

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Objek Studi

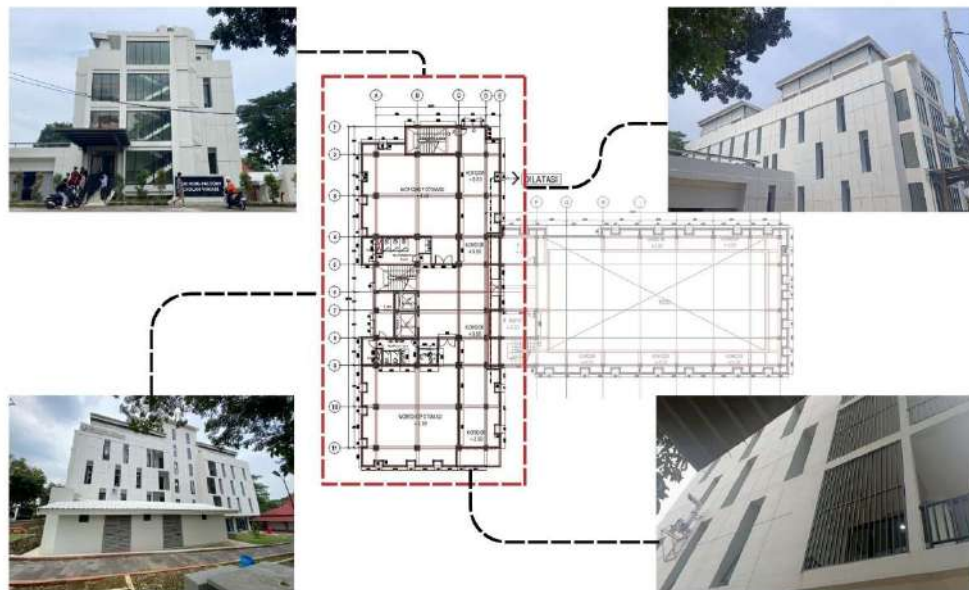
Ditinjau dari data eksisting, Gedung *Teaching Factory* Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro memiliki luasan 926,5 m² yang terdiri dari 5 lantai utama dan 1 lantai di lantai 6 untuk ruang utilitas. Pada lantai 1 terdapat ruang *industrial process control center*, *smart technology engineering center*, dan *workshop* lantai dasar. Pada lantai 2 terdapat ruang *industrial biotech center*, *quality control engineering center*, dan *workshop* lantai kedua. Lantai 3 terdapat ruang *industrial automation and control system workshop* dan *mechatronics and robotic workshop*, Lantai 4 terdapat *micro controller and programming workshop*, *renewable energy workshop*. Kemudian lantai 5 yang terdapat ruang *workshop digital construction* dan *centre of spatial planning and land survey*.



Gambar 4. 1 Bagian Dalam Bangunan *Teaching Factory* Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro

Selubung bangunan terlihat banyak bukaan jendela dengan tipe jendela *awning top hung* yang mundur masuk ke dalam bangunan berukuran tinggi 250

cm dan lebar 80 cm pada bagian samping bangunan yang menghadap ke arah Utara dan Selatan. Sementara itu, terdapat bukaan jendela yang cukup besar dengan *fixed glass* di bagian di area tangga dengan jendela berukuran tinggi 270 cm dan lebar 390 cm menghadap Barat. Bagian bangunan yang menghadap ke arah Timur menggunakan bukaan jendela, kisi-kisi aluminium dan balkon dengan *railing*.



Gambar 4. 2 Tampak Luar Bangunan *Teaching Factory* Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro

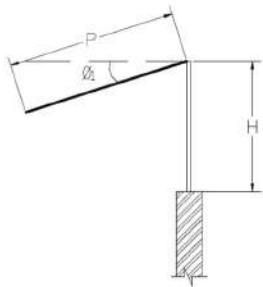
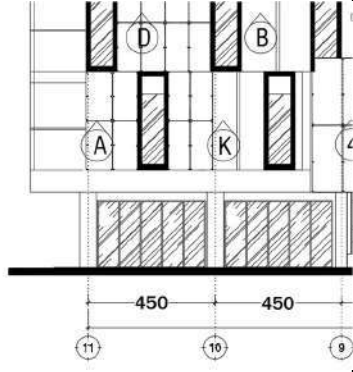

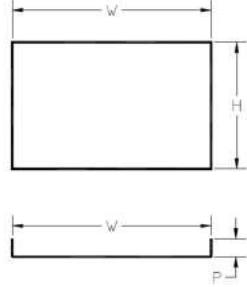
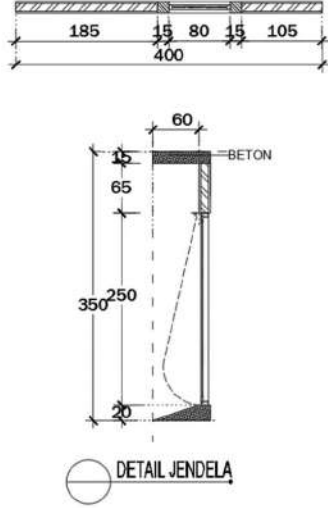

Pada kondisi eksisting, digunakan jenis kaca bening selapis (*single clear glass*) dengan ketebalan 8 mm yang memiliki spesifikasi teknis seperti yang ditunjukkan pada (Tabel 4. 1) dipadukan dengan dua variasi peneduh berupa peneduh proyeksi mendatar, dan sistem peneduh tipe *Louver Egg-crate* (Tabel 4. 2).

Tabel 4. 1 Spesifikasi Teknis Material Kaca *Single Clear Glass* ketebalan 8mm

INDOFLOT												
Type of Glass	Standard Thickness (mm)	Light Characteristic			Energy Characteristic				Solar Factor (%)	Shading Coefficient	U Value (W/m ² K)	SHGC
		Transmittance (%)	Reflectance Out (%)	Reflectance In (%)	Transmittance (%)	Reflectance (%)	Absorption (%)	Ultra Violet Transmission (%)	SF	SC	U Val	
Indoflot Clear (FL)	8	88	8	8	77	7	16	56	81	0.93	5.7	0.800

Sumber: Katalog Asahimas AGC Group

Tabel 4. 2 Tipe Peneduh Eksisting

Tipe Peneduh	Kondisi Eksisting	Dokumentasi Eksisting
<p>1. Peneduh Proyeksi Mendatar Kemiringan 0°</p> 		
<p>2. Peneduh <i>Louver Egg-crate</i></p> 		

4.2 Hasil Perhitungan Nilai *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) Eksisting

Berdasarkan hasil analisis data termal pada selubung bangunan, nilai *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) pada kondisi eksisting menunjukkan angka sebesar 38,84 W/m². Angka ini merupakan akumulasi dari perpindahan panas melalui dinding masif dan bagian transparan pada seluruh empat orientasi fasad bangunan. Merujuk pada standar konservasi energi yang berlaku (SNI 6389:2020), nilai tersebut melampaui batas maksimal yang diizinkan sebesar 35 W/m², sehingga diperlukan evaluasi lebih lanjut terhadap material selubung dan rasio bukaan dinding. Hasil akhir dan perbandingan beban panas antar orientasi bangunan disajikan secara berurutan mulai dari orientasi Utara hingga Barat pada (Tabel 4. 3). Pada tabel tersebut, ditunjukkan bahwa orientasi Barat memberikan kontribusi beban panas tertinggi dibandingkan orientasi lainnya dengan nilai sebesar 67,35 W/m².

Tabel 4. 3 *Summary* Hasil Perhitungan OTTV Eksisting

No	Side	Konduksi melalui Dinding	Konduksi melalui Bukaan	Radiasi melalui Bukaan	Total	Total Area Fasad	OTTV
		Watt	Watt	Watt	Watt	m2	Watt/m2
		A	B	C	D = A + B + C	E	D / E
1	UTARA	6,141.76	4,500.77	16,650.84	27,293.36	763.88	35.73
2	TIMUR LAUT	-	-	-	-	-	-
3	TIMUR	2,389.24	2,192.65	8,926.23	13,508.12	311.02	43.43
4	TENGGARA	-	-	-	-	-	-
5	SELATAN	5,835.41	3,970.73	10,603.54	20,409.68	724.01	28.19
6	BARAT DAYA	-	-	-	-	-	-
7	BARAT	2,126.87	2,715.39	15,610.03	20,452.30	303.65	67.35
8	BARAT LAUT	-	-	-	-	-	-
		16,493.28	13,379.54	51,790.64	81,663.46	2,102.56	38.84
		TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL

COMPLY? **NO**

Besarnya nilai OTTV tersebut juga dipengaruhi oleh proporsi bukaan transparan. Berdasarkan hasil perhitungan, rata-rata *Window-to-Wall Ratio* (WWR) total bangunan adalah sebesar 23,15%. Meskipun secara total angka ini tergolong rendah, pada bangunan eksisting distribusi bukaan cenderung tidak merata seperti yang telah dirincikan pada (Tabel 4. 4) terkait luas dinding dan jendela untuk setiap orientasi yang kemudian sebaran persentase WWR untuk masing-masing fasad dipertegas secara berurutan mulai dari orientasi

Utara hingga Barat. Pada perincian tersebut, presentase WWR terbesar ditunjukkan pada orientasi Barat sebesar 31,38 %.

Tabel 4. 4 *Summary* Hasil Perhitungan WWR Eksisting

No	Side	Total Area Bukaan	WWR
		m2	(%)
		F	F / E
1	UTARA	162.15	21.23
2	TIMUR LAUT	-	-
3	TIMUR	76.94	24.74
4	TENGGARA	-	-
5	SELATAN	152.29	21.03
6	BARAT DAYA	-	-
7	BARAT	95.28	31.38
8	BARAT LAUT	-	-
		486.65	23.15
		TOTAL	TOTAL

Tingginya *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) dan *Window-to-Wall Ratio* (WWR) pada orientasi Barat sangat dipengaruhi oleh faktor paparan radiasi matahari sore dan adanya bukaan besar dengan minim peneduh luar (*shading device*) pada desain fasad.

4.3 Strategi Redesain

Hasil perhitungan *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) pada kondisi eksisting yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa nilai yang didapat belum mencapai kriteria standar. Mengacu pada data spesifikasi teknis material, nilai WWR, orientasi fasad, serta nilai OTTV eksisting yang telah dirangkum dan dijadikan sebagai dasar pengambilan keputusan pada (Tabel 4. 5), diperlukan langkah-langkah optimasi melalui strategi redesain yang terukur.

Tabel 4. 5 Data Teknis Kaca dan Parameter OTTV Bangunan Eksisting

Spesifikasi	Eksisting
Jenis	Indoflot
Merk	Asahimas
Ketebalan (mm)	8
Warna	Clear
SHGC	0,80
Sistem Peneduh Luar	Proyeksi Mendatar dan <i>Louver Egg-crate</i>
WWR (%)	23,15
OTTV (Watt/m ²)	38,84
Orientasi	Selatan

Berdasarkan hasil rangkuman analisis dan perhitungan tersebut, disusunlah sebuah panduan (*guideline*) strategi redesain yang bertujuan untuk menurunkan beban panas pada bangunan (Tabel 4. 6). Panduan ini mencakup empat parameter utama perhitungan nilai OTTV pada bangunan sesuai standar SNI 6389:2020, yaitu rasio bukaan (WWR), pemilihan kaca, aplikasi peneduh luar (*shading*), serta pertimbangan orientasi bangunan.

Tabel 4. 6 Panduan Strategi Redesain

Parameter	Optimasi Desain	Alasan Teknis dan Pertimbangan	WWR Eksisting
WWR	Menaikkan total WWR sebesar 10%	Menguji batas optimal total WWR agar tetap dibawah 30% sesuai Permen PUPR No.21 Tahun 2021. Selain itu, dilakukan analisis untuk	23,15%
	Menurunkan total WWR sebesar 10%	memastikan integrasi material kaca mampu menjaga nilai OTTV tidak melebihi 35 W/m ² sesuai SNI 6389:2020, meski pada skenario WWR yang lebih tinggi atau lbih rendah dari eksisting	23,15%
Material	Pengaplikasian Material Kaca Panasap Euro	Memilih material dengan nilai SHGC dan <i>U-Value</i> rendah untuk mereduksi panas radiasi.	23,15%

	Grey (DEFL) ketebalan 8mm, SHGC 0.507, U-Value 5.7 W/m ² K	Penggunaan jenis material diselaraskan dengan standar material yang umum digunakan pada bangunan Universitas Diponegoro. Ketebalan 8mm dipilih agar konsisten dengan spesifikasi eksisting namun dengan performa termal yang lebih baik. Variasi warna Euro Grey dipilih guna mempertahankan estetika bangunan karena warnanya yang netral.	
	Pengaplikasian material kaca New Stopsol Supersilver Euro Grey (SSGEF) ketebalan 8mm, SHGC 0.439, U-Value 5.6 W/m ² K		
Peneduh Luar	Sistem peneduh <i>Horizontal Louvre</i>	Berdasarkan perhitungan VSA, peneduh horizontal efektif memblokir matahari sudut tinggi. Sistem <i>louvre</i> digunakan agar kedalaman peneduh yang besar tetap proporsional dengan modul fasad.	23,15%
	Sistem peneduh <i>Vertical Louvre</i>	Berdasarkan perhitungan HSA, sirip vertikal lebih efektif menghalau radiasi matahari sudut rendah (pagi/sore) terutama pada orientasi Timur-Barat yang menjadi orientasi dengan perolehan beban panas tertinggi. Jarak antar bilah disesuaikan dengan proporsi fasad untuk menjaga estetika desain.	
Orientasi	x	x	Selatan

Sebagai langkah awal optimasi, dilakukan penyesuaian rasio bukaan dinding atau total *Window-to-Wall Ratio* (WWR) dengan melakukan simulasi perbandingan antara penambahan dan pengurangan luas bukaan sebesar 10% dari kondisi eksisting. Strategi ini dilakukan secara global untuk menemukan proporsi luas jendela yang paling efisien dalam menekan perolehan panas radiasi ke dalam ruang.

Setelah proporsi WWR dan dimensi jendela yang baru ditetapkan, dilakukan analisis geometri matahari untuk menentukan sistem peneduh

(*shading device*). Analisis ini menggunakan data dari *NOAA Solar Calculator* untuk mendapatkan parameter *solar azimuth* dan *solar elevation* yang akurat berdasarkan koordinat Gedung *Teaching Factory* Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro ($7^{\circ}03'03.54''S$ $110^{\circ}26'06.05''E$) pada 2 Maret 2026.

Data tersebut kemudian diolah untuk menentukan sudut jatuh matahari kritis (*Horizontal Shadow Angle* dan *Vertical Shadow Angle*), yang menjadi dasar dalam menentukan proyeksi kedalaman peneduh ideal agar dapat memblokir radiasi matahari secara maksimal pada jam operasional bangunan. Hasil perhitungan tersebut dirangkum pada (Tabel 4. 7) berikut

Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Solar (NOAA) dan Kedalaman Peneduh


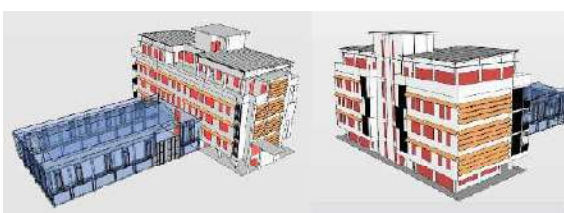
Orientasi Fasad	Jam Kritis (WIB)	Solar Azimuth (°)	Solar Elevation (°)	HSA (°)	VSA (°)	Tinggi Jendela (m)	Kedalaman Peneduh (m)
Timur	09.00	93,04	47,75	3,06	47,78	2,2	2
Utara	13.00	268,46	72,75	91,54	-0,03	2,2	0,68
Barat	15.00	266,77	43	-3,23	43,05	2	2,14
Selatan	16.00	265,65	28,16	85,65	81,94	2	0,28

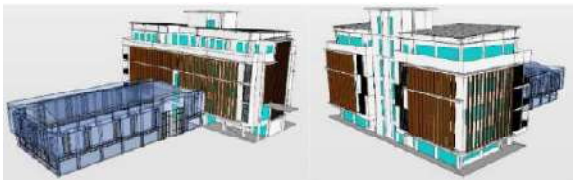

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, proyeksi kedalaman peneduh yang dihasilkan dapat diterapkan sebagai peneduh proyeksi vertikal dan proyeksi mendatar dalam bentuk gabungan sistem kanopi dan sistem bilah (*louvre*).

Dalam penentuan dimensi dan kemiringan bilah atau kanopi, dilakukan penyesuaian dengan tujuan untuk menjaga proporsi estetika fasad dan efisiensi struktur. Pembagian dan penyesuaian dimensi lebar bilah peneduh ini dilakukan agar struktur dinding tidak terlalu terbebani oleh peneduh yang menonjol terlalu jauh keluar bangunan seperti pada orientasi Barat dan Timur yang mencapai 2,14 m dan 2 m serta menyesuaikan ketersediaan ukuran material di pasaran tanpa mengurangi efektivitas pembayangan pada bukaan jendela.


Tahap selanjutnya adalah implementasi integrasi beberapa strategi desain melalui perencanaan permodelan beberapa alternatif massa bangunan. Pada setiap permodelan yang dibuat, diaplikasikan dua variasi peneduh luar yang dimensinya telah disesuaikan dengan hasil analisis geometri matahari dan mempertimbangkan keseimbangan elemen fasad, serta dua jenis material kaca pilihan yang memiliki performa termal unggul. Melalui integrasi beberapa variabel tersebut, dihasilkan delapan alternatif desain (Tabel 4. 8). Kedelapan alternatif ini akan dikomparasikan untuk menentukan kombinasi elemen selubung bangunan paling efisien dalam mencapai target nilai OTTV di bawah 35W/m^2 sesuai standar SNI 6389:2020.

Tabel 4. 8 Alternatif Desain

No	Alternatif Desain	WWR (%)	Keterangan	Dimensi Peneduh
1		25,47	Integrasi WWR +10% dengan peneduh horizontal berdasarkan analisis VSA dan penyesuaian dimensi peneduh serta kaca Panasap Euro Grey (DEFL) 8mm (SHGC 0.507, U-Value 5.7 W/m ² K)	<ul style="list-style-type: none"> • Timur: 4 bilah, dengan kemiringan 50°, lebar 60 cm dan jarak 70 cm • Utara dan Selatan: kemiringan 50° dan lebar 50 cm • Barat: 5 bilah, dengan kemiringan 20°, lebar 40 cm dan jarak 55 cm
2		25,47	Integrasi WWR +10% dengan peneduh horizontal berdasarkan analisis VSA dan	

			penyesuaian dimensi peneduh serta kaca New Stopsol Supersilver Euro Grey (SSGEF) 8mm (SHGC 0.439, U-Value 5.6 W/m ² K)	
3		25,47	Integrasi WWR +10% dengan peneduh vertikal berdasarkan analisis HSA dan penyesuaian dimensi peneduh serta kaca Panasap Euro Grey (DEFL) 8mm (SHGC 0.507, U-Value 5.7 W/m ² K)	<ul style="list-style-type: none"> • Timur, Utara, dan Selatan: kemiringan 20°, lebar 50 cm dan jarak 80 cm
4		25,47	Integrasi WWR +10% dengan peneduh vertikal berdasarkan analisis VSA dan penyesuaian dimensi peneduh serta kaca New Stopsol Supersilver Euro Grey (SSGEF) 8mm (SHGC 0.439, U-Value 5.6 W/m ² K)	<ul style="list-style-type: none"> • Barat: kemiringan 30°, lebar 50 cm dan jarak 50 cm

5		20,84	<p>Integrasi WWR - 10% dengan peneduh horizontal dan penyesuaian dimensi peneduh serta kaca Panasap Euro Grey (DEFL) ketebalan 8mm, SHGC 0.507, U-Value 5.7 W/m²K</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Timur: 5 bilah, dengan kemiringan 50°, lebar 60 cm dan jarak 60 cm • Utara dan Selatan: kemiringan 50° dan lebar 50 cm
6		20,84	<p>Integrasi WWR - 10% dengan peneduh horizontal dan penyesuaian dimensi peneduh serta kaca New Stopsol Supersilver Euro Grey (SSGEF) ketebalan 8mm, SHGC 0.439, U-Value 5.6 W/m²K</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Barat: 5 bilah, dengan kemiringan 20°, lebar 40 cm dan jarak 40 cm
7		20,84	<p>Integrasi WWR - 10% dengan peneduh vertikal dan penyesuaian dimensi peneduh serta kaca Panasap Euro Grey (DEFL) ketebalan 8mm,</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Timur, Utara, dan Selatan: kemiringan 20°, lebar 60 cm dan jarak 70 cm • Barat: kemiringan

			SHGC 0.507, U-Value 5.7 W/m ² K	20°, lebar 60 cm dan jarak 50 cm
8		20,84	Integrasi WWR - 10% dengan peneduh horizontal dan penyesuaian dimensi peneduh serta kaca New Stopsol Supersilver Euro Grey (SSGEF) ketebalan 8mm, SHGC 0.439, U-Value 5.6 W/m ² K	

4.4 Perhitungan dan Komparasi Nilai *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) Redesain

Analisis nilai OTTV dilakukan dengan mengomparasikan delapan alternatif desain yang telah dimodelkan dengan tujuan untuk melihat seberapa efektif desain fasad, pilihan material kaca, dan pengaplikasian sistem peneduh dalam meredam panas matahari yang masuk ke bangunan. Hasil akhir dari perhitungan setiap alternatif desain dan material akan dibandingkan secara menyeluruh untuk menemukan kombinasi desain yang paling optimal dan sesuai dengan standar SNI 6389:2020. Untuk tabel perhitungan *summary* setiap alternatif desain terdapat pada Lampiran 3 hingga Lampiran 10.

Tabel 4. 9 Komparasi Hasil Perhitungan Nilai OTTV Redesain

No	Desain	WWR Redesain (%)	OTTV Redesain (W/m ²)
1	Alternatif Desain 1	25,47	30,39
2	Alternatif Desain 2	25,47	28,18
3	Alternatif Desain 3	25,47	31,91
4	Alternatif Desain 4	25,47	29,49
5	Alternatif Desain 5	20,84	26,25
6	Alternatif Desain 6	20,84	24,50
7	Alternatif Desain 7	20,84	26,85
8	Alternatif Desain 8	20,84	25,04

Berdasarkan data hasil perhitungan pada tabel di atas, didapat delapan variasi alternatif desain dengan integrasi antara penyesuaian rasio bukaan, pemilihan material, dan penambahan peneduh. Secara keseluruhan, semua alternatif yang simulasi dan perhitungkan telah berhasil memenuhi ambang batas SNI 6389:2020, yaitu OTTV maksimal 35 W/m² dan Permen PU No.21 Tahun 2021, yaitu WWR kurang dari 30% dengan rincian komparasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. 10 berikut:

Tabel 4. 10 Komparasi Kesesuaian Standar

Eksisting				Redesain			
Desain	WWR Eksisting (%)	OTTV Eksisting (W/m ²)	Kesesuaian Standar	Desain	WWR Redesain (%)	OTTV Redesain (W/m ²)	Kesesuaian Standar
Desain Eksisting	23,15	38,84	<ul style="list-style-type: none"> Belum memenuhi SNI 6289:2020 batas maksimal 35 W/m². 	Alternatif Desain 1	25,47	30,39	Memenuhi SNI 6289:2020 batas maksimal 35 W/m ² dan Permen PU No. 21 Tahun 2021 batas maksimal WWR kurang dari 30%

			<ul style="list-style-type: none"> Memenuhi Permen PU No. 21 Tahun 2021 batas maksimal WWR kurang dari 30% 	Alternatif Desain 2	25,47	28,18	Memenuhi SNI 6289:2020 batas maksimal 35 W/m ² dan Permen PU No. 21 Tahun 2021 batas maksimal WWR kurang dari 30%
				Alternatif Desain 3	25,47	31,91	Memenuhi SNI 6289:2020 batas maksimal 35 W/m ² dan Permen PU No. 21 Tahun 2021 batas maksimal WWR kurang dari 30%
				Alternatif Desain 4	25,47	29,49	Memenuhi SNI 6289:2020 batas maksimal 35 W/m ² dan Permen PU No. 21 Tahun 2021 batas maksimal WWR kurang dari 30%
				Alternatif Desain 5	20,84	26,25	Memenuhi SNI 6289:2020 batas maksimal 35 W/m ² dan Permen PU No. 21 Tahun 2021 batas maksimal WWR kurang dari 30%

				Alternatif Desain 6	20,84	24.50	Memenuhi SNI 6289:2020 batas maksimal 35 W/m ² dan Permen PU No. 21 Tahun 2021 batas maksimal WWR kurang dari 30%
				Alternatif Desain 7	20,84	26,85	Memenuhi SNI 6289:2020 batas maksimal 35 W/m ² dan Permen PU No. 21 Tahun 2021 batas maksimal WWR kurang dari 30%
				Alternatif Desain 8	20,84	25.04	Memenuhi SNI 6289:2020 batas maksimal 35 W/m ² dan Permen PU No. 21 Tahun 2021 batas maksimal WWR kurang dari 30%

Nilai OTTV terendah dicapai oleh Alternatif Desain 6 dengan nilai OTTV sebesar 24,50 W/m², sedangkan nilai tertinggi berada pada Alternatif Desain 3 dengan nilai sebesar 31,91 W/m². Terlihat bahwa penurunan WWR sebanyak 10% dari 23,15% menjadi 20,84% terbukti mampu membantu mereduksi beban termal, namun efektivitasnya tetap bergantung pada kombinasi material kaca dan sistem peneduh yang digunakan.

Dari delapan alternatif desain, dipilih Alternatif Desain 6 sebagai rekomendasi perancangan yang paling optimal. Alternatif ini dipilih melalui pertimbangan sebagai berikut:

1. Alternatif 6 memberikan nilai OTTV yang berada di bawah ambang batas maksimal SNI dengan integrasi seimbang antara penyesuaian WWR agar tetap mempertahankan kebutuhan fungsi ruang, penggunaan material kaca dan sistem peneduh yang tepat sehingga nilai OTTV dapat mencapai kategori optimal tanpa mengorbankan desain fasad secara keseluruhan.
2. Kemudahan instalasi material kaca New Stopsol Supersilver Euro Grey (SSGEF) ketebalan 8mm karena dari ketebalan yang dipilih disamakan dengan ketebalan kaca eksisting namun dengan performa termal yang lebih unggul. Penggunaan peneduh tipe horizontal pada alternatif ini dipilih karena proses instalasinya yang lebih praktis dan efisien secara struktural dibanding tipe vertikal. Dengan menggunakan material peneduh ACP Marks, sirip peneduh dapat dibentuk secara pabrikasi menjadi modul yang presisi dan ringan, sehingga mudah ditumpu langsung pada balok tanpa membebani struktur utama secara berlebihan.
3. Material kaca New Stopsol Supersilver Euro Grey (SSGEF) ketebalan 8mm dan material peneduh horizontal ACP Marks yang digunakan pada alternatif 6 merupakan material yang umum tersedia di pasar lokal sehingga meminimalisir kendala pengadaan material
4. Dipilih kombinasi material yang memiliki daya tahan tinggi dan mudah dalam *maintenance* sehingga tidak membebani biaya operasional gedung di masa depan.