



Optimalisasi Konservasi Energi Bangunan Bertingkat Melalui Pilihan Material Kaca sebagai Fasad

Optimizing the Energy Conservation of High-rise Buildings Through the Choice of Glass Materials as Facades

Hari Utama*, Erni Setyowati

Department of Architecture, Faculty of Engineering, Diponegoro University, Semarang, Indonesia

*Corresponding author hariutama19@gmail.com

Article history

Received: 9 September 2022

Accepted: 22 October 2022

Published: 30 October 2022

Abstract

Box-shaped buildings covered by glass and minimal shading elements are increasingly common, then causes more large building energy consumption. This research aims to analyze the selection of the most optimal glass material for the Undip Integrated Laboratory Building, so that the Overall Thermal Transfer Value (OTTV) of the building is expected to meet the SNI 6389:2020 standard. The research was conducted with an experimental quantitative approach using a spreadsheet calculator OTTV Microsoft Excel of the Ministry of Public Works and Housing. The simulation is divided into three treatment variations, namely variations in BNFL glass thickness; variations in the color of Panasap's glass; and various types of glass. The results show that glass materials with good thermal properties have low shading coefficient (SC), solar factor (SF), and U-value. In addition, the brighter and thicker the glass material, the better the thermal performance. The Undip Integrated Laboratory Building has a total OTTV that meets SNI 6389:2020 standards. However, if viewed partially, the OTTV of the east facade of the building needs to be retrofitted.

Keywords: building envelope; energy conservation; fenestration; glass material

Abstrak

Bangunan berbentuk kotak yang dilapisi kaca dan elemen peneduh minimal semakin umum, lambat laun akan mengakibatkan konsumsi energi bangunan yang besar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pemilihan material kaca yang paling optimal untuk Gedung Laboratorium Terpadu Undip, sehingga Overall Thermal Transfer Value (OTTV) gedung diharapkan memenuhi standar SNI 6389:2020. Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif eksperimental menggunakan kalkulator spreadsheet OTTV Microsoft Excel Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Simulasi dibagi menjadi tiga variasi perlakuan, yaitu variasi ketebalan kaca BNFL; variasi warna gelas Panasap; dan berbagai jenis kaca. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material kaca dengan sifat termal yang baik memiliki koefisien shading (SC), solar factor (SF), dan nilai U yang rendah. Selain itu, semakin cerah dan tebal bahan kaca, semakin baik kinerja termal. Gedung Laboratorium Terpadu Undip memiliki total OTTV yang memenuhi standar SNI 6389:2020. Namun jika dilihat sebagian, OTTV fasad timur bangunan perlu dilakukan perkuatan.

Keywords: selubung bangunan; konservasi energi; fenestrasi; bahan kaca

1. PENDAHULUAN

Berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi konstruksi menjadi salah satu faktor perubahan wajah arsitektur perkotaan di dunia, termasuk di Indonesia. Fenomena ini ditandai melalui semakin banyaknya bangunan tinggi berbentuk dasar kotak dengan ekspresi fasad menggunakan material kaca tanpa perangkat pembayangan yang sesuai konteks lokasi (Olgyay, 1992). Ide desain ini berkembang dan memberi manfaat sangat baik bagi konservasi energi bangunan di iklim sub tropis. Radiasi matahari yang diserap bangunan melalui bidang kaca berguna untuk menghangatkan ruang dalam sehingga konsumsi energi untuk kebutuhan pemanas ruangan dapat berkurang (Ramadona, 2017).

Permasalahan muncul ketika bahasa desain serupa diterapkan di iklim tropis lembab Indonesia. Beban termal yang masuk pada bangunan kaca tanpa perangkat pembayangan akan terjebak di ruang dalam bangunan. Akumulasi panas dalam bangunan ini terjadi karena gelombang pendek yang berubah menjadi gelombang panjang ketika melewati bidang kaca bangunan yang tidak dapat ditransmisikan kembali ke luar menembus kaca (Auliciems, 1986, dalam Purwanto, 2011). Kondisi ini akan membuat nilai OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*) bangunan menjadi tinggi sehingga mengakibatkan penggunaan energi untuk beban pendinginan bangunan membengkak.

Menurut SNI 6389:2020, konservasi energi selubung bangunan dapat dilihat dari nilai *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV), yaitu ketetapan nilai kriteria perancangan untuk dinding dan kaca bagian luar bangunan gedung yang dikondisikan. OTTV adalah nilai perpindahan panas radiasi matahari yang diterima selubung bangunan per meter persegi luas (Wibawa & Hutama, 2019). Perolehan termal bangunan melalui selubung terjadi dalam bentuk konduksi bidang masif (0,2% - 5%), konduksi bidang transparan (10% - 20%), serta radiasi yang terjadi pada bidang transparan (70% - 85%) (Setyowati, 2015). Menurut SNI 6389:2020, nilai OTTV suatu bangunan di Indonesia tidak boleh melebihi 35 W/m². Nilai OTTV bangunan pada orientasi tertentu dapat dihitung dengan persamaan (1), sedangkan perhitungan nilai OTTV total

bangunan didapatkan menggunakan persamaan (2).

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

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

Kaca sebagai material selubung bangunan seharusnya dapat berperan positif sebagai kontrol dan filter lingkungan. Menurut Givoni (1998), iklim dalam bangunan banyak dipengaruhi oleh desain kaca beserta elemen pembayangannya. Desain dan pilihan material kaca dapat menjadi salah satu faktor penentu konsumsi energi bangunan. Hal ini terutama berkaitan dengan sifat termal, sifat optikal, serta luas bidang kaca (*Window-to-Wall Ratio/WWR*) pada selubung bangunan.

Sifat termal kaca diantaranya berkaitan dengan nilai konduktivitas termal (Nilai-U), warna, dan ketebalan kaca. Semakin gelap dan tipis material kaca yang digunakan pada selubung bangunan, semakin meningkat pula Nilai-U kaca. Artinya, material kaca dengan Nilai-U rendah lebih direkomendasikan karena dapat menahan transfer termal dari luar dengan lebih baik. Selain itu, terdapat pula *shading coefficient* (SC) maupun *solar heat gain coefficient* (SHGC). Semakin rendah nilai SC dan SHGC suatu kaca, semakin baik sifat termalnya (Mediastika, 2018).

Penelitian sebelumnya, yaitu mengenai rekayasa material kaca pada fasad bangunan yang pernah dilakukan oleh Vidiyanti (2015), menerangkan bahwa nilai OTTV Gedung *Campus Centre* Barat ITB berkurang hingga 31 kWh/m²/tahun melalui penggantian material kaca jendela dari *single glass* menjadi *double low-E glass*. Selain itu, dalam kasus *National Hospital* Surabaya, Fatmala (2019) mengemukakan bahwa penggunaan jenis kaca berwarna dan kaca ramah lingkungan dapat menurunkan nilai OTTV bangunan dengan cukup signifikan (1,5 – 10,2 W/m²).

Gedung Laboratorium Terpadu Undip merupakan sebuah bangunan enam lantai dengan fasad bermaterial kaca yang cukup luas. Di samping itu, bangunan pendidikan merupakan salah satu dari enam tipe bangunan yang memiliki rata-rata konsumsi energi bangunan terbesar, sehingga perlu dilakukan upaya konservasi energi (Gunawan dkk., 2012). Salah satu caranya dapat dilakukan dengan

konservasi energi selubung bangunan melalui perencanaan dan pemilihan material kaca yang tepat.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pemilihan material kaca yang paling optimal pada bangunan Laboratorium Terpadu Undip terkait konservasi energi selubung bangunan. Penelitian konservasi energi selubung bangunan ini fokus pada nilai OTTV berdasarkan SNI 6389:2020. Hasil penelitian diharapkan akan berguna sebagai masukan bagi perbaikan bangunan di masa yang akan datang.

2. METODE

2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini adalah jenis penelitian terapan dengan pendekatan kuantitatif eksperimen dari studi observasi data lapangan. Beberapa alternatif solusi rancangan desain akan diberikan untuk mengatasi permasalahan yang ditemukan dalam penelitian. Alternatif perbaikan desain ini diharapkan akan berguna sebagai masukan perbaikan gedung di masa yang akan datang.

2.2 Sasaran dan Parameter Penelitian

Berdasarkan pada tujuan penelitian yang ada, sasaran penelitian ini adalah untuk mengetahui pilihan material kaca yang paling optimal pada Gedung Laboratorium Terpadu Undip terkait konservasi energi selubung bangunan. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah perhitungan nilai OTTV bangunan ketika disimulasikan menggunakan beberapa variasi material kaca yang berbeda, di antaranya adalah variasi ketebalan, warna, dan jenis kaca. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai OTTV bangunan. Sesuai dengan ketentuan SNI 6389:2020, konservasi energi selubung bangunan dapat dikatakan baik jika nilai OTTV bangunan tidak lebih dari 35 W/m². Nilai OTTV bangunan akan dihitung menggunakan *spreadsheet calculator OTTV Microsoft Excel* Kementerian PUPR.

2.3 Gambaran Umum Obyek Penelitian

Kota Semarang merupakan sebuah daerah di pesisir Utara Pulau Jawa dengan kondisi cuaca yang relatif panas sepanjang tahun. Menurut data Stasiun Klimatologi Semarang tahun 2020,

suhu udara rata-rata Kota Semarang berkisar antara 28,21°C – 30,46°C. Kondisi ini tentu memberi beban termal tersendiri bagi bangunan yang terletak di Kota Semarang.



Gambar 1. Laboratorium Terpadu Undip
Sumber:

<https://asset.kompas.com/crops/HQe10bjRt5gIWB03MtudsEyBY04=/0x6:1545x1036/750x500/data/photo/2020/04/08/5e8dab31f3977.jpg>

Gedung Laboratorium Terpadu Undip merupakan bangunan enam lantai yang terletak di kompleks kampus Universitas Diponegoro Tembalang. Massa bangunan berbentuk dasar persegi panjang dengan perluasan bidang menyerupai *letter-L* pada sisi depan. Orientasi bangunan memanjang arah timur-barat dengan kemiringan 9°C searah jarum jam dari arah Timur.

Bangunan memiliki fasad kaca yang cukup luas dalam bentuk *curtain wall*, jendela, maupun *bouven*, tabel 1. Bidang kaca ini sebagian besar berada pada fasad sisi Timur, Selatan, dan Barat. Bidang-bidang solid bangunan diselubungi oleh dinding bata ringan yang diberi lapisan *aluminium composite panel* (ACP) warna abu-abu terang, abu-abu gelap, dan sedikit bagian berwarna kuning.

Tabel 1. Jenis sistem fenestrasi Gedung Laboratorium Terpadu Undip

Type	Luas (m ²)	T kaca (mm)	Gambar
Pintu			
PU	20.3	8	
P1	2.7	8	

P4	1.27	6		CW1	20.2	8	
P5	3	6		CW2	20.2 9.6 9	8	
Bouven							
BV1	0.46	6		CW4	17.1 2.4	8	
BV1'	0.46	6		CW5	4.78 7	8	
BV2	0.73	6		CW6	12.2 16.8	8	
BV2'	0.73	6					
Jendela							
J1	8.26	8		<p style="text-align: center;">Sumber: Bagian Pengelolaan Aset dan Logistik Undip</p> <p>Fasad bangunan bagian Utara memiliki permukaan dinding solid yang lebih dominan. Terdapat bukaan berupa pintu P1 (sejumlah 1), P4 (5); bouven BV1 (6), BV2 (12), BV2' (6); Jendela J2 (27), J4 (1), J5 (1); serta <i>curtain wall</i> CW5 (5), CW6 (1) pada tabel 1.</p> <p>Sisi utara bangunan gambar2, memiliki luas fasad 1291,5m². Luas sistem fenestrasi bagian ini sebesar 252,38m² sehingga didapatkan nilai WWR 20,81%.</p>			
J1'	8.53	8					
J2	3	6					
J3	1.76	6					
J4	14	6					
J5	6.7	6					
J6	13	6					
J7	15.6	6					
J8	16	6					
Curtain Wall							



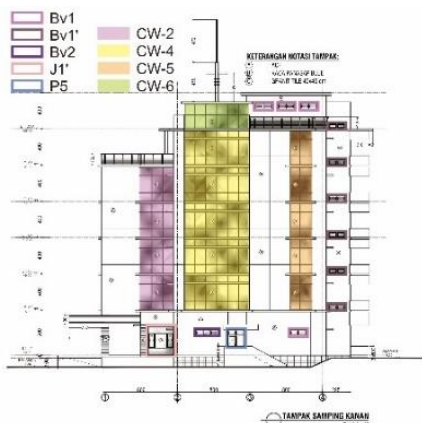
Gambar 2. Tampak utara bangunan

Tabel 2. Fenestrasi tampak utara bangunan

Tipe	Jml	Tipe	Jml
Pintu		Bouven	
P1	1	BV1	6
P4	5	BV2	12
		BV2'	6
Jendela		Curtain Wall	
J2	27	CW5	5
J4	1	CW6	1
J5	1		
WWR	252,38m ²		20,81%

Fasad bangunan sebelah kanan (timur), tabel 2, memiliki bidang kaca dan bukaan yang relatif luas. Terdapat bukaan sebuah pintu P5; bouven tipe BV1 (4), BV1' (6), BV2 (1); sebuah jendela tipe J1'; serta curtain wall tipe CW2 (4), CW4 (5), CW5 (5), CW6 (1).

Luas bidang fasad bagian Timur, gambar 3, relatif kecil karena merupakan sisi pendek bangunan, yaitu 719m². Bagian ini memiliki sistem fenestrasi seluas 185,61m², yang setara dengan nilai WWR sebesar 25,81%.



Gambar 3. Tampak timur bangunan

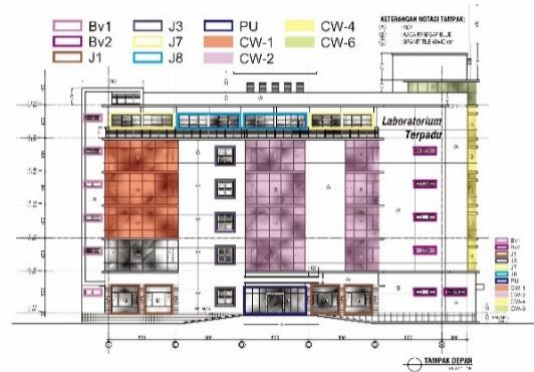
Tabel 3. Fenestrasi tampak timur bangunan

Tipe	Jml	Tipe	Jml
Pintu		Bouven	
P5	1	BV1	4

Tipe	Jml	Tipe	Jml
Jendela	1	BV1'	6
		BV2	1
		Curtain Wall	
		CW2	4
		CW4	5
		CW5	5
		CW6	1
WWR	185,61m ²		25,81%

Bagian Selatan merupakan fasad utama bangunan yang mengarah ke depan, tabel 3. Sisi ini memiliki luas sistem fenestrasi paling besar melalui keberadaan pintu jenis PU (1); bouven BV1 (6), BV2 (6); jendela tipe J1 (4) dan J3 (5); serta curtain wall tipe CW1 (4), CW2 (10), CW4 (5), dan CW6 (1).

Nilai WWR bagian fasad Selatan sebesar 29,84%. Angka tersebut merupakan rasio WWR terbesar pada bangunan, dari luas bidang kaca dan bukaan 385,25m² dan luas fasad 1291,2m² pada gambar 4 dan diperjelas pada tabel 4.

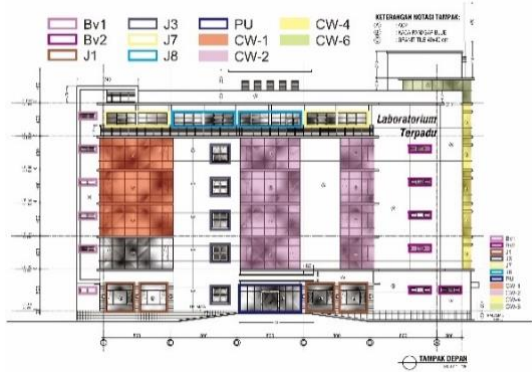


Gambar 4. Tampak selatan bangunan

Tabel 4. Fenestrasi tampak selatan bangunan

Tipe	Jml	Tipe	Jml
Pintu		Bouven	
PU	1	BV1	6
		BV2	6
Jendela		Curtain Wall	
J1	4	CW1	4
J3	5	CW2 (1)	5
		CW2 (2)	5
		CW4	5
		CW6	1
WWR	385,25m ²		29,84%

Sisi pendek bangunan bagian Barat memiliki bidang kaca dan bukaan paling rendah. Fenestrasi pada sisi ini hanya berupa bouven BV1 (2); jendela tipe J1 (2), J2 (4), J6 (1); serta curtain wall tipe CW1 (4), pada gambar 5 dan tabel 5.



Gambar 5. Tampak barat bangunan

Tabel 5. Fenestrasi tampak barat bangunan

Tipe	Jml	Tipe	Jml
Bouven		Curtain Wall	
BV1	2	CW1	4
Jendela			
J1	2		
J2	4		
J6	1		
WWR	129,92m ²		17,51%

Luas fasad barat bangunan hanya sebesar 742m² dengan luas sistem fenestrasi sebesar 129,92m² sehingga didapatkan nilai WWR 17,51%.

Bidang-bidang kaca bangunan menggunakan material *Panasap Blue Green* (BNFL) dengan ketebalan 6mm dan 8mm. Sebagian besar bangunan terpapar radiasi matahari langsung karena hanya memiliki sedikit elemen peneduh. Beberapa bagian yang terdapat elemen peneduh antara lain kanopi *drop off*, balkon utara, jendela lantai 1, dan bouven. Sedangkan bidang-bidang kaca yang luas seperti pada *curtain wall* tidak memiliki elemen peneduh yang signifikan.

2.4 Variasi Kaca Bangunan

Bangunan *existing* Laboratorium Terpadu Undip menggunakan jenis kaca *Panasap Blue Green* (BNFL) dengan ketebalan 6mm dan 8mm. Penelitian ini akan melakukan simulasi perhitungan nilai OTTV bangunan dengan variasi pemilihan material kaca berdasarkan ketebalan, warna, dan jenis kaca.

Panasap merupakan penamaan produk kaca PT. Asahimas Flat Glass Tbk untuk jenis *tinted glass*. Panasap merupakan jenis kaca yang dibuat dengan menambahkan material logam tertentu (mangan, kobalt, selenium, dll) melalui proses *float*. Tujuan perlakuan dan penambahan

unsur logam ini adalah supaya kaca memiliki warna-warna tertentu yang dikehendaki. Panasap memiliki warna tertentu namun transparan sehingga masih dapat meneruskan cahaya dengan cukup baik (rata-rata 45%). Warna yang dimiliki kaca panasap meningkatkan tingkat privasi ruang dalamnya. Selain itu, kaca panasap mampu menyerap sebagian panas matahari (rata-rata daya serap hingga 55%) serta dapat mengurangi efek silau cahaya.

Indoflot merupakan *clear glass* yang mampu mentransmisikan cahaya alami (lebih dari 90%) dengan sangat baik. Indoflot memiliki permukaan halus, bebas distorsi, dan mampu memberikan keleluasaan pandangan ke arah luar.

Stopsol adalah kaca biasa yang diberi lapisan transparan tipis dari oksidasi logam melalui proses pirolisis. Lapisan logam ini mampu membuat kaca memiliki sifat memantulkan cahaya (*reflective glass*). Kaca stopsol memiliki kemampuan menahan panas radiasi matahari dengan cukup baik, sehingga dapat mengurangi beban termal bangunan. Namun kemampuan stopsol dalam meneruskan cahaya tidak terlalu baik, karena sifat dasarnya lebih memantulkan.

Spesifikasi teknis jenis variasi kaca yang akan disimulasikan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 6, tabel 7, serta tabel 8.

Tabel 6. Spesifikasi teknis kaca Panasap Blue Green (BNFL) variasi ketebalan

Jenis Kaca	Tebal (mm)	SF (%)	SC	U-value (W/m ² K)
Blue Green (BNFL)	5	58	0.67	5.8
	6	55	0.63	5.7
	8	49	0.56	5.7

Sumber: PT. Asahimas Flat Glass Tbk. (<http://amfg.co.id/id/produk/kaca-lembaran/brosur/>), 2022

Tabel 7. Spesifikasi teknis kaca Panasap variasi warna

Jenis Kaca	Tebal (mm)	SF (%)	SC	U-value (W/m ² K)
Bronze (BRFL)	6	63	0.73	5.7
	8	57	0.65	5.7
Green (GNFL)	6	55	0.63	5.7
	8	49	0.57	5.7
Euro Grey (GEFL)	6	58	0.67	5.7
	8	52	0.59	5.7
Blue Green (BNFL)	6	55	0.63	5.7
	8	49	0.56	5.7

Jenis Kaca	Tebal (mm)	SF (%)	SC	U-value (W/m ² K)
Dark Blue (DHFL)	6	58	0.67	5.7
	8	52	0.60	5.7

Sumber: PT. Asahimas Flat Glass Tbk.

(<http://amfg.co.id/id/produk/kaca-lembaran/brosur/>), 2022

Tabel 8. Spesifikasi teknis variasi jenis kaca

Jenis Kaca	Tebal (mm)	SF (%)	SC	U-value (W/m ² K)
Indoflot	6	83	0.95	5.8
Clear (FL)	8	81	0.93	5.7
Panasap	6	55	0.63	5.7
Blue Green (BNFL)	8	49	0.56	5.7
New Stopsol	6	41	0.48	5.7
Supersilver	8	37	0.42	5.7
Blue Green (SSBNF)				

Sumber: PT. Asahimas Flat Glass Tbk.

(<http://amfg.co.id/id/produk/kaca-lembaran/brosur/>), 2022

2.5 Tahap Penelitian

Penelitian ini akan diawali dengan menghitung nilai OTTV kondisi *existing* pada bangunan Laboratorium Terpadu Undip. Nilai yang didapat akan menjadi acuan terhadap proses simulasi dan perhitungan dengan berbagai variasi perlakuan selanjutnya. Setidaknya akan dilakukan tiga jenis variasi penggunaan material kaca pada bangunan Laboratorium Terpadu Undip. Jenis variasi yang akan dilakukan antara lain:

- Variasi ketebalan kaca *Panasap Blue Green* (BNFL)
Ketebalan kaca pada bangunan dibuat seragam dengan variasi masing-masing ketebalan 5 mm, 6 mm, dan 8 mm.
- Variasi warna kaca *Panasap*
Ketebalan kaca pada bangunan disesuaikan dengan kondisi *existing*, namun akan diberikan variasi warna kaca *Panasap* diantaranya *Bronze* (BRFL), *Green* (GNFL), *Euro Grey* (GEFL), *Blue Green* (BNFL), dan *Dark Blue* (DHFL).
- Variasi jenis kaca
Ketebalan dan warna kaca disesuaikan dengan kondisi *existing*, namun akan diberikan variasi jenis kaca *Panasap* dan *Stopsol*. Kemudian dilakukan pula pengujian pada jenis kaca *Indoflot Clear*.

Langkah penelitian yang dilakukan dengan menggunakan *spreadsheet calculator OTTV Microsoft Excel* Kementerian PUPR adalah sebagai berikut:

- Identifikasi material bangunan, antara lain terkait jenis, ukuran, warna, dan sifat termal.
- Ukur luas masing-masing fasad bangunan
- Identifikasi sistem fenestrasi bangunan, kemudian hitung luasnya.
- Identifikasi elemen pembayangan bangunan.
- Masukkan data-data tersebut pada *spreadsheet calculator OTTV Microsoft Excel* Kementerian PUPR, sehingga didapatkan nilai OTTV *existing* bangunan.
- Masukkan spesifikasi teknis kaca ke dalam *spreadsheet calculator OTTV Microsoft Excel* Kementerian PUPR, dengan tiga variasi perlakuan seperti yang telah disebutkan sebelumnya: (1) Variasi ketebalan kaca *Panasap Blue Green* (BNFL); (2) Variasi warna kaca *Panasap*; (3) Variasi jenis kaca. Proses ini bertujuan untuk mengetahui nilai OTTV pada berbagai variasi perlakuan yang diberikan pada bangunan.
- Lakukan olah data dan grafik.
- Bandingkan nilai OTTV pada masing-masing variasi perlakuan dan kondisi *existing*. Tentukan pilihan penggunaan material kaca yang paling baik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat tiga kajian analisis data yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu (a) Nilai OTTV bangunan dengan variasi ketebalan kaca *Panasap Blue Green*; (b) Nilai OTTV bangunan dengan variasi warna kaca *Panasap*; serta (c) Nilai OTTV bangunan dengan variasi jenis kaca. Bagian ini akan ditutup dengan analisis perbandingan nilai OTTV bangunan beserta usulan desain.

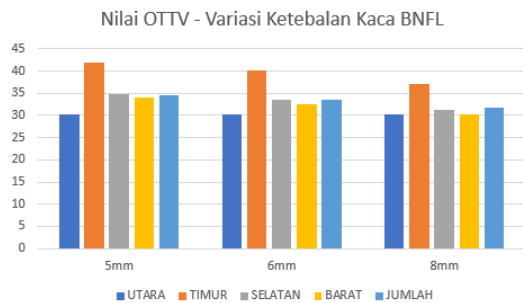
3.1 OTTV Variasi Kaca: Ketebalan Kaca

Perlakuan pertama adalah penerapan kaca *Panasap Blue Green* (BNFL) pada bangunan dengan variasi ketebalan 5 mm, 6 mm, dan 8 mm. Semua jenis kaca pada sistem fenestrasi bangunan dibuat seragam. Nilai OTTV

bangunan dengan perlakuan tersebut dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Nilai OTTV (W/m^2) bangunan dengan variasi ketebalan kaca BNFL

Tebal	Utara	Timur	Selatan	Barat	Total
5mm	30,28	41,90	34,95	34,02	34,52
6mm	30,28	40,06	33,55	32,56	33,48
8mm	30,28	37,06	31,35	30,17	31,81



Gambar 6. Nilai OTTV (W/m^2) masing-masing sisi bangunan dengan variasi ketebalan kaca BNFL

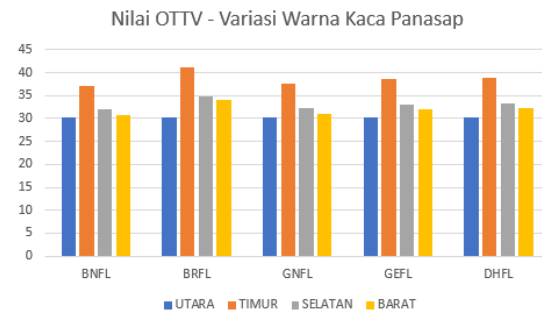
Ditinjau dari nilai OTTV total bangunan pada gambar 6, penerapan ketiga variasi ketebalan kaca BNFL menunjukkan nilai yang masih memenuhi SNI 6389:2020, yaitu tidak lebih besar dari $35W/m^2$. Namun, jika ditinjau pada masing-masing sisi bangunan, penerapan ketiga variasi ketebalan kaca BNFL tersebut masih belum memenuhi standar nilai OTTV pada sisi timur bangunan.

3.2 OTTV Variasi Kaca: Warna Kaca

Perlakuan kedua adalah memberikan variasi warna kaca Panasap pada bangunan. Ketebalan kaca disesuaikan dengan kondisi *existing*, yaitu 8 mm untuk bidang kaca luas dan 6 mm untuk bidang kaca yang lebih kecil. Nilai OTTV bangunan dengan perlakuan tersebut dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Nilai OTTV (W/m^2) bangunan dengan variasi warna kaca Panasap

Warna	Utara	Timur	Selatan	Barat	Total
BNFL	30,28	37,23	31,93	30,81	32,14
BRFL	30,28	41,10	34,83	33,98	34,33
GNFL	30,28	37,63	32,16	31,06	32,33
GEFL	30,28	38,53	32,95	31,93	32,90
DHFL	30,28	38,94	33,18	32,18	33,09



Gambar 7. Nilai OTTV (W/m^2) masing-masing sisi bangunan dengan variasi warna kaca Panasap

Panasap Blue Green (BNFL) merupakan jenis kaca *existing* bangunan Laboratorium Terpadu Undip. Nilai OTTV total bangunan pada gambar 7, dengan kaca BNFL menunjukkan hasil yang cukup baik dan masih memenuhi standar. Namun, jika dilihat parsial, sisi timur bangunan memiliki nilai OTTV yang melampaui ambang batas standar ($37,23W/m^2$).

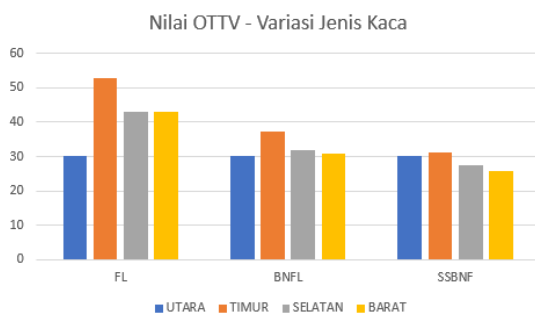
Empat variasi warna kaca Panasap lainnya menunjukkan hasil yang relatif serupa. Nilai OTTV total bangunan masih memenuhi SNI 6389:2020. Namun, nilai OTTV sisi timur memiliki angka yang lebih tinggi dari standar, terutama pada varian warna *Bronze* (BRFL) yang memiliki nilai OTTV paling tinggi, yaitu mencapai $41,10W/m^2$.

3.3 OTTV Variasi Kaca: Jenis Kaca

Perlakuan ketiga mencoba menerapkan tiga jenis kaca berbeda pada bangunan, yaitu *Indoflot Clear* (FL), *Panasap Blue Green* (BNFL), dan *New Stopsol Supersilver Blue Green* (SSBNF). Pemilihan kaca disesuaikan dengan ketebalan *existing*, yaitu 8 mm untuk bidang kaca luas dan 6 mm untuk luasan kaca yang lebih kecil. Nilai OTTV bangunan dengan variasi jenis kaca dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Nilai OTTV (W/m^2) bangunan dengan variasi jenis kaca

Jenis	Utara	Timur	Selatan	Barat	Total
FL	30,28	52,95	43,14	43,03	40,76
BNFL	30,28	37,23	31,93	30,81	32,14
SSBNF	30,28	31,21	27,46	25,93	28,75



Gambar 8. Nilai OTTV (W/m^2) masing-masing sisi bangunan dengan variasi jenis kaca

Nilai OTTV total bangunan gambar 8, pada jenis kaca Panasap (BNFL) dan Stopsol (SSBNF) menunjukkan hasil yang masih memenuhi SNI 6389:2020. Namun, penggunaan jenis kaca Panasap (BNFL) memberikan nilai OTTV yang masih relatif tinggi pada fasad sisi timur ($37,23W/m^2$).

Simulasi perhitungan pada jenis kaca *Indoflot Clear* (FL) menunjukkan nilai OTTV total yang tinggi, yaitu mencapai $40,76W/m^2$. Nilai ini berada di atas ambang batas yang ditentukan. Jika dilihat secara parsial, nilai OTTV untuk fasad timur, selatan, dan barat juga menunjukkan nilai di atas $40W/m^2$. Bahkan, untuk fasad sisi timur, nilai OTTV mencapai $52,95W/m^2$. Angka ini jauh berada di atas ambang batas yang ditentukan SNI 6389:2020.

3.4 Analisis dan Usulan Desain

Pada percobaan variasi ketebalan kaca *Panasap Blue Green* (BNFL), hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai OTTV bangunan akan semakin rendah pada penggunaan kaca yang lebih tebal. Hal ini terjadi karena semakin tebal kaca, sifat termal yang akan lebih baik. Terutama yang berkaitan dengan *shading coefficient* (SC) dan *solar factor* (SF). Walaupun selisih nilai-U ketiga variasi kaca tidak terlalu besar, jenis kaca lebih tebal memiliki nilai-U lebih rendah, sehingga sifat termalnya lebih baik pula. Ketiga variasi ini memiliki nilai OTTV total bangunan yang memenuhi standar. Namun, jika ditinjau secara parsial, ketiga variasi ketebalan kaca memiliki nilai OTTV yang kurang baik pada sisi timur bangunan.

Percobaan variasi warna kaca Panasap menunjukkan bahwa semakin gelap warna kaca, maka nilai OTTV bangunan juga semakin tinggi. Urutan performa termal kaca Panasap

dari yang paling baik adalah *Blue Green* (BNFL), *Green* (GNFL), *Euro Grey* (GEFL), *Dark Blue* (DHFL), dan yang paling buruk adalah *Bronze* (BRFL). Meski kelimanya memiliki nilai-U yang sama, namun nilai SC dan SF paling rendah adalah kaca BNFL, sedangkan nilai SC dan SF tertinggi dimiliki kaca BRFL). Nilai OTTV total bangunan kelima jenis warna kaca ini masih memenuhi SNI 6389:2020. Namun, performa kaca-kaca ini belum dapat memberikan nilai OTTV bangunan yang sesuai standar pada fasad timur.

Pada pembahasan ketiga, kaca *New Stopsol Supersilver Blue Green* (SSBNF) memiliki performa paling baik dengan menunjukkan nilai OTTV total bangunan terendah ($28,75W/m^2$). Bahkan, dengan penerapan SSBNF, nilai OTTV bangunan parsial pada bagian timur masih memenuhi standar yang ditentukan. Hal ini terjadi karena kaca Stopsol memiliki lapisan logam bersifat reflektif sehingga dapat menahan radiasi matahari lebih baik. Sebaliknya, kaca *Indoflot Clear* (FL) memiliki performa paling buruk karena bersifat meneruskan cahaya, sehingga panas dari radiasi matahari turut masuk ke dalam bangunan.

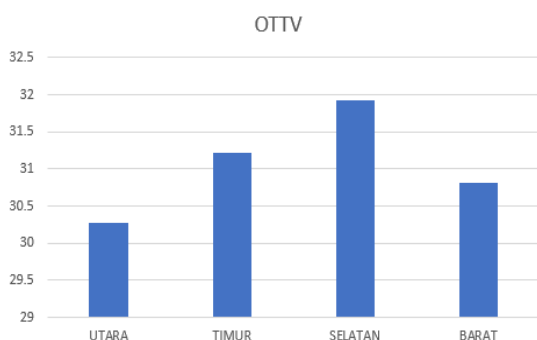
Dari semua percobaan yang dilakukan, Stopsol menjadi satu-satunya jenis kaca yang memiliki nilai OTTV bangunan total maupun parsial di bawah ambang batas SNI 6389:2020. Namun, penggunaan Stopsol pada seluruh bidang kaca bangunan tentu akan membutuhkan biaya yang jauh lebih besar.

Pilihan kaca urutan kedua terbaik adalah *Panasap Blue Green* (BNFL), sesuai kondisi *existing* bangunan. Namun, masalah yang muncul adalah nilai OTTV parsial pada fasad timur bangunan belum memenuhi standar, sehingga perlu dilakukan *retrofitting*. Beberapa pilihan *retrofitting* yang dapat dilakukan adalah:

- Mengganti bidang kaca bagian timur dengan jenis kaca yang lebih baik. Contoh: Stopsol (SSBNF) dalam perhitungan gambar 9.
- Melakukan rekayasa desain di luar pemilihan material kaca. Contoh: memberi tambahan perangkat peneduh dan mengurangi bukaan bangunan.

Tabel 12. Nilai OTTV (W/m^2) bangunan dengan mengganti kaca Stopsol pada fasad timur

Utara	Timur	Selatan	Barat	Total
30,28	31,21	31,93	30,81	31,06



Gambar 9. Nilai OTTV (W/m^2) masing-masing sisi bangunan dengan mengganti kaca Stopsol pada fasad timur

4. KESIMPULAN

Pemilihan material kaca sebagai sistem fenestrasi sangat berpengaruh terhadap konsumsi energi suatu bangunan gedung. Pemilihan dan penggunaan material kaca yang kurang tepat dapat mempengaruhi performa bangunan secara keseluruhan, terutama terkait beban pendinginan untuk menciptakan kenyamanan termal dalam bangunan. Faktor utama yang harus dicermati adalah mengenai performa termal material kaca, yang meliputi nilai *shading coefficient* (SC), *solar factor* (SF), dan nilai-U. Semakin kecil nilai tiga variabel tersebut, kemampuan kaca dalam menahan panas radiasi matahari akan semakin baik pula. Sehingga nilai OTTV bangunan akan semakin rendah.

Dari segi ketebalan, semakin tebal material kaca, semakin baik pula kemampuannya dalam menahan panas radiasi matahari. Kaca yang lebih tebal memiliki nilai *shading coefficient* (SC), *solar factor* (SF), dan nilai-U yang lebih rendah.

Kemudian jika ditinjau dari sisi warna, kaca berwarna gelap memiliki kemampuan menahan panas matahari yang lebih buruk. Hal ini terjadi karena kaca berwarna gelap memiliki nilai *shading coefficient* (SC), *solar factor* (SF), dan nilai-U yang lebih tinggi. Urutan sifat termal kaca Panasap berdasarkan warna dari yang paling baik adalah:

- Blue Green (BNFL)
- Green (GNFL)
- Euro Grey (GEFL)
- Dark Blue (DHFL)
- Bronze (BRFL)

Selain itu, pemberian warna dan lapisan tambahan pada kaca (misal: lapisan reflektif) akan menurunkan nilai *shading coefficient* (SC) dan *solar factor* (SF) kaca sehingga sifat termalnya akan lebih baik. Urutan jenis kaca dengan performa termal paling baik adalah:

- Stopsol
- Panasap
- Indoflot.

Dalam penelitian yang dilakukan pada Gedung Laboratorium Terpadu Undip, simulasi penggunaan kaca Panasap dan Stopsol sebagai material bangunan dapat memberikan nilai OTTV total yang memenuhi SNI 6389:2020. Nilai OTTV total bangunan dengan kaca Stopsol (SSBNF) yang sebesar $28,75W/m^2$ merupakan nilai OTTV terbaik di antara pilihan kaca lainnya. Sementara itu, nilai OTTV total tertinggi yang masih memenuhi ambang batas adalah pada penggunaan kaca *Panasap Bronze* (BRFL), yaitu $34,33W/m^2$.

Akan tetapi, jika dilihat secara parsial, hanya kaca Stopsol yang dapat memberikan nilai OTTV bangunan sesuai SNI 6389:2020 pada tiap sisi fasad. Sementara itu, penerapan jenis kaca Panasap pada sisi timur memberikan nilai OTTV parsial bangunan yang melebihi ambang batas walaupun pada tiga sisi fasad lainnya masih memenuhi standar.

Penggunaan kaca *Panasap Blue Green* (BNFL) pada *existing* gedung Laboratorium Terpadu Undip dinilai sudah tepat karena dapat memberikan nilai OTTV total bangunan di bawah $35W/m^2$. Namun, perlu dilakukan *retrofitting* pada fasad sisi timur supaya nilai OTTV parsial fasad timur dapat lebih rendah. Perbaikan dapat dilakukan melalui penggantian kaca fasad timur menggunakan jenis kaca Stopsol, supaya nilai OTTV fasad timur dapat turun menjadi $31,21W/m^2$. Dapat pula diganti dengan jenis kaca dengan sifat termal yang lebih baik lagi. Menurut Santoso dan Antaryama (2005), penggunaan strategi kaca ganda pada bangunan dengan WWR di bawah 30% tidak direkomendasikan karena perlakuan

tersebut tidak memberikan efek signifikan pada penurunan penggunaan energi (kurang dari 5%). Strategi perbaikan lainnya dapat dilakukan melalui rekayasa desain di luar pilihan material kaca, misalnya dengan menambahkan perangkat peneduh atau menurunkan nilai WWR bangunan.

KONTRIBUSI PENULIS

Penelitian ini disusun oleh dua anggota tim penulis. Hari Utama memiliki peran sebagai penyusun topik dan gagasan utama penelitian, penghimpun, dan olah data, analisis data, serta penyelesaian naskah, sedangkan Erni Setyowati berperan dalam perumus metode penelitian, analisis data, serta supervi penelitian secara keseluruhan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Bagian Pengelolaan Aset dan Logistik Universitas Diponegoro yang telah memberikan izin untuk keperluan pengamatan, serta berkenan memberikan data dan informasi untuk kepentingan penelitian ini.

REFERENSI

Fatmala, H. N. (2019). Pengaruh Penggunaan Material Kaca terhadap Beban Panas pada Bangunan National Hospital Surabaya. Dalam Skripsi Program Studi Sarjana Arsitektur, Laboratorium Sains dan Teknologi Bangunan, Universitas Brawijaya Malang. <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/176558/7/Haliza%20Ning%20Fatmala.pdf>

Givoni, B. (1998). *Climate Consideration in Building and Urban Design*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Gunawan, B., Budihardjo, Juwana, J. S., Priatman, J., Sujatmiko, W., & Sulistiyanto, T. (2012). *Buku Pedoman Energi Efisiensi untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia: 2 Pedoman Teknis (1st ed.)*. Direktorat Konservasi Energi, Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia. <https://simebtke.esdm.go.id/sinergi/assets>

/content/20210705200020_EEG2INFOR_WEB.pdf

Mediastika, C. E. (2018). *Kaca untuk Bangunan*. Yogyakarta: Penerbit ANDI. <https://core.ac.uk/download/pdf/323488741.pdf>

Olgyay, V. (1992). *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Purwanto, E. (2011). Penggunaan Elemen Kaca pada Bangunan Arsitektur Tropis. *Prosiding Seminar Nasional Kaca Dalam Arsitektur (Bangunan + Lingkungan)*. <http://eprints.undip.ac.id/47661/1/C-24.pdf>

Ramadona. (2017). Peran Penangkal Matahari dalam Mengatasi Silau pada Dinding Kaca Bangunan Tinggi di Iklim Tropis Lembap. *IDEALOG Jurnal Desain Interior & Desain Produk*, 2(1), 80–92. <https://doi.org/https://doi.org/10.25124/idealog.v2i1.1179>

Santoso, A. J., & Antaryama, I. G. N. (2005). Konsekuensi Energi akibat Pemakaian Bidang Kaca pada Bangunan Tinggi di Daerah Tropis Lembab. *Dimensi Teknik Arsitektur*, 33(1), 70–75. <https://doi.org/https://doi.org/10.9744/dimensi.33.1>

Setyowati, E. (2015). *Fisika Bangunan 2: Thermal & Acoustic (2nd ed.)*. Semarang: CV. Tiga Media Pratama.

Vidiyanti, C. (2015). Kajian Retrofit Bangunan sebagai Upaya Mereduksi Konsumsi Energi Operasional Studi Kasus: Campus Centre (CC) Barat ITB. *Vitruvian: Jurnal Arsitektur, Bangunan, & Lingkungan*, 5(1). <http://www.superiod.net/2013/11/physical-map-with-key/physical-world-map-with-key/>

Wibawa, B. A., & Hutama, A. N. (2019). Optimalisasi Buka-an dan Kenyamanan Ruang Melalui Analisis OTTV dan Sun Shading. *MODUL*, 19(2), 68. <https://doi.org/10.14710/mdl.19.2.2019.68-77>

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

PT. Asahimas Flat Glass Tbk.
(<http://amfg.co.id/id/produk/kaca-lembaran/brosur/>).

<https://asset.kompas.com/crops/HQeI0bjRt5gIWBO3MtudsEyBY04=/0x6:1545x1036/750x500/data/photo/2020/04/08/5e8dab31f3977.jpg>