp. 1–11, 2024, doi: 10.1088/1755-1315/1361/1/012018.
- [4] H. Utama and E. Setyowati, "Optimalisasi Konservasi Energi Bangunan Bertingkat Melalui Pilihan Material Kaca sebagai Fasad," *ARSITEKTURA J. Ilm. Arsit. dan Lingkung. Binaan*, vol. 20, no. 2, pp. 353–364, 2022, doi: <https://doi.org/10.20961/arst.v20i2.65099>.
- [5] B. A. Wibawa and A. N. Utama, "Optimalisasi Bukaan dan kenyamanan Ruang Melalui Analisis OTTV dan Sun Shading Studi Kasus Ruang Pertemuan Gedung Pasca Sarjana UPGRIS," *MODUL*, vol. 19, no. 2, pp. 68–77, 2019.
- [6] M. H. Hadini, O. C. Dewi, N. S. D. Putra, and T. Hanjani, "Heat Gain Reduction and Cooling Energy Minimization Through Building Envelope Material," *ARTEKS J. Tek. Arsit.*, vol. 8, no. 1, pp. 73–82, 2023, doi: 10.30822/arteks.v8i1.1910.
- [7] D. Priansyah and D. J. A. Zulfahri, "Evaluation of OTTV Values for Glass Facades in the Domestic Waiting Area at Sultan Hasanuddin Airport," *J. RISA (Riset*

- Arsitektur*), vol. 10, no. 1, pp. 25–35, 2026, doi: 10.26593/risa.v10i1.25-35.
- [8] G. Lippsmeier, *Bangunan Tropis*. Jakarta: Erlangga, 1994.
 - [9] Y. B. Mangunwijaya, *Pengantar Fisika Bangunan*. Yogyakarta: Djambatan, 1988.
 - [10] N. Lechner, *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects, 4th Edition*. Hoboken: Wiley, 2015.
 - [11] R. Gendo, J. Priatman, and S. Loekito, “Analisa Konservasi Energi Selubung Bangunan Berdasarkan SNI 03-6389-2011 Studi Kasus: Gedung P1 dan P2 Kristen Petra Surabaya,” *Dimens. Utama Tek. Sipil*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2015, doi: 10.9744/duts.2.1.1-7.
 - [12] Standar Nasional Indonesia, “Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung SNI 6389:2020,” 2020, *Badan Standarisasi Nasional, Jakarta*.