

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Standar Perencanaan Bangunan Gedung Berdasarkan SNI 6389:2020

Dalam upaya mencapai efisiensi energi dan kenyamanan termal, perancangan selubung bangunan gedung bertingkat harus menitikberatkan pada pengendalian beban termal matahari guna memenuhi SNI 6389:2020 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Gedung yang secara spesifik disusun untuk mengoptimalkan efisiensi energi melalui desain selubung luar bangunan terutama terkait aspek beban termal dengan beberapa poin-poin utama yang dibahas, yaitu:

- a. Nilai OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*), yang menetapkan aturan tata cara perhitungan dan batas maksimal perolehan panas pada selubung luar bangunan yang memiliki sistem pengondisian udara.
- b. RTTV (*Roof Thermal Transfer Value*), mengatur batas maksimal perpindahan panas melalui atap gedung.
- c. Perhitungan perpindahan panas, yang merinci menjadi tiga komponen utama, yaitu konduksi panas melalui dinding tidak transparan (bidang masif), konduksi panas melalui bidang transparan (kaca), dan perolehan panas radiasi matahari melalui kaca.
- d. Selubung bangunan, membahas spesifikasi teknis material bangunan beserta nilai transmisi termal (*U-value*) pada dinding dan atap, *Solar Heat Gain Coefficient* (SHGC), serta *Visible Light Transmittance* (VLT).
- e. WWR (*Window-to-Wall Ratio*), membahas perbandingan luas bukaan transparan dengan total luas dinding luar

Sesuai dengan standar teknis tersebut, evaluasi desain bangunan dilakukan pada beberapa aspek, mencakup unsur bentuk, pemilihan warna, ornamen, dan material. Apabila hasil evaluasi menunjukkan adanya ketidaksesuaian antara

performa visual maupun teknis pada elemen tersebut, maka diperlukan adanya upaya redesain bangunan yang sudah ada untuk memaksimalkan kebutuhan ruang, fungsi, atau pembaruan aspek pada suatu bangunan untuk tujuan yang positif dengan mempertahankan beberapa elemen dari bangunan lama (Yusuf & Mutalib, 2021).

Berdasarkan poin-poin parameter yang tercantum dalam SNI 6389:2020 tersebut, penelitian ini menetapkan perhitungan nilai OTTV sebagai parameter evaluasi utama dengan menitikberatkan analisis dan perhitungan variabel WWR untuk mengukur proporsi bidang transparan yang menjadi akses utama masuknya panas matahari, serta karakteristik selubung bangunan, khususnya nilai *U-Value* dan *Solar Heat Gain Coefficient* (SHGC) yang menunjukkan kemampuan fasad dalam menahan konduksi serta radiasi panas.

2.2. Overall Thermal Transfer Value (OTTV)

Overall Thermal Transfer Value (OTTV) merupakan nilai perpindahan panas dari luar secara keseluruhan yang masuk melalui selubung bangunan dengan orientasi atau arah tertentu per meter persegi (m^2).

Besarnya nilai *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) ditentukan oleh tiga variabel utama dalam transmisi panas selubung bangunan, yakni konduksi melalui bidang masif pada dinding dengan kontribusi sebesar 0,2%-5%, konduksi pada bidang transparan sebesar 10%-20%, serta radiasi panas yang melalui elemen kaca yang menjadi penyumbang terbesar mencapai 70%-85% (Utama & Setyowati, 2022).

Intensitas beban panas matahari yang merambat masuk melalui dinding luar bangunan diperhitungkan secara spesifik untuk setiap orientasi bangunan dengan mengacu pada formulasi matematis standar sebagai berikut:

$$\text{OTTV} = \alpha \cdot [(\text{Uw} \cdot (1 - \text{WWR})) \cdot \text{TDEK} + (\text{SC} \cdot \text{WWR} \cdot \text{SF}) + (\text{Uf} \cdot \text{WWR} \cdot \Delta\text{T})]$$

OTTV = Nilai perpindahan termal pada dinding eksternal yang memiliki arah atau orientasi tertentu (W/m²)

α = Absorbtansi radiasi matahari

U_w = Transmittansi termal pada dinding

WWR = Rasio antara luas jendela terhadap luas keseluruhan dinding eksternal pada orientasi tertentu

T_{DEK} = Perbedaan temperatur ekivalen (K)

SC = Faktor radiasi matahari (W/m²)

SF = Koefisien peneduh dari sistem fenetrasi

U_f = Transmittansi termal fenetrasi (W/m².K)

ΔT = Perbedaan temperature perencanaan antara bagian luar dan dalam

A = Luas bidang

Sedangkan untuk menghitung OTTV secara menyeluruh dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{OTTV total} = \frac{(\text{OTTVu} \cdot \text{Au}) + (\text{OTTVt} \cdot \text{At}) + (\text{OTTVs} \cdot \text{As}) + (\text{OTTVb} \cdot \text{Ab})}{\text{Au} + \text{At} + \text{As} + \text{Ab}}$$

Berdasarkan regulasi yang ditetapkan dalam SNI 6389:2020 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Gedung, setiap rancangan arsitektural diwajibkan untuk memenuhi standar efisiensi termal dengan nilai *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) tidak diperbolehkan melebihi batas maksimal sebesar 35 Watt/m² untuk meminimalkan beban pendingin udara dan mengoptimalkan penggunaan energi secara berkelanjutan.

Apabila evaluasi perhitungan pada rancangan selubung bangunan menunjukkan nilai OTTV melampaui ambang batas yang diizinkan, maka penyesuaian untuk mencapai standar tersebut dapat dilakukan melalui beberapa strategi berikut sesuai yang disebutkan dalam SNI 6389:2020:

- a. Redesain arsitektural dengan menyesuaikan bentuk serta arah hadap bangunan demi meminimalkan *Solar Factor* (SF)
- b. Optimalisasi bukaan dengan memperkecil rasio luas jendela terhadap dinding (WWR)
- c. Pemilihan material dengan nilai absorban rendah dan penambahan insulasi pada dinding
- d. Penambahan peneduh eksternal serta pemilihan kaca berperforma tinggi dengan nilai SHGC (*Solar Heat Gain Coefficient*) yang rendah
- e. Mengaplikasikan *heatguard* pada area atap
- f. Mengintegrasikan elemen hijau alami
- g. Pemilihan warna cerah untuk meningkatkan daya pantul panas

Dalam penelitian ini, analisis perhitungan nilai OTTV menggunakan alat bantu kalkulasi berupa *form* standar Excel dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) yang telah disesuaikan dengan parameter SNI 6389:2020 (Gambar 2. 1) untuk memperhitungkan perolehan beban panas pada selubung bangunan melalui integrasi data.

BUILDING ENVELOPE COMPLIANCE FORM V3.0	
PERSYARATAN	
Nilai Overall Thermal Transfer Value (OTTV) untuk bangunan tidak boleh melebihi 35 Watts/m ² .	
SOLAR FAKTOR	Semarang
KOTA	
Project name : TEACHING FACTORY SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONE	
Address : Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah	

Gambar 2. 1 Template Perhitungan OTTV dari Kementerian PUPR

Pada *form* standar Excel ini mencakup poin-poin utama yang mendasari seluruh kalkulasi beban termal pada selubung bangunan sebagai berikut:

- a. Parameter lokasi, merupakan data geografis untuk secara spesifik menentukan intensitas radiasi matahari rata-rata yang diterima oleh fasad bangunan (*solar factor*) berdasarkan lokasi kota bangunan tersebut berada.
- b. Identifikasi dinding eksterior (bidang masif), berfokus pada kemampuan material non-transparan dalam menahan konduksi panas
- c. Identifikasi sistem fenestrasi (bidang transparan), mencakup nilai *U-Value* kaca dan nilai *Solar Heat Gain Coefficient* (SHGC)

- d. Parameter peneduh luar, identifikasi elemen arsitektural yang berfungsi mereduksi radiasi langsung tanpa melibatkan material kaca. Dikategorikan menjadi tiga jenis, yaitu mendatar (horizontal), vertikal, dan *louver egg-crate*. Tingkat *effective shading coefficient* (SC_{eff}) setiap tipe ini ditentukan berdasarkan seberapa efektif elemen peneduh mampu membayangi jendela yang dipengaruhi dimensi serta sudut kemiringan peneduh.

Integrasi dari poin-poin identifikasi tersebut diperhitungkan sesuai orientasi bangunan berdasarkan arah mata angin guna memetakan distribusi perolehan panas pada setiap sisi bangunan. Hasil akumulasi dari seluruh orientasi tersebut kemudian akan menentukan nilai OTTV akhir yang menunjukkan kinerja termal selubung bangunan secara menyeluruh.

2.3. Selubung Bangunan (*Building Envelope*)

Selubung bangunan atau *building envelope* memiliki pengaruh terhadap efisiensi energi secara keseluruhan yang mencakup komponen elemen tidak transparan (dinding) dan elemen transparan atau fenetrasi (jendela). Pada bangunan bertingkat tinggi, dinding (bidang masif) menjadi salah satu fokus utama dalam mencegah panas berlebih karena luasannya yang mendominasi (Widhayaka & Rilatupa, 2021).

Pemilihan material untuk bidang dinding berhubungan dengan nilai transmitansi termal pada selubung bangunan yang apabila terjadi kesalahan dapat berdampak pada perhitungan beban pendingin ruangan (Budhyowati & Kembuan, 2021). Nilai absorbtansi radiasi matahari (α) menjadi faktor penentu besaran panas yang diserap oleh permukaan dinding. Nilai ini bervariasi seperti yang dirincikan dalam dua tabel berikut:

Tabel 2. 1 Nilai Absorbtansi Radiasi Matahari Material Dinding Luar

Bahan Dinding Luar	α
Beton berat	0,91
Bata merah	0,89
Bituminous felt	0,88

Batu sabak	0,87
Beton ringan	0,86
Aspal jalan setapak	0,82
Kayu permukaan halus	0,78
Beton ekspos	0,61
Ubin putih	0,58
Bata kuning tua	0,56
Atap putih	0,50
Cat alumunium	0,40
Kerikil	0,29
Seng putih	0,26
Bata glazur putih	0,25
Lembaran alumunium yang dikilapkan	0,12

Sumber : SNI 6389:2020 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Gedung

Tabel 2. 2 Nilai Absobtansi Radiasi Matahari Cat Permukaan Dinding Luar

Cat Permukaan Dinding Luar	α
Hitam merata	0,95
Pernis hitam	0,92
Abu-abu tua	0,91
Pernis biru tua	0,91
Cat minyak hitam	0,90
Coklat tua	0,88
Abu-abu/biru tua	0,88
Biru/hijau tua	0,88
Coklat medium	0,84
Pernis hijau	0,79
Hijau medium	0,59
Kuning medium	0,58
Hijau/biru medium	0,57
Hijau muda	0,47
Putih semi kilap	0,30
Putih kilap	0,25
Perak	0,25
Pernis putih	0,21

Sumber : SNI 6389:2020 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Gedung

Objek bangunan yang dipilih dalam penelitian ini menggunakan material beton ringan atau bata ringan sebagai struktur dinding utama dengan nilai koefisien serap panas sebesar 0,86 dan pada permukaan luar dinding diaplikasikan cat *finishing* berwarna putih semi kilap dengan nilai absorbtansi 0,30. Berdasarkan pada data yang disajikan pada tabel di atas, terutama pada (Tabel 2. 2), menunjukkan bahwa semakin terang warna cat yang digunakan untuk permukaan dinding luar, semakin besar kemampuannya untuk memantulkan radiasi matahari yang ditandai dengan semakin kecil nilai absorbtansi (α).

Penentuan nilai absorbtansi radiasi matahari (α) menjadi langkah penting dalam pengukuran beban panas pada bidang masif selubung bangunan. Semakin rendah nilai absorbtansi radiasi matahari (α) pada kombinasi material dan warna yang dipilih, seperti yang ditunjukkan pada (Tabel 2. 1) dan (Tabel 2. 2), maka semakin kecil pula kontribusi panas yang dihasilkan oleh komponen dinding masif terhadap nilai OTTV secara keseluruhan.

Dalam praktiknya, selain nilai absorbtansi radiasi matahari, *Window-to-Wall Ratio* (WWR) juga menjadi variabel yang berpengaruh terhadap perolehan panas di dalam ruangan (Hendrawati, 2023). Menurut Pemen PUPR Nomor 21 Tahun 2021, nilai perbandingan bidang transparan dengan bidang masif harus kurang dari 30%. WWR yang terlalu besar dapat menyebabkan masalah seperti silau dan panas berlebihan di dalam bangunan yang berdampak meningkatnya konsumsi energi untuk sistem pengondisian udara.

Upaya mereduksi beban panas matahari pada selubung bangunan tersebut dapat diantisipasi dengan mempertimbangkan arah hadap massa bangunan, pengaturan dimensi bidang transparan, spesifikasi material selubung, hingga pengaplikasian perangkat peneduh eksternal (Hariyanti et al., 2022).

2.4. Karakteristik dan Spesifikasi Material Kaca

Sebagai salah satu komponen dalam selubung bangunan, elemen kaca pada bidang fenetrasi menjadi akses utama masuknya radiasi matahari ke dalam bangunan yang disebabkan nilai transmitansi termal kaca lebih tinggi dibandingkan dinding masif. Kinerja termal kaca dipengaruhi oleh nilai transmitansi termal (*U-value*), warna, dan ketebalan. Nilai *U-value* yang rendah, warna kaca terang dan tebal, lebih direkomendasikan karena kemampuannya menahan transfer termal dari luar lebih baik daripada kaca berwarna gelap dan tipis karena akan semakin besar nilai *U-value*-nya (Utama & Setyowati, 2022). Selain itu, parameter *Shading Coefficient* (SC) dan *Solar Heat Gain Coefficient* (SHGC) juga menjadi faktor penting dalam tingkat performa termal material kaca.

Setiap jenis kaca memiliki karakteristik teknis berbeda-beda yang secara langsung akan memengaruhi performa termal serta efisiensi energi pada selubung bangunan. Beberapa material kaca yang digunakan dalam penelitian ini diuraikan lebih lanjut berdasarkan jenis, karakteristik, data performa teknis, dan spesifikasi material sebagai berikut:

2.4.1. Indoflot

Material kaca Indoflot merupakan jenis kaca bening (clear float glass) yang memiliki permukaan sangat bersih, rata, dan bebas distorsi. Dalam detail deskripsi produk pada katalog Asahimas AGC Group, Indoflot memiliki tingkat transmisi cahaya yang sangat optimal mencapai lebih dari 90% sehingga mampu memberikan kejernihan pandangan yang luas bagi pengguna bangunan. Jenis kaca ini dapat diaplikasikan mulai dari eksterior dan interior.

Indoflot unggul dalam hal *Visible Light Transmittance* (VLT) namun memiliki kekurangan dalam aspek termal karena sifatnya yang meneruskan sebagian besar energi panas matahari. Adapun

karakteristik teknis dan nilai performa termal dari material kaca Indoflot tercantum dalam Tabel 2. 3 berikut:

Tabel 2. 3 Karakteristik dan Data Performa Termal Material Kaca Indoflot

INDOFLOT											
Type Of Glass	Standard Thickness (mm)	Light Characteristic			Energy Characteristic				Solar Factor (%)	Shading Coefficient	U Value (W/m²K)
		Transmittance (%)	Reflectance Out (%)	Reflectance In (%)	Transmittance (%)	Reflectance (%)	Absorption (%)	Ultra Violet Transmission (%)	SF	SC	U Val
Indoflot Clear (FL)	2	91	8	8	88	8	4	79	90	1.03	5.9
	3	90	8	8	86	8	6	71	87	1.00	5.8
	4	90	8	8	84	8	8	67	86	0.99	5.8
	5	89	8	8	82	7	11	64	85	0.97	5.8
	6	89	8	8	80	7	13	61	83	0.96	5.7
	8	88	8	8	77	7	16	56	81	0.93	5.7
	10	87	8	8	74	7	19	52	79	0.91	5.6
	12	86	8	8	70	7	23	49	77	0.88	5.5
	15	86	7	7	70	6	24	51	76	0.88	5.5
	19	85	7	7	66	6	28	47	73	0.84	5.3

Sumber : katalog Asahimas AGC Group

2.4.2. Panasap

Material kaca Panasap merupakan jenis kaca *tinted float glass* yang diproduksi dengan penambahan oksida logam seperti kobalt, mangan, dan selenium ke dalam komposisi kaca bening biasa untuk menghasilkan kaca dengan performa penyerapan panas yang optimal dan tersedia dengan berbagai pilihan warna. Kaca jenis ini dapat digunakan untuk eksterior sebagai fasad bangunan, jendela, dan sprandrels maupun untuk interior sebagai pintu, partisi, dan furnitur. Berdasarkan detail deskripsi produk pada katalog Asahimas AGC Group, Panasap mampu menyerap sekitar 35%-55% total energi matahari yang secara langsung berdampak pada pengurangan fenetrasi sinar *ultraviolet* lebih baik dibanding kaca bening biasa.

Berdasarkan performa termal dan visual, material ini memiliki beberapa keunggulan sebagai berikut:

- Kaca Panasap memiliki transmisi cahaya yang tinggi sehingga mampu meneruskan cahaya matahari dalam jumlah besar ke dalam bangunan yang mampu meningkatkan kenyamanan visual
- Memiliki berbagai tingkat kepekatan warna yang mampu memberikan fleksibilitas bagi perencana dalam hal tingkatan privasi ruang
- Memiliki daya tahan warna yang permanen meskipun terpapar cuaca ekstrem dalam jangka waktu lama

Adapun karakteristik teknis dan nilai performa termal dari material kaca Panasap tersaji dalam Tabel 2. 4 berikut:

Tabel 2. 4 Karakteristik dan Data Performa Termal Material Kaca Panasap

PANASAP											
Type Of Glass	Standard Thickness (mm)	Light Characteristic			Energy Characteristic				Solar Factor (%)	Shading Coefficient	U Value (W/m ² K)
		Transmittance (%)	Reflectance Out (%)	Reflectance In (%)	Transmittance (%)	Reflectance (%)	Absorption (%)	Ultra Violet Transmission (%)			
Panasap Cool Green (DNFL)	5	79	7	7	54	6	40	30	65	0.74	5.8
	6	77	7	7	49	6	45	26	61	0.70	5.7
	8	73	7	7	43	5	52	20	56	0.64	5.7
Panasap Lite Grey (LGFL)	5	70	7	7	70	7	23	44	76	0.88	5.8
	6	66	6	6	67	6	27	40	74	0.85	5.7
	8	60	6	6	60	6	34	33	69	0.79	5.7
Panasap Blue Green (BNFL)	5	62	6	6	41	5	54	22	55	0.63	5.7
	8	55	5	6	33	5	62	16	49	0.56	5.7
	6	58	6	6	45	5	50	29	58	0.67	5.7
Panasap Dark Blue (DHFL)	8	50	5	5	37	5	58	23	52	0.60	5.7
	10*	43	5	5	30	5	65	18	47	0.54	5.6
	12	36	5	5	25	5	70	15	43	0.50	5.5
Panasap New Dark Blue (DHNFL)	5	50	6	6	41	5	54	26	55	0.63	5.8
Panasap Bronze (BRFL)	5	57	6	6	57	6	37	22	67	0.77	5.8
	6	51	5	5	52	6	43	19	63	0.73	5.7
	8	42	5	5	43	5	52	13	57	0.65	5.7
Panasap Euro Grey (GEFL)	5	51	6	6	51	6	43	24	62	0.72	5.8
	6	45	5	5	46	5	49	20	58	0.67	5.7
	8	36	5	5	37	5	58	14	52	0.59	5.7
	10*	28	5	5	29	5	66	10	46	0.53	5.6
	12	22	5	5	23	5	72	7	42	0.48	5.5

Sumber : katalog Asahimas AGC Group

2.4.3. Stopsol

Kaca Stopsol merupakan jenis kaca reflektif yang dirancang untuk menurunkan suhu di dalam bangunan dengan cara memantulkan panas

matahari. Teknologi dari AGC Europe digunakan dalam proses pembuatan kaca jenis ini dengan menambahkan lapisan transparan tipis dari oksidasi logam sebagai pemantul radiasi surya pada permukaan kaca pada salah satu sisi. Lapisan pemantul ini memiliki dua jenis, yaitu Classic dan Supersilver yang memiliki tampilan lebih cerah. Melalui teknik *Pyrolitic coating*, kaca Stopsol memiliki daya tahan yang sangat baik terhadap pengaruh eksternal.

Dengan kemampuan memantulkan sebagian besar cahaya matahari, jenis kaca ini efektif menurunkan beban pendingin dalam ruangan dengan tetap mempertahankan transmisi cahaya yang baik tanpa menimbulkan silau yang mengganggu. Adapun karakteristik teknis dan nilai performa termal dari material kaca Stopsol dijabarkan dalam Tabel 2. 5 berikut:

Tabel 2. 5 Karakteristik dan Data Performa Termal Material Kaca Stopsol

STOPSOL												
Type Of Glass	Standard Thickness (mm)	Coating Position	Light Characteristic			Energy Characteristic				Solar Factor (%)	Shading Coefficient	U Value (W/m ² K)
			Transmittance (%)	Reflectance Out (%)	Reflectance In (%)	Transmittance (%)	Reflectance (%)	Absorption (%)	Ultra Violet Transmission (%)			
Stopsol Supersilver Blue Green (SSBNF)	6	#1	43	35	19	30	26	44	12	41	0.48	5.7
		#2	43	19	35	30	12	58	12	45	0.52	5.7
	8	#1	38	35	16	24	26	50	9	37	0.42	5.7
		#2	38	16	35	24	10	66	9	41	0.47	5.7
Stopsol Supersilver Dark Blue (SSDNF)	6	#1	40	36	18	33	27	40	17	44	0.50	5.7
		#2	40	18	36	33	12	55	17	47	0.54	5.7
	8	#1	34	35	14	27	27	46	13	39	0.45	5.7
		#2	34	14	35	27	10	63	13	43	0.49	5.6
Stopsol Supersilver New Dark Blue (SSDNF)	5	#1	37	30	13	32	23	45	17	44	0.50	5.8
		#2	37	13	30	32	10	58	17	47	0.54	5.7
Stopsol Supersilver Euro Grey (SSGEF)	5	#1	35	34	14	39	26	35	13	48	0.55	5.8
		#2	35	14	34	39	11	50	13	57	0.59	5.7
	6	#1	31	34	12	35	26	39	11	45	0.52	5.7
		#2	31	12	34	35	10	55	11	49	0.56	5.7
	8	#1	25	34	9	28	26	46	8	40	0.46	5.7
		#2	25	9	34	28	8	64	8	44	0.51	5.6

Sumber : katalog Asahimas AGC Group

2.4.4. Sunergy

Material kaca Sunergy merupakan jenis kaca berlapis (*coated glass*) dengan dua lapisan oksida logam melalui proses CVD (*Chemical Vapor*

Deposition) pada satu sisi kaca. Dua lapisan tersebut adalah lapisan *Low Reflective coating (solar control)* dengan emisivitas rendah (*Low-Emissivity* atau *Low-E*) yang dirancang untuk memberikan kenyamanan visual sekaligus kenyamanan termal maksimal.

Keunggulan kaca Sunergy ini tercantum dalam katalog produk Asahimas AGC Group bahwa perbandingan material kaca Sunergy dengan kaca bening biasa menunjukkan bahwa pada penggunaan kaca Sunergy Clear 8 mm dapat menekan *Solar Factor (SF)* hingga mencapai 59% sedangkan pada kaca bening biasa yang mencapai 77%. Nilai U-Value yang dimiliki kaca Sunergy sebesar 4,1 W/m²K, jauh lebih rendah dibanding kaca bening biasa yaitu sebesar 5,8 W/m²K. Dalam simulasi gedung lima lantai di Jakarta guna menguji performa kaca, Sunergy mampu menurunkan konsumsi energi dari 7.292 kWh menjadi 5.747 kWh atau sebesar 21,19%. Adapun karakteristik teknis dan nilai performa termal dari material kaca Sunergy tersaji dalam Tabel 2. 6 berikut:

Tabel 2. 6 Karakteristik dan Data Performa Termal Material Kaca Sunergy

SUNERGY												
Type Of Glass	Standard Thickness (mm)	Coating Position	Light Characteristic			Energy Characteristic				Solar Factor (%)	Shading Coefficient	U Value (W/m ² K)
			Transmittance (%)	Reflectance Out (%)	Reflectance In (%)	Transmittance (%)	Reflectance (%)	Absorption (%)	Ultra Violet Transmission (%)			
Sunergy Clear (SNFL)	3	#2	70	9	11	57	10	33	49	63	0.73	4.1
	4	#2	70	9	11	56	10	34	46	62	0.72	4.1
	5	#2	69	9	11	55	9	36	44	61	0.71	4.1
	6	#2	69	9	11	54	9	37	42	61	0.7	4.1
	8	#2	68	9	11	52	8	40	39	59	0.68	4.1
	10	#2	68	9	11	50	8	42	36	58	0.66	4
Sunergy Cool (SNCFL)	5	#2	50	7	9	39	7	54	34	49	0.56	4.4
	6	#2	50	6	9	38	7	55	33	48	0.56	4.4
	8	#2	50	6	9	36	7	57	30	47	0.55	4.3
Sunergy Blue Green (SBNB)	6	#2	47	7	9	27	6	67	16	40	0.46	4.1
	8	#2	42	6	9	22	6	72	12	36	0.41	4.1
Sunergy Euro Grey (SNGE)	6	#2	34	6	8	28	6	66	13	40	0.46	4.1
	8	#2	27	5	8	22	6	72	9	35	0.41	4

Sumber : katalog Asahimas AGC Group

2.4.5. Stopray

Stopray merupakan kaca yang menggabungkan performa seimbang antara transmisi cahaya (*visible light transmittance*), *solar control* (*shading coefficient* rendah hingga sebesar 0,24), serta *U-Value* optimal sebesar 1,6 W/m²K untuk jenis Stopray ACE dan sebesar 1,5 W/m²K untuk jenis Stopray SMART yang mampu memberikan penghematan energi maksimum.

Dilengkapi dengan teknologi tingkat refleksi cahaya internal yang rendah dan warna netral, material kaca jenis ini didesain untuk bukaan dengan kebutuhan tingkat pencahayaan tinggi guna memberikan visibilitas yang sempurna. Selain didesain untuk kenyamanan visual, jenis kaca stopray didesain sebagai kaca insulasi yang cocok untuk semua iklim. Adapun karakteristik teknis dan nilai performa termal dari material kaca Stopray tersaji dalam Tabel 2. 7 berikut:

Tabel 2. 7 Karakteristik dan Data Performa Termal Material Kaca Stopray

STOPRAY										
Type Of Glass	Light Characteristic			Energy Characteristic				Solar Factor (%)	Shading Coefficient	U Value (W/m ² K)
	Transmittance (%)	Reflectance Out (%)	Reflectance In (%)	Transmittance (%)	Reflectance (%)	Absorption (%)	Ultra Violet Transmission (%)	SF	SC	U Val
6mm Stopray (#2) + 12mm AS + 6mm Clear Glass										
VISION 31T*	31	20	15	15	32	53	12	19	0.22	1.6
VISION 38T	38	17	16	17	38	45	12	21	0.24	1.5
VISION 40T	40	19	15	18	43	39	10	22	0.25	1.6
VISION 40T-B*	40	20	15	18	39	43	11	22	0.25	1.6
VISION 52T	50	16	12	24	38	38	13	27	0.32	1.6
VISION 61T*	60	13	13	29	35	36	11	33	0.38	1.6
VISION 72T*	71	13	14	34	38	28	13	38	0.44	1.6
8mm Stopray (#2) + 12mm AS + 6mm Clear Glass										
VISION 31T*	31	20	15	15	29	56	12	19	0.22	1.5
VISION 38T	37	17	16	17	34	49	12	21	0.24	1.5
VISION 40T	39	19	15	18	39	43	10	22	0.25	1.6
VISION 40T-B*	39	20	15	18	36	46	11	22	0.25	1.6
VISION 52T	50	16	12	23	36	41	13	27	0.31	1.5
VISION 61T*	60	13	13	29	32	39	11	33	0.38	1.6
VISION 72T*	70	13	14	34	35	31	13	37	0.43	1.5

Sumber : katalog Asahimas AGC Group

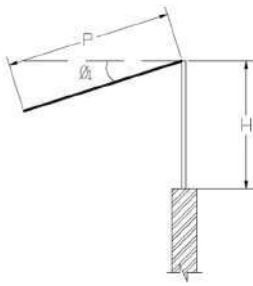
Karakteristik teknis yang dimiliki kelima jenis kaca tersebut menunjukkan perbedaan termal yang berbeda-beda. Indoflot sebagai kaca bening dengan

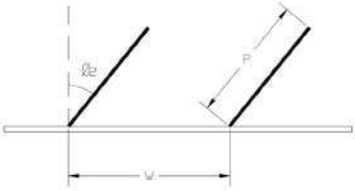
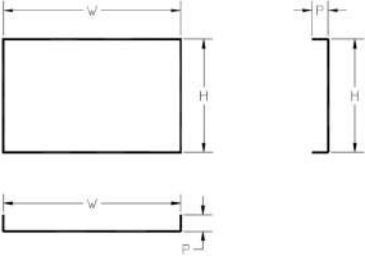
keunggulan transmisi cahaya dan kejernihan visual yang baik namun kurang dalam menahan panas, Panasap dengan keunggulan proteksi radiasi panas mendasar, Sunergy dan Stopsol dengan performa lebih tinggi dan unggul dalam menahan radiasi matahari melalui teknologi *coating*, serta Stopray dengan gabungan kemampuan transmisi cahaya dan proteksi radiasi matahari yang jauh lebih unggul dengan nilai *shading coefficient* (SC) dan *U-Value* yang sangat rendah. Perbedaan karakteristik ini memberikan fleksibilitas dalam menentukan spesifikasi material kaca yang paling optimal untuk diaplikasikan pada desain fasad bangunan.

2.5. Sistem Peneduh Luar

Desain jendela sebagai bagian dari selubung bangunan tidak dapat dipisahkan dari elemen peneduhnya (Ratnasari & Asharhani, 2023). Sistem peneduh luar berperan dan memiliki fungsi utama sebagai pembatas perolehan panas dari radiasi matahari melalui bukaan bangunan untuk menstabilkan suhu di dalam ruang (Adhiyaksa, 2023). Pada SNI 6389:2020, peneduh dibedakan menjadi dua kelompok, yakni peneduh sisi dalam (internal) dan sisi luar (eksternal). Peneduh eksternal sering kali dirancang lebih kompleks guna menghalau radiasi matahari secara efektif melalui tiga variasi bentuk, yaitu proyeksi mendatar, proyeksi vertikal, dan *louver egg-crate* (Tabel 2. 8)

Tabel 2. 8 Tipe Peneduh Luar

No.	Jenis Peneduh	Detail Geometri dan Proyeksi	Posisi Terbaik
1.	Proyeksi Mendatar		Utara dan Selatan

2.	Proyeksi Vertikal		Barat dan Timur
3.	<i>Louver Egg-crate</i>		Barat dan Timur

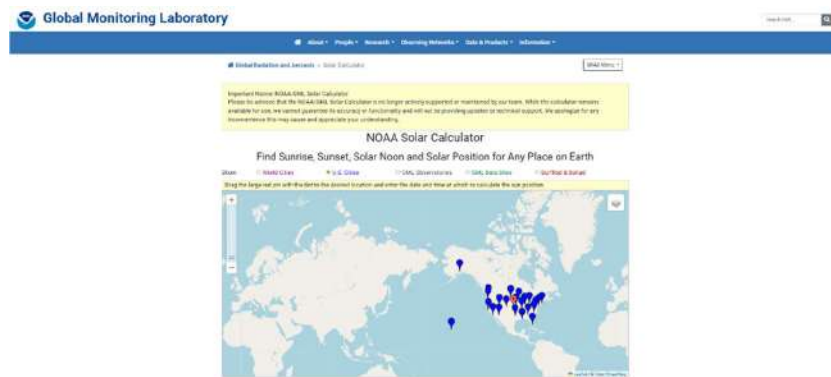
Sumber : SNI 6389:2020 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Gedung

Peneduh proyeksi mendatar atau horizontal bekerja melalui proyeksi kedalaman bayangan atau kemiringan sirip ke arah bawah untuk memblokir panas matahari dari sudut tinggi (*zenit*) pada siang hari. Sementara itu, pada tipe peneduh vertikal, sirip bilah peneduh didesain untuk mampu mencegah radiasi panas matahari pagi atau sore dengan sudut *azimuth* rendah tanpa mengganggu akses pencahayaan alami. Gabungan dari kedua tipe peneduh tersebut adalah peneduh *egg-crate* yang optimal dalam memberikan proteksi panas matahari dari atas sekaligus samping.

Untuk merancang ketiga tipe peneduh tersebut secara akurat, dapat menggunakan analisis posisi matahari yang tepat berdasarkan koordinat geografis lintang dan bujur serta periode waktu tertentu (L. H. Sari & Rauzi, 2021). Kawasan yang berada di zona iklim tropis lembap umumnya ditandai oleh pergerakan matahari yang relatif tinggi sepanjang tahun dengan intensitas matahari yang konstan (Mangkuto et al., 2022). Kondisi ini mencapai puncaknya pada fase ekuinoks, sebuah momentum kritis ketika matahari melintasi jalur ekuator bumi secara tegak lurus, membuat arah terbit dan terbenamnya sejajar sempurna dengan barat dan timur (Chan et al., 2023). Sehingga dalam kondisi tersebut orientasi bangunan timur dan barat berpotensi

menghadapi masalah *overheating* yang lebih tinggi karena paparan sinar matahari langsung di pagi dan sore hari (Mustakima et al., 2025).

Untuk memproyeksikan lintasan matahari secara akurat ke dalam desain arsitektur, dalam penelitian ini menggunakan alat bantu kalkulasi berupa *website* NOAA Solar Calculator (Gambar 2. 2) yang mampu menghasilkan data koordinat matahari secara langsung (*real-time*).



Gambar 2. 2 NOAA Solar Calculator

Hasil dari perhitungan posisi matahari ini akan menghasilkan titik sudut kemiringan (*azimuth*) dan ketinggian matahari (*solar elevation*) sebagai dasar penentuan kedalaman peneduh yang optimal melalui perhitungan sudut bayangan *horizontal shadow angle* (HSA) dan *vertical shadow angle* (VSA) secara matematis dengan rumus sebagai berikut:

- a. HSA (*Horizontal Shadow Angle*)

$$HSA = |\text{Azimuth Matahari} - \text{Azimuth Dinding}|$$

- b. VSA (*Vertical Shadow Angle*)

$$VSA = \frac{\arctan(\tan(\text{Solar Elevation}))}{\cos(HSA)}$$

- c. Lebar Peneduh

$$\text{Lebar Peneduh} = \frac{\text{Tinggi Jendela}}{\tan(VSA)}$$

Proses penentuan lebar peneduh melalui perhitungan VSA dan HSA menjadi dasar utama dalam mengendalikan nilai koefisien peneduh efektif atau *Shading Coefficient* (SC) sesuai standar SNI 6389:2020. Secara teoretis, semakin kecil nilai SC (mendekati 0), semakin baik performa termal bangunan karena sistem jendela mampu menahan sebagian besar radiasi panas matahari sebelum masuk ke dalam ruangan. Proses ini menegaskan bahwa dalam pengaplikasian perangkat peneduh luar yang didesain secara optimal melalui kedalaman peneduh berperan langsung dalam mereduksi perolehan panas eksternal untuk menurunkan nilai OTTV agar memenuhi standar yang dipersyaratkan.

2.6. Penelitian Terdahulu

Topik pembahasan dari beberapa penelitian terdahulu ada yang pembahasannya sama dan menjadikan referensi bacaan bagi penulis, sehingga penulis menemukan *gap* penelitian guna mengembangkan metode di penelitian kali ini.

Tabel 2. 9. *Literature Review* Penelitian Terdahulu

No	Judul	Author	Dataset/Metode	Penemuan Relevan	Hasil
1.	<i>Optimizing Glass Material and Overhang Performance in Building Envelopes Through OTTV Analysis to Reduce Building's Thermal Load</i>	(Rahmadyani & Felly, 2026)	Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan studi komperatif. Data diperoleh dari survei, observasi, dan pengukuran lapangan. Data primer: Orientasi bangunan,	Perhitungan OTTV dilakukan berdasarkan variasi tipe kaca (5mm <i>single clear</i> , Panasap, Sunergy dan Stopsol) dan ukuran <i>overhang</i> (minimal 0,75 m) Hasil perhitungan OTTV dibandingkan dengan standar maksimal 35 W/m ² menurut SNI untuk menentukan performa termal bangunan.	<ul style="list-style-type: none"> Kondisi eksisting pada bangunan <i>architectural studio</i> belum memenuhi standar OTTV (41,24 W/m² > 35 W/m²). Penambahan <i>overhang</i> pada kaca <i>clear</i> saja tidak cukup mengurangi beban panas

No	Judul	Author	Dataset/Metode	Penemuan Relevan	Hasil
			<p>sistem fenestrasi, dimensi dan material bangunan.</p> <p>Data sekunder: Studi literatur SNI 6389:2020 tentang konservasi energi pada selubung bangunan.</p>		<p>bangunan agar sesuai standar.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Penggunaan kaca dengan perlakuan khusus (<i>coated</i>) secara signifikan menurunkan radiasi panas melalui bukaan kaca dan mengurangi OTTV bangunan secara keseluruhan. • Studi menekankan pentingnya pemilihan kaca dan pengoptimalan <i>shading pasif</i> dalam desain fasad untuk efisiensi energi bangunan.
2.	Evaluasi Nilai Overall <i>Thermal Transfer</i> (OTTV) Pada Bangunan Gedung	(I. Y. Sari et al., 2026)	Metode <i>testing out</i> dengan pendekatan kuantitatif untuk mengevaluasi selubung bangunan terhadap rumus OTTV sesuai	<ul style="list-style-type: none"> • Pilihan material selubung bangunan sangat penting dalam mengatur perpindahan panas sehingga mempengaruhi kebutuhan energi pendinginan. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nilai OTTV eksisting pada bangunan Gedung Perkuliahan Teknik Industri Universitas Malikussaleh melebihi batas maksimal SNI

No	Judul	Author	Dataset/Metode	Penemuan Relevan	Hasil
			standar SNI 6389-2020. Perhitungan OTTV berdasarkan dokumentasi bangunan, survei lapangan dan tabel standar SNI.	<ul style="list-style-type: none"> • Penggunaan kaca tipe <i>Cool Lite ST 108 Neutral 6 mm</i> dan pengaturan rasio WWR dapat diaplikasikan di bangunan beriklim tropis untuk efisiensi energi. 	<p>(39,94 W/m² > 35 W/m²).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Warna cat (α) putih menurunkan OTTV menjadi 33,87 W/m² (15,20% penurunan). • Isolasi dinding dengan ACP + rongga 40 cm menurunkan menjadi 31,66 W/m² (21,73%). • Kaca ganda 12 mm menurunkan sedikit yaitu 37,80 W/m² (5,35%). • Pengurangan rasio WWR menjadi 20% (bagian Timur & Barat) menurunkan OTTV menjadi 31,34 W/m² (21,52%). • Penggantian spesifikasi kaca ke <i>Cool Lite ST 108 Neutral 6 mm</i> secara signifikan menurunkan OTTV menjadi 21,89 W/m²

No	Judul	Author	Dataset/Metode	Penemuan Relevan	Hasil
					<p>(45,19% penurunan), paling efektif.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kesimpulan utama adalah penggantian kaca dengan <i>shading coefficient</i> rendah (SC) adalah strategi paling optimal untuk mencapai efisiensi energi dan kenyamanan termal.
3.	Strategi Menuju Kenyamanan Termal Fasad Apartemen Tanah Abang: Pendekatan WWR dan OTTV	(Naufaliansyah & Nugroho, 2025)	Metode analisis data secara kuantitatif dan komperatif. Analisis dilakukan dengan menentukan nilai WWR dan OTTV pada beberaoa alternatif desain, lalu mengevaluasi hasilnya dengan mengacu pada standar kenyamanan	<ul style="list-style-type: none"> • OTTV sebagai indikator performa termal fasad sangat dipengaruhi oleh desain WWR dan pilihan material. Penurunan WWR berpotensi menekan besaran OTTV sehingga mengurangi beban panas yang masuk dan meningkatkan efisiensi energi bangunan • Penelitian merekomendasikan penggunaan 	<ul style="list-style-type: none"> • Hasil simulasi desain awal menunjukkan OTTV sebesar 26,29 W/m² dan WWR 24,65%, yang sudah sesuai dengan standar namun masih memungkinkan optimasi • Alternatif desain dengan WWR lebih kecil (Alternatif Desain 01: WWR 17,66%, OTTV 19,40 W/m²) menekan OTTV

No	Judul	Author	Dataset/Metode	Penemuan Relevan	Hasil
			termal dan efisiensi energi.	<p>alternatif desain yang menyeimbangkan OTTV rendah dan nilai WWR yang cukup untuk pencahayaan alami.</p> <ul style="list-style-type: none"> Material isolasi yang tepat dapat menghasilkan bangunan apartemen di iklim tropis yang lebih nyaman dan hemat energi. 	<p>secara maksimal tetapi kurang optimal untuk kenyamanan visual karena WWR terlalu rendah; sedangkan Alternatif Desain 02 (WWR 20,08%, OTTV 21,78 W/m²) berhasil menekan OTTV signifikan sekaligus mempertahankan WWR dalam batas wajar yang baik untuk kenyamanan dan efisiensi energi</p>
4.	<i>Energy Efficiency Optimization Through Modification of Shading Device in an Educational Building Using an OTTV- Based Approach</i>	(Setiawan et al., 2025)	Metode eksperimen kuantitatif dengan pengukuran termal selama 30 hari (pukul 8.00-17.00 dan perhitungan OTTV sesuai SNI 03-6389-2020 menggunakan	<ul style="list-style-type: none"> OTTV gedung awal melebihi standar SNI (max 35 W/m²), yaitu 38.61 W/m², artinya gedung tidak efisien energi Bagian timur dan barat gedung memiliki nilai OTTV tertinggi karena bukaan 	<ul style="list-style-type: none"> Modifikasi fasad dengan <i>shading device</i> signifikan menurunkan OTTV gedung dari 38.61 W/m² menjadi sekitar 34.25-34.67 W/m² (memenuhi standar SNI) Rekomendasi implementasi <i>shading</i> penting

No	Judul	Author	Dataset/Metode	Penemuan Relevan	Hasil
			Microsoft Excel. Data primer dari gambar teknis bangunan.	<ul style="list-style-type: none"> • besar tanpa <i>shading</i> • Penambahan <i>shading</i> horizontal dengan kemiringan >20° atau <i>shading</i> kombinasi efektif menurunkan OTTV di bawah standar • <i>Shading</i> vertikal kurang efektif menurunkan OTTV ke nilai standar 	untuk mengurangi beban pendinginan dan meningkatkan kenyamanan kerja penghuni gedung
5.	Analisis Efektifitas <i>Secondary Skin</i> Terhadap Nilai OTTV dan Pencahayaan Alami Pada Ruang Auditorium FIAI UII	(Saifulhaq et al., 2023)	Metode kuantitatif dengan simulasi 3D <i>modeling</i> pada ruang auditorium FIAI UII. Simulasi dilakukan pada 2 sisi bangunan (Timur dan Barat), dengan dan tanpa <i>secondary skin</i> , serta variasi desain penggunaan material dan pola <i>grid</i> pada <i>secondary skin</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Penggunaan <i>secondary skin</i> memengaruhi penurunan pencahayaan alami dalam ruang, dengan nilai pencahayaan tetap memenuhi standar UDI dan SNI jika desain <i>secondary skin</i> dan sistem fenestrasi tepat. • Faktor utama penurunan OTTV adalah pemilihan material sistem fenestrasi dan desain <i>secondary</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Secondary skin</i> FIAI dengan material awal menghasilkan OTTV 58.22 W/m², belum memenuhi standar 35 W/m². • Setelah <i>redesign fenestrasi</i> dan <i>secondary skin</i> dengan material Stopray dan pola grid 3x12, OTTV turun menjadi 30.92 W/m², memenuhi standar SNI.

No	Judul	Author	Dataset/Metode	Penemuan Relevan	Hasil
			untuk menganalisis efek terhadap OTTV dan pencahayaan alami. Data dikumpulkan dengan simulasi nilai pencahayaan dan OTTV menggunakan standar SNI dan UDI.	skin, khususnya pola grid dan Window to Wall Ratio (WWR).	<ul style="list-style-type: none"> Desain <i>secondary skin</i> yang berbeda memberikan hasil berbeda terhadap OTTV dan pencahayaan, sehingga desain yang optimal penting untuk memenuhi standar konservasi energi dan kenyamanan visual ruang.

Sumber : Data Penulis Sendiri


Berdasarkan *literature review* yang dilakukan di atas terhadap lima penelitian terdahulu, diketahui bahwa masih terdapat keterbatasan adanya penelitian terhadap bangunan pendidikan, khususnya yang memiliki fungsi spesifik sebagai bangunan laboratorium terpadu atau *teaching factory* yang memiliki beban termal dan aktivitas ruang yang tinggi. Selain terkait tipologi dan fungsi bangunan, ditemukan adanya studi yang mengomparasikan material kaca jenis *Single Clear*, Panasap, dan Stopsol. Namun, penelitian tersebut terbatas pada penggunaan ketebalan kaca standar 5 mm tanpa spesifikasi varian warna yang detail. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan menguji penggunaan kaca ketebalan 8 mm dan standarisasi varian warna *Euro Grey* pada jenis kaca rekomendasi, yaitu Panasap dan Stopsol untuk menjaga konsistensi variabel. Pada penelitian ini juga mengintegrasikan penyesuaian rasio bukaan dan penehup luar sebagai parameter penunjang optimalisasi OTTV.

2.7. Studi Preseden

Studi preseden dilakukan untuk mengetahui dan mengadopsi berbagai strategi desain fasad pada objek bangunan lain, baik pada bangunan yang telah memiliki nilai OTTV optimal, maupun yang belum mencapai nilai OTTV sesuai standar. Melalui tinjauan terhadap beberapa bangunan di Indonesia, didapat identifikasi parameter desain yang paling berpengaruh terhadap penurunan beban penerimaan termal pada selubung bangunan. Ringkasan hasil studi preseden disajikan dalam (Tabel 2. 10) berikut

Tabel 2. 10 Studi Preseden

No	Nama Bangunan	OTTV (W/m ²)	Strategi
1	Menara BNI Pejompongan 	33,76 (optimal)	Penggunaan fasad kaca berperforma tinggi (<i>high-performance solar control glass</i>) berketebalan 8mm SKN 144 +12 mm <i>air space</i> + 6 mm <i>Clear</i>
2	Apartemen Batu Ceper Tangerang 	29,18 (optimal)	Rasio <i>Window-to-Wall Ratio</i> yang rendah

3.	<p>Gedung Perkuliahan Teknik Industri Universitas Malikussaleh</p> 	<p>Perubahan warna cat untuk menurunkan nilai absorbtansi (α), isolasi dinding luar (U_w), penggunaan kaca ganda (U_f), menyesuaikan nilai WWR, dan pemilihan kaca dengan spesifikasi <i>shading coefficient</i> optimal (I. Y. Sari et al., 2026)</p> <p>39,94 (belum optimal)</p>
----	--	---

Berdasarkan tabel di atas, ditunjukkan bahwa strategi untuk mencapai nilai OTTV yang optimal bergantung pada pemilihan material fenetrasi dan pengaturan luas bukaan (WWR). Pada Menara BNI Pejompongan, penggunaan kaca berperforma tinggi dengan sistem *double glazing* mampu membuat nilai OTTV pada bangunan berfasad *full* kaca ini mencapai 33,76 W/m². Pada Apartemen Batu Ceper menunjukkan bahwa rasio WWR rendah mampu menekan angka OTTV hingga sebesar 29.18 W/m². Sedangkan nilai OTTV pada Gedung Perkuliahan Teknik Industri Universitas Malikussaleh ditemukan belum memenuhi standar, namun pada penelitian yang dilakukan oleh Sari (I. Y. Sari et al., 2026), terbukti bahwa strategi optimasi warna cat, isolasi dinding, pemilihan material kaca, dan penyesuaian WWR mampu menurunkan nilai OTTV menjadi berada di kategori memenuhi standar. Pada studi preseden ini menunjukkan bahwa untuk mencapai nilai OTTV yang optimal tidak hanya bergantung pada satu parameter, melainkan hasil integrasi antara pemilihan spesifikasi kaca, pengoptimalan rasio bukaan, dan pengaplikasian elemen peneduh.