



Pengaruh *Secondary Skin* Dengan Variasi Kemiringan Sudut Fasad Terhadap Efisiensi Energi Dan Kenyamanan Termal Ruangan

Irwan Rinaldi¹, Dendi Adi Saputra², Melda Rozi³

^{1,2,3} Teknik Mesin, Teknik, Universitas Andalas

¹Irwanrin@gmail.com, ²dendias@eng.unand.ac.id, ³meldarozi001@gmail.com

Abstract

This study examines the effect of applying *secondary skin* with varying slope angles on the facade on energy efficiency and indoor thermal comfort. Facades with varying slope angles are designed to respond adaptively to external environmental conditions, such as solar radiation intensity, air temperature, and wind movement, with the aim of minimizing the building's thermal load and improving overall thermal performance. An experimental approach is used to evaluate the effectiveness of *secondary skin* with varying slopes. The thermal comfort parameters measured include air temperature, relative humidity, lighting intensity, and energy requirements for cooling, all of which are analyzed based on ASHRAE standards. The results of the study indicate that the use of facades with opening slopes of 10°, 20°, and 30° can reduce the room cooling load by 11.05%, 10.95%, and 10.80%, respectively. In addition, there was a decrease in the average Predicted Mean Vote (PMV) value of 0.059 (5.03%) at a slope of 10°, 0.073 (6.29%) at a slope of 20°, and 0.078 (7.20%) at a slope of 30°. These findings indicate that *secondary skin* with variations in the slope angle of the facade is an innovative and sustainable approach in passive cooling strategies, which contributes to reducing energy consumption.

Keywords: passive cooling, facade angle, energy efficiency, thermal comfort

Abstrak

Penelitian ini mengkaji pengaruh *secondary skin* dengan variasi kemiringan sudut fasad terhadap efisiensi energi dan kenyamanan termal dalam ruangan. Fasad dengan variasi kemiringan sudut dirancang untuk merespons secara dinamis faktor lingkungan eksternal, seperti intensitas cahaya matahari, suhu, dan pergerakan angin, guna meminimalkan beban termal pada bangunan dan meningkatkan kinerja keseluruhan. Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk mengevaluasi efektivitas *secondary skin* variasi kemiringan sudut fasad. Parameter kenyamanan termal, termasuk suhu, kelembapan relatif, intensitas cahaya, dan kebutuhan energi pendinginan, diukur sesuai dengan standar ASHRAE untuk menentukan pengaruhnya terhadap kondisi dalam ruangan. Hasil penelitian ini diharapkan menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam efisiensi energi, pengurangan biaya operasional, dan peningkatan kenyamanan termal. *secondary skin* dengan variasi kemiringan sudut fasad menawarkan pendekatan inovatif dan berkelanjutan untuk pendinginan pasif, yang berkontribusi pada pengurangan jejak karbon dan desain bangunan ramah lingkungan.

Kata kunci: pendinginan pasif; sudut fasad; efisiensi energi; kenyamanan termal

1. Pendahuluan

Peningkatan urbanisasi dan pertumbuhan ekonomi yang pesat dalam era modern telah memicu lonjakan kebutuhan energi listrik, terutama pada gedung-gedung publik dan perkantoran. Urbanisasi yang semakin berkembang menghasilkan lebih banyak kawasan perkotaan dengan bangunan-bangunan tinggi yang kompleks, yang sebagian besar bergantung pada

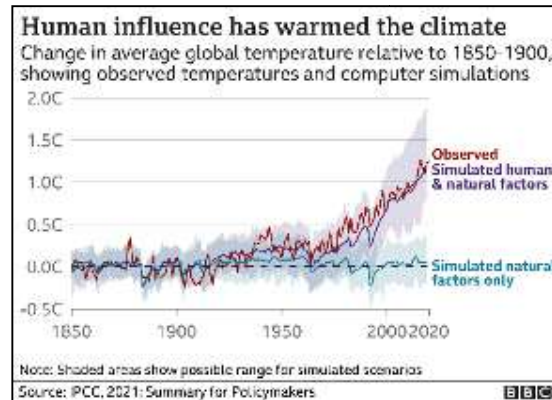
sistem energi listrik untuk mendukung aktivitas sehari-hari. Hal ini menyebabkan konsumsi energi meningkat secara signifikan[1].

Fenomena konsumsi energi yang tinggi pada gedung-gedung ini sering kali disebabkan oleh penggunaan perangkat listrik yang tidak efisien, seperti pendingin udara (AC), kipas angin, dan lampu yang tetap

menyala meskipun tidak diperlukan. Selain itu, perilaku pengguna bangunan yang kurang mendukung efisiensi energi, seperti membiarkan perangkat elektronik dalam keadaan menyala atau tidak mengoptimalkan penggunaan cahaya alami, turut memperburuk situasi ini. Gedung-gedung perkantoran, terutama kantor pemerintah di Indonesia, tercatat memiliki tingkat pemborosan energi yang cukup signifikan, dengan rata-rata mencapai 30%[2]. Angka ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan sektor swasta maupun rumah tangga. Pemborosan energi ini tidak hanya berdampak pada peningkatan jejak karbon yang dihasilkan, tetapi juga menambah beban biaya operasional yang cukup besar, yang pada akhirnya mempengaruhi daya saing dan keberlanjutan finansial bangunan tersebut.

Sektor rumah tangga termasuk salah satu sektor pemakai energi terbesar di Indonesia. Sektor ini telah cukup lama dijadikan target konservasi nasional[3]. Konservasi Energi adalah upaya sistematis, terencana, dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya[4]. Konservasi terhadap sumber daya energi meliputi antara lain sumber daya energi prioritas, jumlah sumber daya energi yang dapat diproduksi, dan pembatasan sumber daya energi tak terbarukan yang diusahakan dalam waktu tertentu[5]. Baru-baru ini, aplikasi berbasis IoT telah dikembangkan di rumah pintar, kota pintar, rumah sakit pintar, dan lingkungan pintar lainnya untuk mendapatkan kenyamanan termal dan meminimalkan konsumsi energi [6].

Tantangan dalam meningkatkan efisiensi energi pada bangunan perkantoran semakin kompleks seiring dengan fenomena perubahan iklim global yang mempengaruhi suhu permukaan bumi. Perubahan iklim yang terjadi dalam beberapa dekade terakhir telah menyebabkan peningkatan temperatur global secara signifikan, yang tercatat mencapai 1,09°C dalam sepuluh tahun antara 2011-2020 jika dibandingkan dengan periode 1850-1900, berdasarkan data dari Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)[7], kenaikan suhu ini memiliki dampak langsung terhadap iklim dan cuaca di berbagai belahan dunia, termasuk peningkatan frekuensi dan intensitas gelombang panas. Hal ini semakin memperburuk kondisi bagi bangunan, yang harus menanggung beban pendinginan yang lebih tinggi. Gedung-gedung yang terletak di negara tropis, seperti Indonesia, menjadi lebih rentan terhadap dampak perubahan iklim ini karena negara tropis menerima radiasi matahari yang lebih intensif sepanjang tahun. Kondisi ini menyebabkan peningkatan beban pendinginan pada bangunan yang berpotensi merugikan baik dari segi efisiensi energi maupun kenyamanan termal pengguna bangunan. Secara grafik peningkatan temperatur global dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Data peningkatan temperatur permukaan bumi[7]

Untuk mengatasi permasalahan ini, penghematan energi menjadi isu strategis yang mendesak. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan untuk mengurangi konsumsi energi pada gedung adalah dengan memperkenalkan teknologi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, seperti sistem pendinginan pasif. Sistem ini memanfaatkan elemen alami seperti sirkulasi udara, orientasi bangunan, dan perlindungan dari sinar matahari untuk menciptakan kondisi termal yang nyaman tanpa bergantung pada energi listrik secara berlebihan. Prinsip kerjanya juga sederhana, yaitu mengurangi panas yang terserap oleh bangunan dan menghilangkan panas berlebih yang tersimpan pada bangunan[8]. Pendinginan pasif juga telah terbukti memberikan kenyamanan termal yang sangat baik begitu juga dengan kualitas udara dalam ruangan, membuat konsumsi energi menjadi rendah[9].

Di antara solusi yang paling menjanjikan adalah penambahan *secondary skin* pada fasad bangunan[10]. *Secondary skin* terdiri dari dua lapis bidang yang membentuk rongga udara, yakni inner skin (kulit dalam) dan outer skin (kulit luar), yang berfungsi sebagai penghalang terhadap paparan langsung sinar matahari dan cuaca ekstrem lainnya[11].

Fasad dengan *secondary skin* dirancang untuk memberikan perlindungan tambahan terhadap paparan sinar matahari yang berlebihan, yang menjadi salah satu penyebab utama peningkatan suhu dalam ruangan. Konsep ini tidak hanya memanfaatkan material bangunan yang efisien dalam isolasi termal, tetapi juga menciptakan ruang terpisah antara bagian luar dan dalam bangunan, yang berfungsi sebagai lapisan pelindung terhadap suhu panas. Selain itu, penggunaan *secondary skin* dapat mengurangi pengaruh langsung angin kencang dan hujan deras, yang sering kali menjadi faktor eksternal yang mempengaruhi kenyamanan dan kestabilan suhu di dalam gedung. Dengan demikian, sistem ini berperan penting dalam meningkatkan efisiensi energi dengan cara mengurangi kebutuhan pendinginan aktif, seperti

penggunaan AC, dan secara otomatis mengurangi konsumsi energi secara keseluruhan.

Sebagai salah satu bentuk teknologi pendinginan pasif, penggunaan *secondary skin* juga dapat memberikan kontribusi besar dalam mengurangi jejak karbon dan mendukung upaya mitigasi perubahan iklim. Selain itu, penggunaan *secondary skin* pada bangunan memberikan dampak positif terhadap biaya operasional, karena dengan mengurangi ketergantungan pada sistem pendinginan aktif, biaya penggunaan listrik dapat ditekan secara signifikan. Namun demikian, untuk memastikan bahwa penggunaan *secondary skin* dapat memberikan hasil yang optimal, perlu dilakukan kajian lebih mendalam mengenai pengaruh desain dan material *secondary skin* terhadap performa termal bangunan. Efisiensi energi dan kenyamanan termal pengguna perlu menjadi parameter utama dalam merancang dan mengimplementasikan konsep ini, agar dapat memperoleh hasil yang maksimal dalam meningkatkan kenyamanan suhu ruangan sambil tetap meminimalkan penggunaan energi.

Salah satu bentuk desain *secondary skin* yang sedang berkembang adalah fasad dengan variasi kemiringan sudut, yaitu fasad yang dapat berubah atau beradaptasi secara fisik, baik dalam hal bentuk, posisi, maupun fungsi, sebagai respons terhadap faktor-faktor eksternal seperti cahaya matahari, suhu, dan angin. Fasad kinetik dirancang untuk berinteraksi dengan lingkungannya dan merespons perubahan kondisi secara manual, yang memungkinkan bangunan untuk mengoptimalkan penggunaan energi dan kenyamanan termal secara lebih efisien. Fasad ini dapat berfungsi untuk mengurangi penyerapan panas secara berlebihan dengan mengatur posisi elemen fasad yang dapat bergerak, seperti panel atau kisi-kisi, sesuai dengan arah dan intensitas sinar matahari. Dengan demikian, fasad memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi energi pada bangunan dan mendukung prinsip desain bangunan berkelanjutan yang ramah lingkungan.

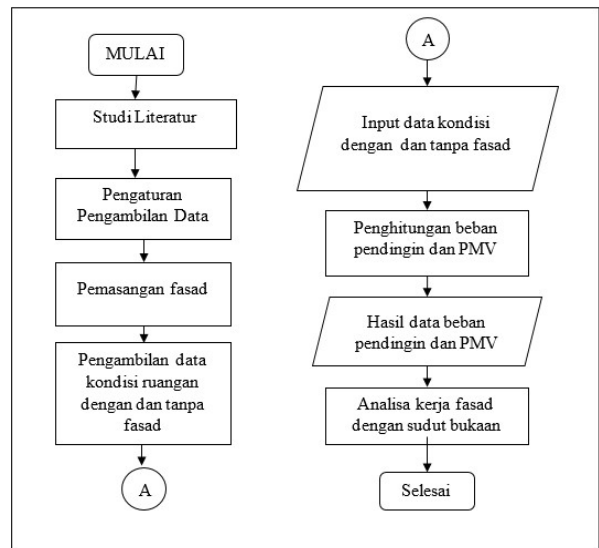
Penambahan *secondary skin* pada fasad bangunan, khususnya melalui konsep fasad dengan variasi kemiringan sudut, menawarkan solusi yang berpotensi besar untuk mengurangi beban pendinginan dan meningkatkan efisiensi energi pada bangunan. Dengan penelitian dan penerapan teknologi yang tepat, diharapkan sektor bangunan dapat berkontribusi pada pengurangan dampak negatif terhadap lingkungan, sambil tetap mendukung kenyamanan dan kebutuhan energi yang lebih efisien.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen, yang melibatkan pengambilan data pada dua kondisi, yaitu ruangan yang dipasang *secondary skin* berupa *secondary* fasad dan ruangan pembanding tanpa *secondary* fasad. Pengambilan

data dilakukan secara sistematis mulai pukul 10.00 WIB hingga 14.00 WIB, dengan interval pengukuran setiap 15 menit. Data hasil pengukuran selanjutnya digunakan untuk menghitung beban pendinginan ruangan serta nilai Predicted Mean Vote (PMV) guna mengevaluasi tingkat kenyamanan termal. Proses perhitungan diikuti dengan analisis hasil guna menarik kesimpulan tentang efektivitas penerapan *secondary* fasad dalam meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal ruangan.

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang disusun secara sistematis dan terstruktur guna memperoleh hasil yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Secara visual, alur penelitian ini disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alur penelitian

Pengambilan data dalam penelitian ini dilaksanakan pada Ruang Kuliah Departemen Teknik Mesin Universitas Andalas, yang secara geometris memiliki orientasi sisi samping yang langsung terpapar radiasi sinar matahari. Ruang tersebut dilengkapi dengan bukaan jendela kaca berukuran 6 meter pada sisi lebar dan 8 meter pada sisi panjang. Pengambilan data dilakukan dengan menerapkan variasi sudut bukaan pada fasad, yaitu pada hari pertama dengan bukaan 10°, hari kedua dengan bukaan 20°, dan hari ketiga dengan bukaan 30°.

3. Hasil dan Pembahasan

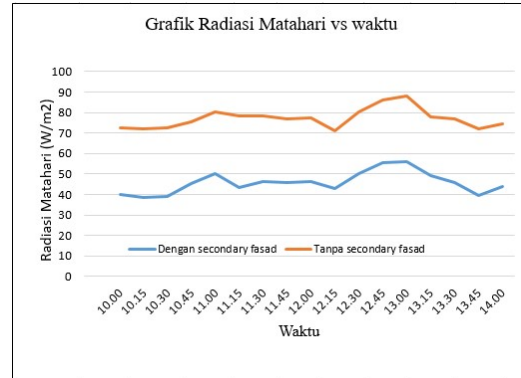
Secondary skin fasad yang digunakan dalam penelitian ini berupa instalasi teralis berukuran 360 cm × 225 cm sebanyak dua set, yang dipasang pada jarak 50 cm dari bidang jendela bangunan. Pada permukaan teralis tersebut dipasangkan tanaman artifisial yang berfungsi sebagai elemen peneduh (shading) untuk mengurangi intensitas radiasi matahari yang masuk ke dalam ruangan. Konfigurasi *secondary skin* fasad dengan tanaman artifisial yang telah terpasang ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. *Secondary* skin fasad dengan tanaman artifisial

3.1 Hasil Pengukuran Kondisi Ruangan dengan dan tanpa *Secondary* Fasad pada Sudut Bukaannya 10°

Berdasarkan pengambilan data pada tanggal 7 Maret 2025, dengan kondisi bukaan fasad sebesar 10°, hasil pengukuran menunjukkan bahwa rata-rata penurunan temperatur udara pada ruangan yang menggunakan *secondary* fasad mencapai 0,764 °C, disertai kenaikan kelembapan udara sebesar 5,6%, rata-rata perbedaan kecepatan angin sebesar 0.0017m/s, serta penurunan intensitas radiasi matahari sebesar 33,25 W/m². Pada saat pengukuran, tingkat *shading* yang dihasilkan oleh tanaman artifisial yang dipasang pada permukaan fasad tercatat sebesar rata-rata 47,12%. Seluruh data hasil pengukuran disajikan dalam bentuk tabel yang tercantum pada lampiran. Visualisasi data dalam bentuk grafik perbandingan kondisi ruangan dengan dan tanpa *secondary* fasad pada tanggal 7 Maret 2025 dapat dilihat pada Gambar 4.

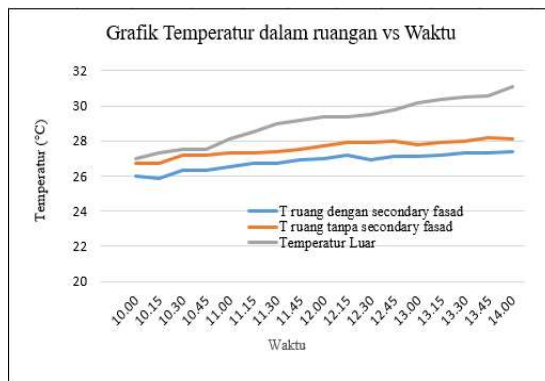


(c)

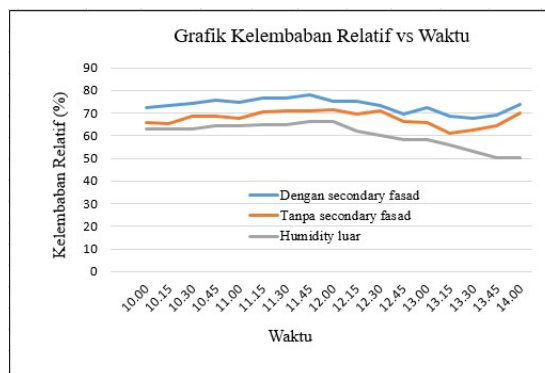


(d)

Gambar 4. Grafik perbandingan (a) temperatur udara, (b) kelembapan relatif, (c) radiasi matahari, dan (d) kecepatan angin pada ruangan dengan dan tanpa *secondary* fasad tanggal 7 Maret 2025



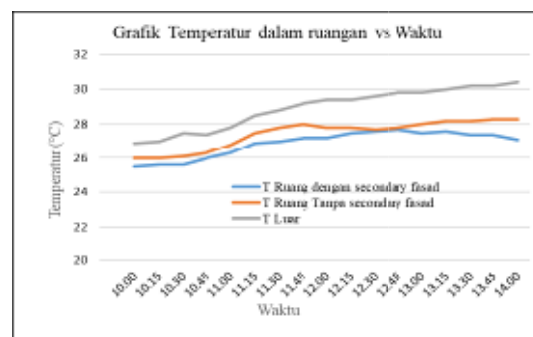
(a)



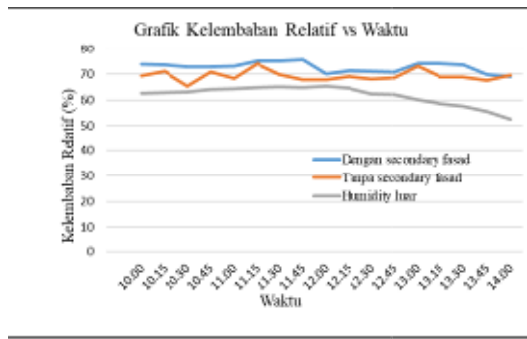
(b)

3.2 Hasil Pengukuran Kondisi Ruangan dengan dan tanpa *Secondary* Fasad pada Sudut Bukaannya 20°

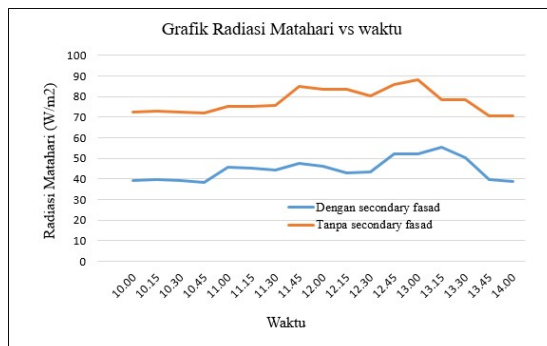
Pengambilan data kedua untuk fasad dengan bukaan sebesar 20° dilaksanakan pada tanggal 8 Maret 2025. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada ruangan yang menggunakan *Secondary Fasad* dengan tanaman artifisial pada permukaannya, terjadi penurunan rata-rata temperatur udara sebesar 0,56 °C, peningkatan kelembapan udara sebesar 3,4%, serta penurunan intensitas radiasi matahari sebesar 32,96 W/m². Selain itu, tercatat pula penurunan rata-rata kecepatan angin di dalam ruangan sebesar 0,0029 m/s. grafik perbandingan kondisi ruangan dengan dan tanpa *secondary* fasad pada tanggal 8 Maret 2025 ditampilkan pada Gambar 5.



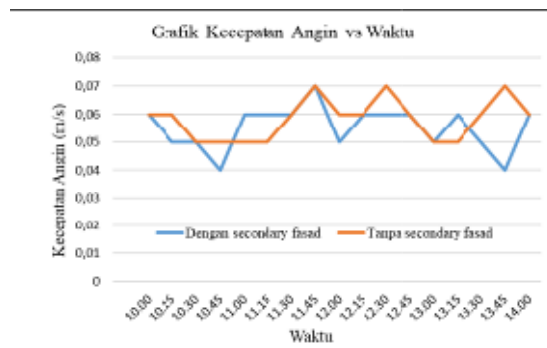
(a)



(b)



(c)



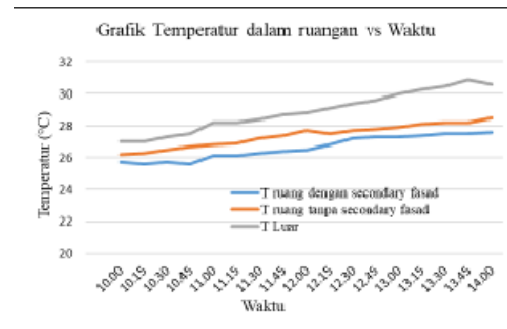
(d)

Gambar 5. Grafik perbandingan (a) temperatur udara, (b) kelembapan relatif, (c) radiasi matahari, dan (d) kecepatan angin pada ruangan dengan dan tanpa *secondary fasad* tanggal 8 Maret 2025

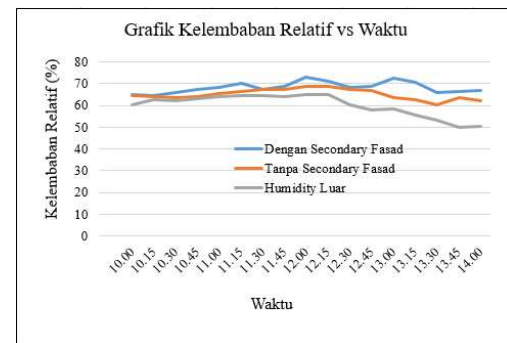
3.3 Hasil Pengukuran Kondisi Ruangan dengan dan tanpa *Secondary Fasad* pada Sudut Buka 30°

Pengambilan data ketiga untuk fasad kinetik dengan bukaan sebesar 30° dilaksanakan pada tanggal 13 Maret 2025. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada ruangan yang menggunakan fasad dengan tanaman artifisial pada permukaannya, terjadi penurunan rata-rata temperatur udara sebesar 0,76 °C, peningkatan kelembapan udara sebesar 4,6%, serta penurunan intensitas radiasi matahari sebesar 32,83 W/m². Selain itu, tercatat pula penurunan rata-rata kecepatan angin di dalam ruangan sebesar 0,0035 m/s. Visualisasi data dalam bentuk grafik perbandingan kondisi ruangan dengan dan tanpa *secondary fasad*

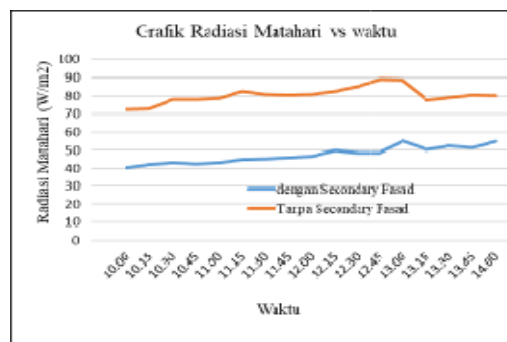
pada tanggal 13 Maret 2025 ditampilkan pada Gambar 6.



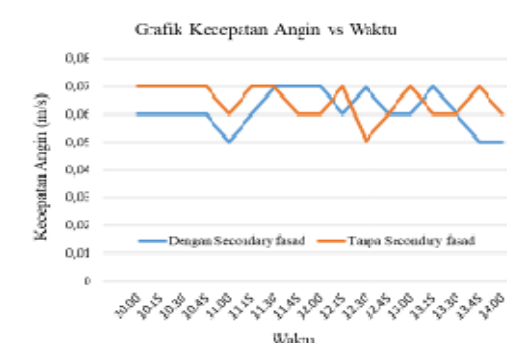
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 6. Grafik perbandingan (a) temperatur udara, (b) kelembapan relatif, (c) radiasi matahari, dan (d) kecepatan angin pada ruangan dengan dan tanpa *Secondary fasad* tanggal 13 Maret 2025

Berdasarkan hasil pengukuran yang diperoleh selama tiga hari pengambilan data, pada ruangan yang dilengkapi *secondary skin* berupa fasad dengan tanaman artifisial, terlihat adanya kecenderungan penurunan temperatur udara dalam ruangan dan intensitas radiasi matahari, yang disertai dengan peningkatan kelembapan udara serta penurunan kecepatan angin di dalam ruangan. Fenomena ini disebabkan oleh efek *shading* yang dihasilkan oleh *secondary* fasad, di mana tanaman artifisial yang dipasang pada permukaannya berfungsi mengurangi paparan radiasi matahari secara langsung, mempertahankan kelembapan udara, dan memengaruhi pola aliran udara di dalam ruangan. Kondisi tersebut berdampak pada penurunan beban pendinginan ruangan akibat berkurangnya radiasi, temperatur, dan kecepatan angin. Selain itu, kelembapan dan kecepatan angin juga berkontribusi terhadap peningkatan kenyamanan termal bagi penghuni ruangan.

Meskipun terdapat variasi sudut bukaan pada *secondary* fasad, perbedaan pengaruhnya terhadap parameter-parameter tersebut relatif tidak signifikan. Penurunan temperatur menunjukkan nilai yang hampir seragam pada setiap variasi bukaan. Peningkatan kelembapan udara tertinggi tercatat pada bukaan 10°, sedangkan kecepatan angin tertinggi dalam ruangan tercatat pada bukaan 30°.

3.4 Evaluasi Beban Pendinginan Ruangan Berdasarkan Data Pengukuran

Parameter utama yang digunakan dalam perhitungan beban pendinginan meliputi temperatur seluruh permukaan dinding ruangan, baik di sisi interior maupun eksterior. Temperatur acuan untuk kondisi pendinginan ruangan ditetapkan sebesar 24,3 °C, merujuk pada standar kenyamanan termal berdasarkan diagram psikrometrik, dan diterapkan secara konsisten pada kedua ruangan yang digunakan dalam penelitian. Berikut Tabel 1-3 menyajikan data perhitungan rata-rata beban pendinginan ruangan pada tanggal 7, 8 dan 13 Maret 2025.

Tabel 1. Perhitungan rata-rata beban pendinginan ruangan tanggal 7 Maret 2025

Sumber Beban Pendingin	Posisi	Material	Beban (Watt)	Pendinginan
Eksternal			Tanpa fasad	Dengan fasad
Dinding	Sisi Kanan (perlakuan)	Brick with Plaster	114,51	87,55
	Sisi depan	Brick with Plaster	113,32	110,37
	Sisi kiri	Brick with Plaster	105,81	105,81
Partisi dinding	Sisi belakang	Softwood	8,71	8,71
	Sisi Kanan (perlakuan)	Wood single glazed glass	354,24	292,53
	Sisi Kiri	Wood single glazed glass	89,81	89,81
Jendela	Sisi Kanan (perlakuan)	Wood single glazed glass	60,58	60,58
	Sisi Kiri	Wood single glazed glass	60,58	60,58
	Sisi Kanan (perlakuan)	single glazed glass	930,41	553,11
Pintu	Sisi kiri	Glazed wood double	28,66	28,66

Internal			
Lampu	Di dalam ruangan	0	345,6
Kipas	Di dalam ruangan	15,68	15,68
Projector	Di dalam ruangan	224,2	224,2
Lain-lain			
Ventilasi	Sisi Kanan (perlakuan)	2377,166	2011,751
Total (Watt)		4423,096	3934,361
Pengurangan Beban Pendinginan (Watt)		488,735	
Persentase Pengurangan Beban Pendinginan		11,05%	

Tabel 2. Perhitungan rata-rata beban pendinginan ruangan tanggal 8 Maret 2025

Sumber Beban Pendingin	Posisi	Material	Beban Pendinginan (Watt)	
Eksternal			Tanpa Fasad	Dengan Fasad
Dinding	Sisi Kanan (perlakuan)	Brick with Plaster	100,89	87,55
	Sisi depan	Brick with Plaster	113,32	113,32
	Sisi kiri	Brick with Plaster	105,81	105,81
Partisi dinding	Sisi belakang	Softwood	8,71	8,71
	Sisi Kanan (perlakuan)	Wood single glazed glass	291,16	258,43
	Sisi Kiri	Wood single glazed glass	89,81	89,81
Jendela	Sisi Kanan (perlakuan)	Wood single glazed glass	60,58	60,58
	Sisi Kiri	Wood single glazed glass	60,58	60,58
	Sisi Kanan (perlakuan)	single glazed glass	938,51	540,53
Pintu	Sisi kiri	Double	28,66	28,66
Internal				
Lampu	Di dalam ruangan		0	345,6
Kipas	Di dalam ruangan		15,68	15,68
Projector	Di dalam ruangan		224,2	224,2
Lain-lain				
Ventilasi	Sisi Kanan (perlakuan)		2185,07	1827,8
Total (Watt)			4162,4	3706,68
Pengurangan Beban Pendinginan (Watt)			455,72	
Presentasi Pengurangan Beban Pendinginan			10,95%	

Tabel 3. Perhitungan rata-rata beban pendinginan ruangan tanggal 13 Maret 2025

Sumber Beban Pendingin	Posisi	Material	Beban Pendinginan (Watt)	
Eksternal			Tanpa Fasad	Dengan Fasad
Dinding	Sisi Kanan (perlakuan)	Brick with Plaster	91,02	77,4
	Sisi depan	Brick with Plaster	113,32	113,32
	Sisi kiri	Brick with Plaster	105,81	105,81
Partisi dinding	Sisi belakang	Softwood	8,71	8,71
	Sisi Kanan (perlakuan)	Wood single glazed glass	269,68	238,82
	Sisi Kiri	Wood single glazed glass	89,81	89,81
Jendela	Sisi Kanan (perlakuan)	Wood single glazed glass	60,58	60,58
	Sisi Kiri	Wood single	60,58	60,58

Radiasi	Sisi Kanan (perlakuan)	glazed glass single glazed glass	970,26	573,85
Pintu	Sisi kiri	Glazed Wood Double	28,66	28,66
Internal				
Lampu	Di dalam ruangan		0	345,6
Kipas	Di dalam ruangan		15,68	15,68
Projector	Di dalam ruangan		224,2	224,2
Lain-lain				
Ventilasi	Sisi Kanan (perlakuan)		2224,36	1865,93
Total (Watt)			4202,09	3748,37
Pengurangan Beban Pendinginan (Watt)			453,72	
Presentasi Pengurangan Beban Pendinginan			10,80%	

Variasi sudut bukaan pada fasad memberikan fleksibilitas dalam pengendalian beban pendinginan, yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi lingkungan. secara efektif menurunkan kebutuhan energi untuk sistem pendingin, sehingga mendukung efisiensi energi bangunan dan meningkatkan kenyamanan termal dalam ruangan.

3.4 Evaluasi Tingkat Kenyamanan Termal Berdasarkan Data Pengukuran

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran selanjutnya diolah untuk menghitung tingkat kenyamanan termal pada ruangan yang menggunakan *secondary* fasad dan ruangan yang tidak menggunakan *secondary* fasad. Tingkat kenyamanan termal dievaluasi melalui perhitungan nilai *Predicted Mean Vote* (PMV), yang merepresentasikan persepsi kenyamanan termal penghuni berdasarkan kondisi lingkungan fisik ruangan.

Dalam proses perhitungan PMV, beberapa asumsi dasar ditetapkan untuk memastikan konsistensi dan validitas hasil. Asumsi-asumsi tersebut meliputi:

- **Laju metabolisme (Metabolic rate)** sebesar 1,0 met, yang merepresentasikan aktivitas ringan seperti duduk, membaca, dan menulis.
- **Indeks pakaian (Clothing insulation value)** sebesar 0,74 clo, yang merupakan akumulasi dari kemeja (0,34 clo), baju dalam (0,08 clo), celana bahan (0,24 clo), celana dalam (0,04 clo), kaos kaki (0,02 clo), dan sepatu (0,02 clo).
- Tidak terdapat beban kerja eksternal (*external work* = 0).

Perhitungan nilai PMV dilakukan dengan menggunakan parameter lingkungan yang meliputi kelembapan udara, temperatur udara, temperatur radian rata-rata, intensitas radiasi matahari, dan kecepatan angin di dalam ruangan. Rekapitulasi hasil perhitungan nilai PMV ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan nilai PMV pada tanggal 7 Maret, 8 Maret dan 13 Maret 2025

Waktu	Nilai Predicted Mean Vote (PMV)					
	7 Maret 2025		8 Maret 2025		13 Maret 2025	
	dengan SF	Tanpa SF	dengan SF	Tanpa SF	dengan SF	Tanpa SF
10.00	0,803	0,844	0,743	0,803	0,688	0,784
10.15	0,798	0,840	0,744	0,842	0,695	0,789
10.30	0,876	0,942	0,760	0,819	0,719	0,826
10.45	0,907	0,968	0,845	0,913	0,745	0,875
11.00	0,994	1,036	0,961	0,992	0,867	0,942
11.15	1,084	1,113	1,092	1,167	0,936	1,012
11.30	1,106	1,148	1,126	1,178	0,942	1,072
11.45	1,167	1,186	1,151	1,188	0,988	1,117
12.00	1,169	1,231	1,121	1,206	1,060	1,156
12.15	1,244	1,283	1,212	1,268	1,092	1,191
12.30	1,194	1,296	1,180	1,250	1,133	1,193
12.45	1,174	1,260	1,211	1,264	1,146	1,198
13.00	1,231	1,305	1,251	1,350	1,204	1,193
13.15	1,220	1,269	1,299	1,352	1,222	1,232
13.30	1,225	1,315	1,268	1,351	1,209	1,241
13.45	1,289	1,376	1,246	1,360	1,232	1,291
14.00	1,338	1,400	1,246	1,391	1,199	1,290
Rata-rata nilai PMV	1,107	1,166	1,086	1,158	1,005	1,082
rata-rata perubahan nilai PMV	0,059		0,073		0,078	
Presentase Peningkatan Kenyamanan Termal	5,03%		6,29%		7,20%	

Berdasarkan hasil perhitungan nilai *Predicted Mean Vote* (PMV) yang disajikan pada Tabel 4. dapat diamati bahwa penerapan *secondary* fasad dengan tanaman artifisial pada ketiga variasi bukaan (10°, 20°, dan 30°) memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan kenyamanan termal di dalam ruangan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh penggunaan *secondary* fasad dengan variasi bukaan sudut dan tanaman artifisial terhadap kenyamanan termal dan efisiensi beban pendinginan ruangan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Penerapan *secondary* fasad dengan tanaman artifisial efektif dalam menurunkan temperatur udara dalam ruangan, mengurangi intensitas radiasi matahari, serta meningkatkan kelembapan udara, dibandingkan dengan ruangan yang tidak menggunakan *secondary* fasad.
2. Penggunaan fasad dengan variasi bukaan 10°, 20°, dan 30° menunjukkan adanya penurunan beban pendinginan ruangan secara berturut-turut sebesar 11,05%, 10,95%, dan 10,80%. Hal ini menunjukkan bahwa Variasi bukaan sudut tidak menunjukkan perbedaan yang significant. penggunaan *secondary* fasad mampu mengurangi beban pendinginan, yang berpotensi meningkatkan efisiensi energi pada bangunan.

3. Pengaruh *secondary* fasad terhadap tingkat kenyamanan termal, yang ditunjukkan melalui nilai *Predicted Mean Vote* (PMV), menunjukkan bahwa rata-rata PMV menurun pada ruangan yang menggunakan *secondary* fasad dibandingkan ruangan tanpa fasad. Penurunan rata-rata PMV sebesar 0,059 (5,03%) pada bukaan 10°, 0,073 (6,29%) pada bukaan 20°, dan 0,078 (7,20%) pada bukaan 30°, yang menunjukkan peningkatan kenyamanan termal secara konsisten.
4. Dengan demikian, penggunaan *secondary* fasad dengan tanaman artifisial dapat direkomendasikan sebagai salah satu strategi desain pasif yang efektif dalam mengendalikan iklim mikro ruangan, meningkatkan kenyamanan termal, dan mengurangi kebutuhan energi pendinginan pada bangunan di iklim tropis.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Pada Skema Penelitian Tesis Magister Sesuai Dengan Kontrak Penelitian Nomor: 060/C3/DT.05.00/PL/2025 Tahun Anggaran 2025.

Daftar Pustaka

- [1] Imran., Iqbal, N., Kim, D. H., 2022. IoT Task Management Mechanism Based on Predictive Optimization for Efficient Energy Consumption in Smart Residential Buildings. *Energy and Buildings*, 257, pp. 1-12.
- [2] Sekretariat Perusahaan PT. PLN (Persero)., 2020. *Statistik PLN*. Sekretariat Perusahaan PT. PLN (Persero).
- [3] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2012). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2012 tentang Penghematan Pemakaian Tenaga Listrik*. Jakarta: Kementerian ESDM.
- [4] Pemerintah Republik Indonesia. (2023). *Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2023 tentang Konservasi Energi*. Jakarta: Kementerian Sekretariat Negara.
- [5] Marpaung, P., Widyantoro, T., Tarigan, S., Pittering, E., 2016. Prinsip Penghematan Energi pada Bangunan Gedung. *Modul Manajer Energi di Ind. dan Gedung*, pp. 214–276.
- [6] Madhuri, N. S., Shailaja, K., Saha, D., Revathy, P., Glory, K. B., Sumithra, M., 2022. IOT integrated smart grid management system for effective energy management. *Measurement: Sensors*, 24.
- [7] Dawson, B., Spannagle, M., 2020. *Intergovernmental Panel on Climate Change (Ipcc)*.
- [8] Choudhary, S., Singh Thakur, M., Dogne, N., 2014. AICMT: National conference on Alternative & innovation Construction Materials & Techniques TEQIP-II/Civil/AICMT-2 Passive Cooling Techniques, Design Concept and Ventilation Techniques.
- [9] Dimoudi, A., 2013. Passive cooling of buildings. *Passiv. Cool. Build*, pp. 35–55.
- [10] Ricardo, D., 2022. Pengaruh Desain *Secondary* Skin terhadap Pencahayaana Alami dengan Penerapan Motif Islami. *Sinektika J. Arsit*, 19 (2), pp. 190–197.
- [11] Nugroho, M. S. P., 2021. Seni Ornamen Nusantara Sebagai *Secondary* Skin Bagi Sun Control Pada Bangunan. *Simp. Nas. RAPI XI FT UMS*, pp. 1–4.