

Pengaruh Sifat Termofisis Kaca Jendela Terhadap Suhu Radiasi Dalam Ruangan Akibat Paparan Sinar Matahari

Sangkertadi Sangkertadi^{1*}), Octavianus H.A Rogi¹⁾, Alicia A.E Sinsuw¹⁾
Rexvan L Podung¹⁾, Ricky M.S Lakat¹⁾, Surijadi Supardjo¹⁾,
Stephanie J Najoan¹⁾, Asni A Nuchri¹⁾

¹⁾Department of Architecture, Faculty of Engineering Sam Ratulangi University,
Manado, Indonesia

*Corresponding email: sangkertadi@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Tulisan ini fokus mengenai pengaruh variasi sifat termofisis kaca jendela bangunan terhadap perubahan panas radiasi dalam ruang sebagai akibat dari terpaan sinar matahari pada bidang kaca jendela di iklim tropis. Dari beragam sifat kaca, perlu diketahui yang mana yang paling berpengaruh terhadap suhu radiasi rata rata dalam ruangan. Metode yang digunakan adalah perhitungan simulasi dengan menerapkan model perpindahan panas kondisi stedi menggunakan *spread sheet* dan suatu program komputer. Dalam proses perhitungan diterapkan berbagai variasi sifat termofisis kaca yang meliputi koefisien serapan kalor, transmitansi kalor, reflektansi kalor, ketebalan dan emisivitasnya. Selain itu juga divariasikan besarnya radiasi matahari dari pagi hingga sore hari dengan kasus daerah beriklim tropis. Kasusnya adalah suatu ruangan tipikal kantor berukuran (6x6x2.5)m³, dimana ukuran kaca jendela dianggap penuh pada bidang muka yang menghadap langit. Arah jendela divariasikan menghadap Utara dan Barat. Lokasi bangunan di 1.5° Lintang Utara. Sebagai keluaran adalah suhu permukaan kaca bagian luar dan dalam, suhu permukaan dinding dan lantai dalam ruangan yang terkena sinar matahari langsung, serta suhu radiasi rata rata dalam ruangan. Visualisasi pola pancaran panas radiasi juga ditampilkan dengan menggunakan suatu software. Hasil simulasi menunjukkan bahwa angka koefisien transmitansi kalor adalah sifat termofisis yang paling berpengaruh terhadap perubahan panas radiasi rata rata dalam ruang. Sedangkan besarnya serapan kalor kaca berpengaruh signifikan pada besarnya suhu permukaan bidang kaca bagian luar dan dalam.

Kata kunci: Jendela; Kaca; Radiasi; Tropis

Influence of Thermophysical Properties of Window Glass on Indoor Radiation Temperature Due to Sunlight

ABSTRACT

This paper describes the influence of thermophysical properties of building window glass on changes in radiation heat in a room due to sunlight on the window glass surface. From the various properties of glass, it is necessary to know which one has the greatest influence on the average radiation temperature in a room. This study uses a simulation calculation method by applying a steady-state heat transfer model using a spreadsheet and a computer program. In the calculation process, various variations of glass thermophysical properties are applied, including heat absorption coefficient, heat transmittance, heat reflectance, thickness and emissivity. In addition, the amount of solar radiation from 08.00 am to 04.00 pm was also varied with the case of tropical climates. The direction of the windows is varied facing North and West. The location of the building is at 1.5° North Latitude. The case is a typical office room measuring (6x6x2.5) m³, where the size of the window glass is considered full on the face facing the sky. The output is the temperature of the outer and inner glass surfaces, the temperature of the walls and floors in the room exposed to direct sunlight, and the average

radiation temperature in the room. Visualization of the radiation heat emission pattern is also displayed using a heat transfer software. The simulation results show that the heat transmittance coefficient is the thermophysical property that has the most influence on changes in average heat radiation in the room. Meanwhile, the amount of heat absorption by glass has a significant effect on the surface temperature of the outer and inner glass areas.

Keywords: Glass; Radiation; Tropical; Window

(Article History: Received 25-06-2025; Accepted 30-09-2025; Published 04-10-2025)

PENDAHULUAN

Pembahasan mengenai kaca jendela bangunan di daerah beriklim tropis pada umumnya mengarah pada perihal pencahayaan dan dampak panas matahari yang masuk kedalam ruangan. Gedung modern atau arsitektur kontemporer di daerah perkotaan umumnya menampilkan bangunan gedung tinggi dimana pemasangan kaca bangunan pada selubungnya nampak dominan dibandingkan dinding masif atau opaque. Dari sisi fungsional, penggunaan kaca pada jendela bangunan diperlukan untuk memasukkan kecukupan pencahayaan dari luar kedalam bangunan, dan untuk memperluas pandangan kearah luar dari dalam bangunan. Namun sebaliknya ada resiko dimana semakin luas bidang kaca selubung bangunan, maka akan semakin banyak memasukkan panas yang cukup besar dari radiasi matahari kedalam bangunan. Akibatnya bisa berdampak pada keadaan tidak nyaman atau terlalu panas dalam ruangan. Sifat termofisis kaca yang berkaitan dengan perihal pemasukan panas dalam ruangan adalah konduktifitas termal, transmitansi termal, emisivitas serta kapasitas panas jenis dan juga massa jenis dan tebalnya. Permasalahannya adalah mana diantara berbagai sifat termofisis kaca tersebut yang paling besar pengaruhnya terhadap perubahan panas radiasi dalam ruangan. Sedangkan secara teoretis suhu radiasi dalam ruangan dipengaruhi oleh besarnya suhu permukaan lantai dan dinding yang terkena terpaan sinar matahari yang menembus kaca. Suhu permukaan kaca bagian dalam juga mempengaruhi kuantitas suhu radiasi dalam ruangan. Adapun untuk menyelesaikan, menjelaskan atau mengurai permasalahan tersebut, perlu dibuat pemodelan untuk kasus perpindahan panas dalam ruang gedung berjendela kaca. Pemodelan fisis dan numeris untuk perhitungan pertukaran panas dalam ruang bangunan dengan jendela kaca dapat dibuat dengan model monodimensioanl atau 2D bahkan 3D, dengan menerapkan solusi numerik secara *steady state* maupun *transient (unsteady state)* (Zhao et al., 2023).

Di daerah tropis terdapat banyak bersinar matahari sehingga faktor kaca jendela menjadi perhatian utama. Energi panas yang cukup besar dari luar yang menerpa bidang jendela pada umumnya berasal dari energi gelombang pendek yaitu sinar matahari, namun perlu dipertimbangkan adanya radiasi gelombang panjang yang berasal dari langit, bangunan sekitarnya dan radiasi permukaan tanah (Ishida et al., 2024; Kwon & Lee, 2019; Luo et al., 2020). Jadi dibutuhkan penggunaan jenis material selubung bangunan yang memiliki kapasitas menghambat flux termal yang cukup besar, baik radiatif maupun konduktif, agar ruang dalam gedung bisa nyaman dan hemat energi (Bachrun et al., 2019). Dalam perencanaan gedung, salah satu parameter untuk mengukur efisiensi energy yang berkaitan selubung bangunan dengan model satu dimensi dan steady state adalah *Overall Thermal Transfer Value* dimana dalam praktik perancangan bangunan menurut SNI 6389:2020 nilainya dibatasi maksimum 35 W/m² (Muhammad et al., 2019; Muhfizaturrahmah et al.,

2021; Sangkertadi, 2023). Namun, akurasi OTTV juga masih belum memuaskan untuk menjawab kesesuaian kinerja selubung bangunan maupun untuk menjawab kinerja energy gedung secara utuh (A.L.S. Chan, 2023; T.N. Chan *et al.*, 2023), sehingga perlu pengembangan model lanjutan yang antara lain menggunakan OTTV sebagai salah satu variabelnya (Kurniawan *et al.*, 2023). Keputusan penentuan desain selubung atau insulasi termal yang baik tentunya akan menjamin kinerja termal yang baik pula (Jannat *et al.*, 2020; Midiani *et al.*, 2021). Untuk dinding luar, konduktivitas termal bahan harus rendah, dan kapasitas panas volumetrik harus tinggi, tetapi nilai konduktifitas termal yang lebih tinggi dari 0.5 W/(m·K) tidak efisien (Kumar *et al.*, 2023). Faktanya bidang transparan atau kaca, adalah elemen fasad yang paling signifikan memasukkan panas kedalam bangunan, dikarenakan wujud fisik bahan kaca yang transparan, tipis, dengan angka transmitansi termal serta konduktifitas termal yang cukup besar. Nilai SHGC (*Solar Heat Gain Coefficient*) kaca yang hanya beda hanya 0.1, namun berdampak sangat besar pada transmitansi termal dan efisiensi energy listrik Gedung (Samuelson *et al.*, 2025). Sedangkan pada umumnya desain arsitektur kontemporer menampilkan fasad dengan bidang kaca yang lebih besar dibandingkan bidang opaque. Untuk menahan laju perpindahan panas dari luar ke dalam ruang khususnya di daerah tropis dan juga untuk meningkatkan efisiensi energi bangunan, maka elemen fasad material transparan (kaca) harus memiliki sifat transmitansi dan konduktansi termal yang lebih kecil dari bahan kaca pada umumnya (Li W *et al.*, 2023). Karena tipisnya material kaca bangunan dan cukup besarnya difusifitas termal pada umumnya, maka dalam perhitungan perpindahan panas secara konduktif, cukup dilakukan dengan cara *steady-state*, dimana asumsi bahwa suhu tidak berubah banyak terhadap waktu di dalam material kaca, karena proses perpindahan panas terjadi dengan cepat melalui kaca yang tipis. Bahkan beda suhu permukaan kaca bagian luar dan dalam untuk kasus kaca tunggal pada jendela gedung hanya berkisar 1 °C atau lebih kecil dari itu (Khamporn & Chaiyapinunt, 2014; Lee *et al.*, 2023). Selain itu penerapan model perhitungan cara *steady-state* dapat dinyatakan cukup akurat untuk kebutuhan praktis industri konstruksi dan utilitas bangunan yang hemat energi (Román & Hensel, 2022).

Secara khusus tulisan ini menyajikan hasil penelitian mengenai pengaruh dari sifat termofisis kaca jendela terhadap perubahan suhu radiatif rata rata dalam ruangan. Perubahan suhu permukaan kaca dinding dan lantai yang terkena matahari diperhitungankan sebagai penyebab utama peningkatan suhu radasi rata rata dalam ruang. Kebanyakan studi terdahulu hanya menyentuh pada material kaca itu sendiri atau dampak energi bangunan serta total kuantitas panas transmisi yang masuk kedalam ruang. Ada satu studi yang juga mempertimbangkan pengaruh panas lantai yang terkena pancaran radiasi langsung, yaitu studi oleh Al-Harbi (Al-Harbi & Al-Sanea, 2019), dimana ditunjukkan bahwa panas radiasi karena faktor transmisi kaca ternyata lebih besar dibandingkan karena faktor konduksi, baik berlaku pada jenis kaca bening maupun kaca tahah panas (*tinted*). Namun dalam studi oleh Al-Harbi tersebut tidak mempertimbangkan pengaruh panas permukaan dinding yang mungkin bisa terkena sinar matahari yang datang dari arah menyamping. Studi oleh Al Harbi tersebut hanya terbatas pada satu arah sinar matahari bersudut miring vertikal dan mengarah frontal pada bidang kaca, tidak mempertimbangkan kemungkinan matahari miring horizontal ke kiri atau kanan. Berdasar dari studi terdahulu tersebut, maka disini dapat dinyatakan kebaruan dalam studi ini, yaitu pengungkapan adanya peran suhu permukaan

lantai dan “dinding” yang terkena sinar matahari terhadap suhu radiasi rata rata dalam ruang, yang terjadi dari pagi hingga sore hari, dimana posisi kemiringan penyinaran matahari secara vertikal, miring dan horizontal dipertimbangkan semuanya.

METODE PENELITIAN

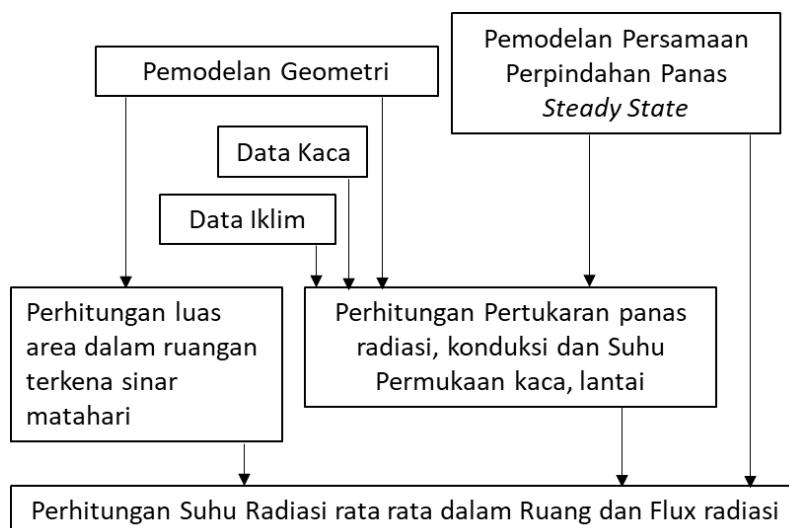
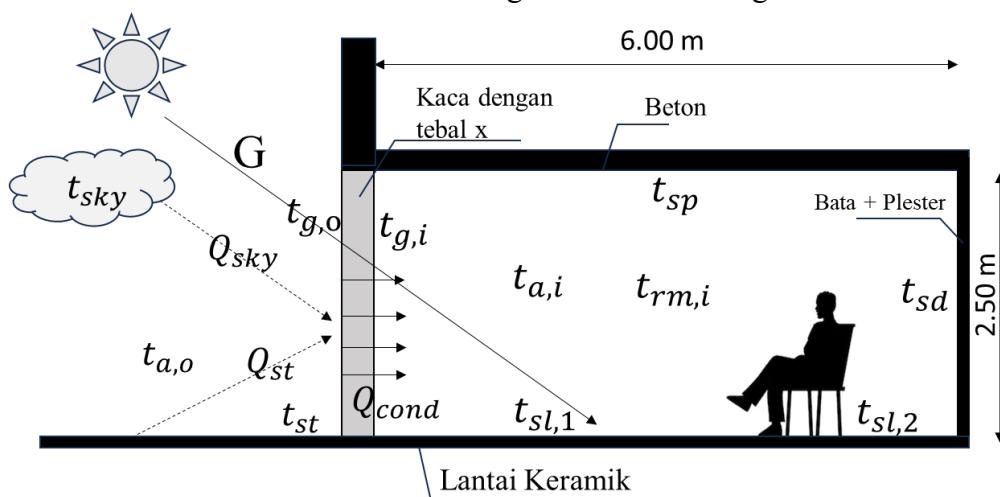
Metodologi yang diterapkan berupa perhitungan simulasi dengan cara manual dan simulasi komputasional menggunakan software HEAT2 terutama untuk mendapatkan visualisasi distribusi panas radiatif dalam ruangan. Sebagai kasus adalah suatu tipikal ruang kantor dengan ukuran (6x6x2.5) m³ dengan jendela kaca sepenuhnya pada bidang selubung dengan mengacu pada tren desain arsitektur bangunan kontemporer. Gambar 1 menunjukkan diagram alir metodologi. Jenis kaca yang dijadikan obyek simulasi memiliki variasi ketebalan dari 3 mm sd 15 mm, dengan sifat transmitansi, reflektansi dan absorbtansi termal yang bervariasi (Tabel.1). Melalui studi ini dilakukan perbandingan dampak yang terjadi karena penggunaan tipe kaca biasa yang bening dan tipe kaca gelap yang tahan radiasi matahari, atau tipe kaca dengan sifat emisivitas tinggi dan rendah. Variasi panas dari matahari tipe tropis yang mewakili bersinar pada saat deklinasi maksimum dan lintang tropis, yaitu pada bulan bulan Juni. Ruangan atau arah jendela kaca divariasikan pada arah Utara dan Barat. Bangunan dianggap berada di lintang tropis kota Manado, 1.5 LU. Adapun suhu udara (suhu kering) dalam ruang diasumsikan konstan 27 °C, kecepatan angin 0.2 m/s dan kelembapan 60%, dengan anggapan adanya sistem pengkondisian udara yang menghasilkan kondisi suhu nyaman optimal dimana TE (Temperatur Efektif) adalah 24°C. TE tersebut mengacu standar Indonesia yakni SNI 03-6572-2001. Sedangkan suhu ruang luar diasumsikan bervariasi berdasarkan profil data suhu udara sampel profil daerah tropis yakni di kota Manado pada suatu tipe bulan Juni (Tabel.2). Secara prinsip model grafis ruangan dan pola sebaran variabel energi kalor ditampilkan pada Gambar 2. Sumber energi panas yang menerpa jendela kaca dari luar, pada umumnya berasal dari pancaran energi panas lingkungan berupa radiasi gelombang pendek dan radiasi gelombang panjang. Adapun radiasi gelombang pendek adalah sinar matahari (sekitar 350 sd 800 nm) sedangkan radiasi gelombang panjang meliputi energi radiasi yang berasal dari pertukaran panas bidang jendela dengan langit, dan juga dengan tanah.

Persamaan pertukaran kalor yang digunakan adalah cara *steady state* dengan kesetimbangan panas yang terjadi didalam ruang, dimana bidang kaca jendela menjadi material pembatas ruang luar dan dalam, yakni sebagai berikut (Al-Harbi & Al-Sanea, 2019):

$$Q_{cond} = Q_{conv} + Q_{rad} \quad (1)$$

$$-k \frac{dT}{dx} = h_{c,i}(T_{g,i} - T_{a,i}) + \varepsilon\sigma(T_{g,i}^4 - T_{sur}^4) \quad (2)$$

dimana dT adalah beda suhu permukaan kaca bagian luar dan dalam, $T_{g,i}$ adalah suhu kaca bagian dalam, $T_{g,o}$ adalah suhu kaca bagian luar, $T_{a,i}$ adalah suhu udara dalam ruang, T_{sur} , adalah suhu radiasi lingkungan sekitar kaca, ϵ adalah emisivitas kaca, s adalah bilangan Stefan Boltzman, T dinyatakan dalam Kelvin. T_{sur} adalah suhu radiatif rata rata dari lingkungan dalam ruang sekitar kaca jendela, yaitu berasal dari dinding, lantai dan plafon.

**Gambar 1.** Diagram alir metodologi**Gambar 2.** Mekanisme dan variabel proses pertukaran panas pada bangunan**Tabel 1.** Spesifikasi Kaca Industri untuk Kasus

No	Tipe	Tebal	k (konduk-tifitas termal)	τ (transmi-tansi termal)	α (serapan panas/ abaorptansi panas)	ρ (reflek-tansi panas)	ε (emisivitas)
			mm	W/m K	%	%	
1	Bening	5	0.8	81	12	6	0.94
2	Bening	10	0.8	72	22	6	0.94
3	Bening	15	0.8	64	30	6	0.94
4	Bening	19	0.8	59	35	7	0.93
5	Biru Gelap	5	0.8	28	45	27	0.73
6	Biru Gelap	8	0.8	20	54	26	0.74

Sumber : <https://www.agc-yourglass.com/>, dan <https://agc-glassasia.com/>

Tabel 2. Data iklim

Jam	Suhu Udara (°C)		Radiasi Matahari Global pada bidang tegak ³⁾ (W/m ²)		Radiasi Matahari Global pada bidang datar ³⁾ (W/m ²)	Kelembapan Udara ⁴⁾ (%)	Kecepatan Udara ⁵⁾ (m/s)
	Luar ¹⁾	Dalam ²⁾	Bidang Utara	Bidang Barat			
8	30.6	27	294.76	76.16	352.2	60	0.2
9	30.1	27	351.85	112.93	540.5	60	0.2
10	31.2	27	390.31	142.29	688.2	60	0.2
11	31.7	27	413.23	161.18	781.9	60	0.2
12	31.8	27	420.89	167.69	814.0	60	0.2
13	32	27	413.62	316.92	781.9	60	0.2
14	31.5	27	391.06	437.83	688.2	60	0.2
15	30.5	27	352.86	513.19	540.5	60	0.2
16	29.4	27	295.88	520.98	352.2	60	0.2

Keterangan:

1) Data meteorologi

2) Asumsi konstan

3) Hasil perhitungan dengan program Matahari (Sangkertadi, 2009)

4) Asumsi konstan

5) Asumsi konstan

Sebagaimana pada Gambar.1., besarnya T_{sur} (dalam K) atau t_{sur} (dalam derajat Celcius) dapat didekati sebagai suhu rata rata dari permukaan dinding, lantai dan plafon, dan dihitung proporsional berdasarkan luas masing masing permukaan, yaitu:

$$t_{sur} = \frac{t_{sl1} A_{sl1} + t_{sl2} A_{sl2} + t_{sd} A_{sd} + t_{sc} A_{sc}}{A_{sl1} + A_{sl2} + A_{sd} + A_{sp}} \quad (3)$$

Suhu radiasi rata rata dalam ruang dapat disederhanakan sebagai suhu radiasi yang tergantung pada suhu semua permukaan dalam ruang, termasuk permukaan kaca bagian dalam, yang dalam gambar 1, adalah Trm, dengan persamaan:

$$t_{rm} = \frac{t_{sl1} A_{sl1} + t_{sl2} A_{sl2} + t_{sd} A_{sd} + t_{sc} A_{sc} + t_{gi}}{A_{sl1} + A_{sl2} + A_{sd} + A_{sp} + A_g} \quad (4)$$

Adapun $h_{c,i}$ adalah koefisien pertukaran kalor konvektif didalam ruang yang dipengaruhi oleh kecepatan udara, v (m/s), dimana dapat menggunakan persamaan dari Eriksson and Granqvist (Yan et al., 2024), yaitu:

$$h_{c,i} = 5.7 + 3.8 v \quad (5)$$

Selanjutnya sumber panas dari Q_{cond} yang berasal dari sisi luar jendela, terdiri atas panas yang berasal dari sinar matahari (radiasi gelombang pendek/ *shortwave radiation*), dan dari langit serta tanah (radiasi gelombang panjang/ *longwave radiation*). Adapun besar radiasi matahari dapat diperoleh dari hasil data, pengukuran di stasiun meteorologi maupun dari suatu perhitungan (Sangkertadi, 2022). Kajian ini menggunakan input data radiasi matahari yang berasal dari hasil perhitungan dengan program “Matahari” (Sangkertadi, 2009), sebagaimana pada Tabel.2. Sedangkan persamaan untuk mengestimasi flux radiasi gelombang panjang/ *longwave radiation* yang berasal dari langit dapat berupa persamaan umum pertukaran panas radiatif :

$$Q_{sky} = h_r (T_{a,o} - T_{sky}) \quad (6)$$

dimana besar h_r dapat bernilai 5.5 W/m²K (Shinoda et al., 2019) Sedangkan untuk menentukan nilai T_{sky} atau suhu langit , dapat digunakan persamaan Dreyfuss (Yan et al., 2024) dimana T dalam Kelvin yaitu:

$$T_{sky} = 0.0052 T_{a,o}^{1.5} \quad (7)$$

Adapun besarnya energi panas gelombang panjang yang berasal dari tanah dapat menjadi:

$$Q_{st} = h_r(t_{a,o} - t_{st}) \quad (8)$$

dimana suhu tanah t_{st} (dalam derajat Celcius) yang mendapat penetrasi radiasi matahari dan udara luar, dapat diestimasi dengan persamaan kesetimbangan termal (Zold & Szokolay, 2001)

$$t_{st} = t_{a,o} + \frac{G \alpha_{st}}{h} \quad (9)$$

dimana G adalah besar radiasi matahari total (sinar langsung dan tidak langsung) dan h adalah koefisien pertukaran panas konvektif dan radiatif pada lantai yang terkena panas, yang nilainya 11 W/m²K (Shinoda *et al.*, 2019).

Dengan mempertimbangkan bahwa flux energi dari luar, adalah terdiri atas energi gelombang pendek (sinar matahari) dan gelombang panjang, dimana dengan asumsi bahwa energi gelombang panjang terdiri atas setengah dari langit dan setengahnya dari tanah, maka persamaan (2) dapat di definisikan menjadi:

$$-k \frac{dT}{dx} = G + 0.5 Q_{st} + 0.5 Q_{sky} = h_{c,i}(T_{g,i} - T_{a,i}) + \varepsilon\sigma(T_{g,i}^4 - T_{sur}^4) \quad (10)$$

dT tersebut adalah beda suhu permukaan kaca bagian luar dan dalam, dan dx adalah tebal kaca, maka:

$$-k \frac{(T_{g,o} - T_{g,i})}{x} = G + 0.5 Q_{st} + 0.5 Q_{sky} \quad (11)$$

Adapun pengaruh sifat material kaca dalam persamaan-persamaan tersebut, terkait pada angka konduktifitas termal (k), ketebalan (dx), serta emisivitasnya (ε). Persamaan (11) dapat diselesaikan dengan cara iterasi untuk mendapatkan $T_{g,i}$ dimana variabel lainnya dapat diketahui dengan menggunakan persamaan pendekatan sesuai rumus rumus (3) sampai dengan (9). $T_{g,o}$ pun selanjutnya juga dapat diketahui dengan menggunakan rumus (12), dimana angka konduktifitas termal (k) dan tebal kaca (x) serta emissivitas (ε) dapat diketahui berdasarkan data dari pabrikan atau industri kaca. Namun perlu ditekankan bahwa hubungan penjumlahan antara koefisien sifat transmitansi, absorptansi, dan reflektansi termal kaca adalah sama dengan satu, atau:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (12)$$

Sedangkan koefisien emisivitas bergantung sifat molekular material dan warna permukaan kaca. Apapun, bahwa panas yang diserap oleh kaca, pada saat tertentu akan diemisikan keluar material kaca. Sedangkan panas radiasi langsung yang menembus kaca hingga masuk kedalam ruangan, tergantung pada sifat transmitansi termal dan dapat dinyatakan dengan:

$$Q_{trans} = A I_b \tau \text{ (watt)} \quad (13)$$

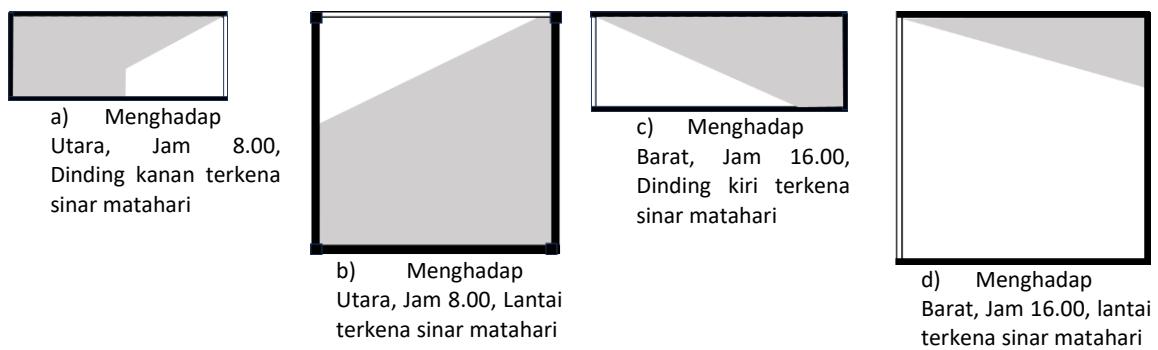
dimana A adalah luas bidang jendela, τ adalah koefisien transmitansi termal kaca dan I_b adalah sinar radiasi langsung yang menerpa bidang bukaan kaca.

Selanjutnya untuk memvisualisasikan pola distribusi panas dalam ruang secara 2 dimensi, digunakan software HEAT2, dimana sebagai *boundary input* adalah suhu suhu permukaan kaca, lantai dan dinding, yang diasumsikan sebagai suhu radiatif yang akan mempengaruhi langsung kenyamanan termal manusia didalam ruang.

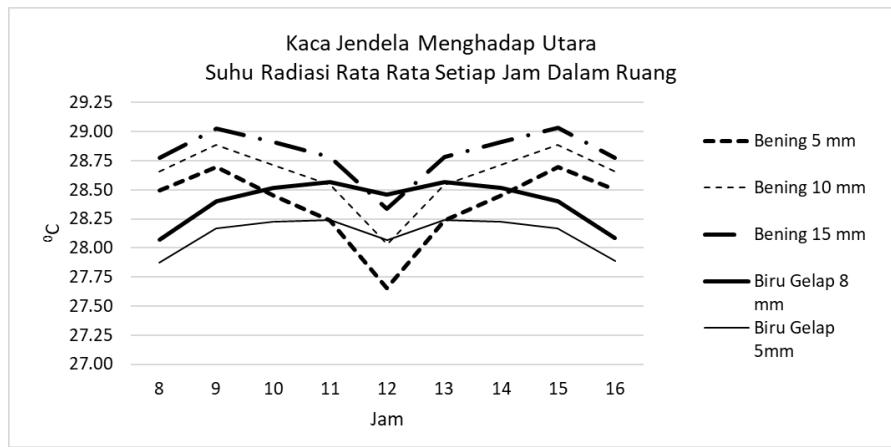
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan simulasi menujukkan adanya perbedaan yang moderat antara kaca menghadap Utara dan Barat terhadap suhu radiasi rata rata semua permukaan dalam ruangan yang terjadi setiap jam. Hal itu menandakan adanya pengaruh secara simultan antara sifat termofisis kaca dan orientasi jendela terhadap besarnya panas radiasi dalam ruangan. Elemen iklim ruang yang bervariasi dalam kasus ini adalah suhu permukaan kaca bagian dalam dan suhu permukaan lantai, dimana keduanya berkontribusi pada besarnya suhu radiasi rata rata dalam ruang, dan menjadi penyebab rasa kenyamanan termal dalam ruangan. Luasan area permukaan lantai dan dinding yang terkena sinar matahari memberi pengaruh terhadap peningkatan suhu radiasi rata rata dalam ruang. Oleh karena itu, luasan pembayangannya juga diperhitungkan dengan cara geometri matahari pada ruang bangunan (Gambar.3).

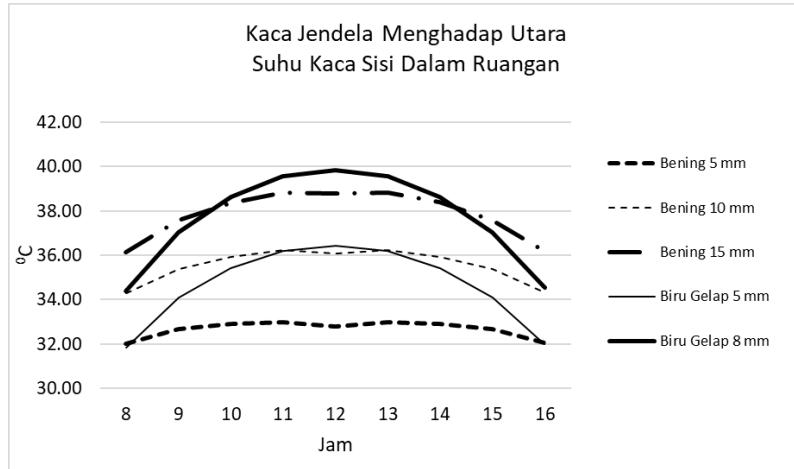
Pada kasus kaca menghadap Utara, tidak terdapat perbedaan yang besar pada hasil perhitungan suhu radiasi rata rata dalam ruang setiap jam (Gambar.4). Suhu radiasi rata rata tertinggi secara umum di tunjukkan pada kasus jendela dengan menggunakan kaca bening 15 mm. Hal ini terjadi karena kontribusi suhu permukaan kaca jendela bagian dalam, serta suhu lantai dan dinding yang terkena sinar radiasi matahari langsung. Menjadi pertanyaan mengapa justru kaca lebih tebal yang berkontribusi lebih besar pada peningkatan suhu dalam ruang. Bisa terjadi karena angka koefisien serapan panas yang lebih tinggi dibandingkan kaca 5mm dan 10mm. Sebagai perbandingan konfirmatif, ternyata studi dari (Peng et al., 2024) juga menunjukkan bahwa angka serapan panas dan konduktivitas termal kaca berkontribusi signifikan menyebabkan tingginya suhu permukaan kaca. Hasil simulasi suhu permukaan kaca bagian dalam menunjukkan bahwa justru kaca biru gelap 8 mm dan kaca bening tebal 15 mm yang menunjukkan angka suhu tertinggi. Sekali lagi hal ini terjadi karena pengaruh sifat serapan termal kaca yang cukup besar. Akibat dari sifat serapan kalor yang besar maka terjadi penumpukan panas dari matahari pada tubuh kaca dan selanjutnya menyebabkan flux konduksi panas yang cukup besar dari permukaan luar ke permukaan dalam (Gambar.5). Selain itu, kontribusi dari suhu lantai yang terkena sinar matahari juga cukup signifikan (Gambar. 6). Namun pengaruh suhu lantai terhadap suhu radiasi rata-rata juga tergantung pada besarnya luasan bidang lantai yang terkena sinar matahari. Adapun besar kecilnya suhu permukaan lantai dipengaruhi terutama oleh sifat transmitansi termal kaca, dimana menyebabkan kuantitas tertentu dari radiasi matahari yang menembus kaca, dan selanjutnya menyentuh lantai dan dinding didalam ruangan. Nampak bahwa kaca dengan sifat transmitansi yang besar yaitu kaca bening 5mm, menunjukkan sebagai penyebab utama tingginya suhu permukaan lantai dfan dinding (Gambar.6).



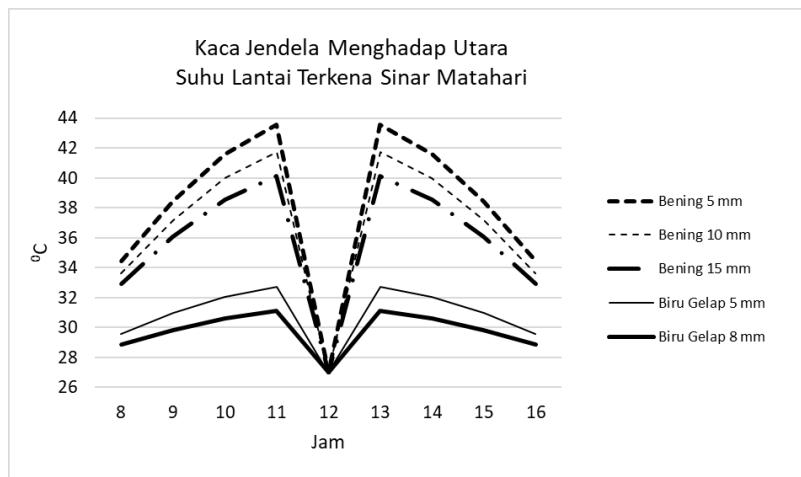
Gambar 3. Pembayangan dan sinar matahari langsung pada dinding dan lantai (warna terang yang terkena sinar matahari langsung)



Gambar 4. Suhu radasi rata rata dalam ruang, pada kasus kaca jendela menghadap Utara, di bulan Juni.

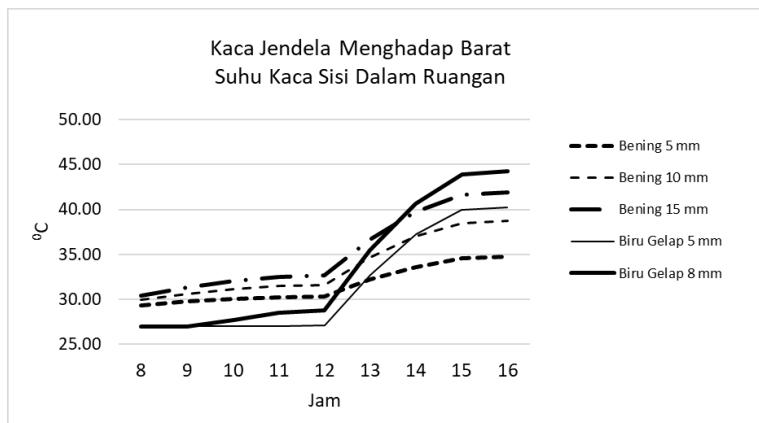


Gambar 5. Suhu permukaan kaca bagian dalam, pada kasus kaca jendela menghadap Utara, di bulan Juni.



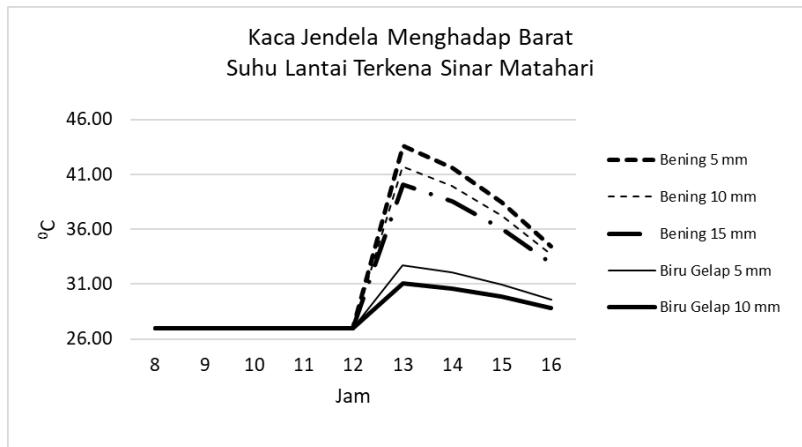
Gambar 6. Suhu permukaan lantai, pada kasus kaca jendela menghadap Utara, bulan Juni

Apabila kaca jendela mengarah ke Barat, maka saat pagi hari sampai jam 12.00, tidak terjadi peningkatan panas, karena faktor matahari masih di posisi Timur. Namun saat siang hingga sore hari, maka terjadi peningkatan panas yang signifikan pada permukaan kaca, lantai dan ruang dalam. Bahkan suhu permukaan kaca bisa mencapai hampir 45°C (Gambar 7). Pada jenis kaca dengan serapan kalor tinggi yaitu kaca biru gelap dan kaca bening 15 mm menunjukkan angka suhu permukaannya yang juga tinggi. Untuk kaca dengan sifat absorptansi tinggi namun transmitansi rendah, yakni kaca biru gelap, justru menunjukkan reaksi suhu permukaan kaca yang kebut tinggi dibandingkan kaca bening, dimana suhu permukaan kaca biru gelap 8mm, bisa mencapai hampir 45°C , sedangkan pada kasus kaca bening 5mm, suhu permukaan kaca bagian dalam justru lebih rendah yaitu sekitar 35°C . Temuan ini menyerupai hasil studi eksperimentasi oleh Khamporn (Khamporn & Chaiyapinunt, 2014), dimana dalam studinya mereka membandingkan pengaruh kaca bening dan kaca *tinted*, dimana kaca *tinted* memiliki koefisien absorptansi 0.65. Hasil dari studi Khamporn tersebut menunjukkan bahwa suhu permukaan kaca *tinted* bagian dalam, bisa mencapai lebih dari 45°C pada jam 4 sore, dengan paparan radiasi hampir 600 W/m^2 . Sementara itu Kyogoku (Kyogoku & Takebayashi, 2023) juga mengungkapkan bahwa kaca dengan lapisan film yang absorptansi termalnya lebih besar dari pada kaca bening, menyebabkan suhu permukaan kaca lebih besar dari pada kaca bening. Bahkan perbedaan antara suhu kaca bening dan kaca dilapisi film bisa mencapai 4°C saat sore hari di lokasi *mid-latitude* (daerah antara iklim sub tropis dan dingin). Adapun cara yang dilakukan oleh Kyogoku tersebut, adalah sama dengan studi ini yakni menggunakan metode perhitungan kesetimbangan termal secara *steady state*.



Gambar 7. Suhu permukaan kaca bagian dalam pada kasus Kaca jendela menghadap Barat, bulan Juni.

Suhu permukaan lantai pada kasus kaca menghadap Barat, juga menunjukkan angka yang cukup tinggi pada sore hari, dimana panas matahari cukup besar yang menembus kaca terutama yang memiliki angka koefisien transmitansi termal besar yaitu kaca bening 5mm (Gambar.8)

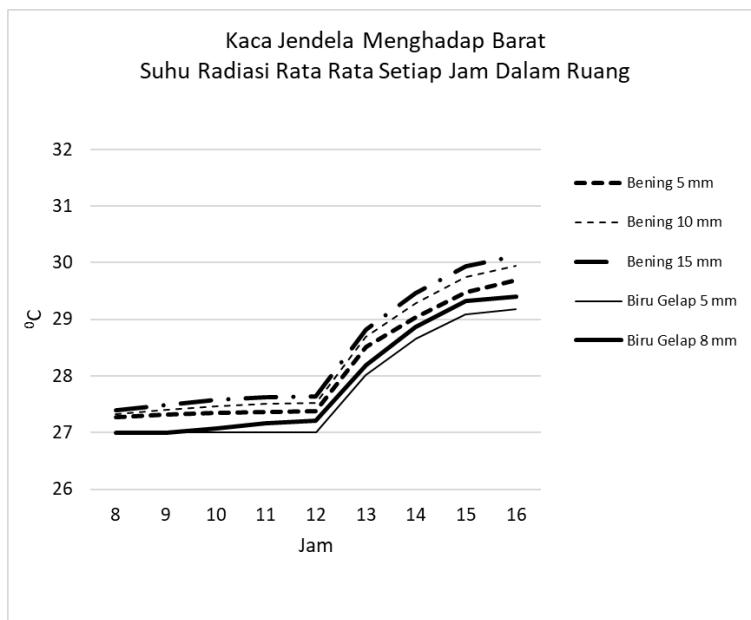


Gambar 8. Suhu permukaan lantai pada kasus kaca jendela menghadap ke Barat, bulan Juni.

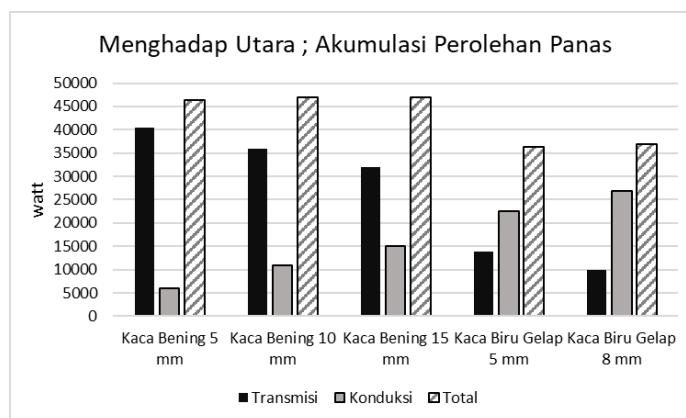
Selanjutnya, suhu radiasi rata rata dalam ruangan untuk kasus kaca menghadap Barat, menunjukkan suatu pola peningkatan dari tengah hari hingga sore hari, dikarenakan pergerakan sinar matahari yang menembus kaca jendela (Gambar 9). Kaca biru gelap berperan menghasilkan panas radiasi rata rata yang lebih kecil dibandingkan jenis kaca bening meskipun dengan perbedaan angka yang tidak besar.

Untuk mengetahui perolehan panas dari sinar matahari (*Solar Heat Gain*) karena peran kaca, maka dilakukan perhitungan untuk melihat perbedaan besar akumulasi perolehan panas karena kontribusi sifat transmitansi dan absorptansi kaca. Sifat transmitansi kaca berperan meningkatkan perolehan panas melalui transmisi panas radiasi, sedangkan sifat absorptansi kaca berperan menyalurkan panas melalui cara konduksi. Hasil studi ini menunjukkan bahwa perolehan panas dari cara transmisi lebih besar dibandingkan dari cara konduksi. Baik untuk kasus kaca bening maupun kaca gelap. Hal yang sama juga ditunjukkan apabila arah kaca menghadap Utara atau Barat (Gambar 10 dan 11). Pada kaca gelap, terjadi peningkatan panas secara konduksi, dimana hal ini terjadi karena pengaruh sifat absorptansi kalor yang semakin besar, sehingga menyebabkan tingginya suhu

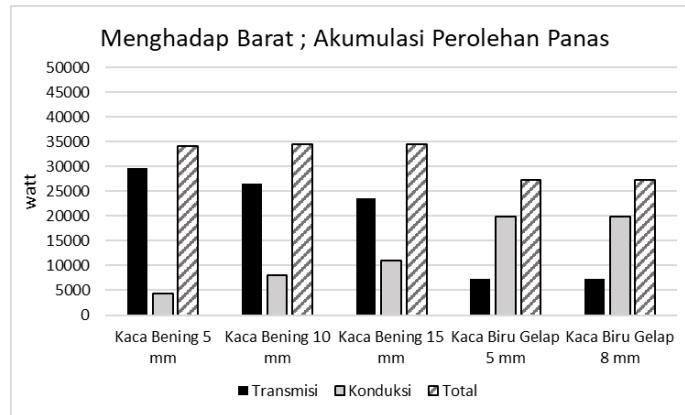
permukaan kaca, dan selanjutnya mengakibatkan kenaikan perolehan panas secara konduksi. Sebaliknya pada kaca gelap, terdapat sifat angka transmitansi panas yang semakin mengecil, sehingga bisa menurunkan panas transmisi secara signifikan. Meskipun pada kaca gelap terjadi peningkatan perolehan panas dengan cara konduksi, namun penurunan panas dengan cara transmisi cukup signifikan, sehingga secara umum dapat dinyatakan bahwa kaca gelap memiliki sifat yang lebih baik dalam meredam atau menghalangi peningkatan panas radiasi dalam ruangan. Hasil perhitungan tersebut sejalan dengan temuan dari studi oleh Al-Harbi (Al-Harbi *et al.*, 2023) yang juga menguji perbedaan antara kaca bening dan kaca khusus tahan panas (*tinted*), dimana pada dasarnya kaca *tinted* memiliki sifat absorptansi yang lebih besar dan sifat transmitansi yang lebih kecil dibanding kaca bening. Secara umum studi dari Al-Harbi menunjukkan bahwa kaca *tinted* memiliki sifat yang baik dalam hal menangkal atau meredam panas ruangan terhadap sinar matahari, dibandingkan tipe kaca bening.



Gambar 9. Suhu radiasi rata rata dalam ruang pada kasus kaca jendela menghadap Barat, bulan Juni.

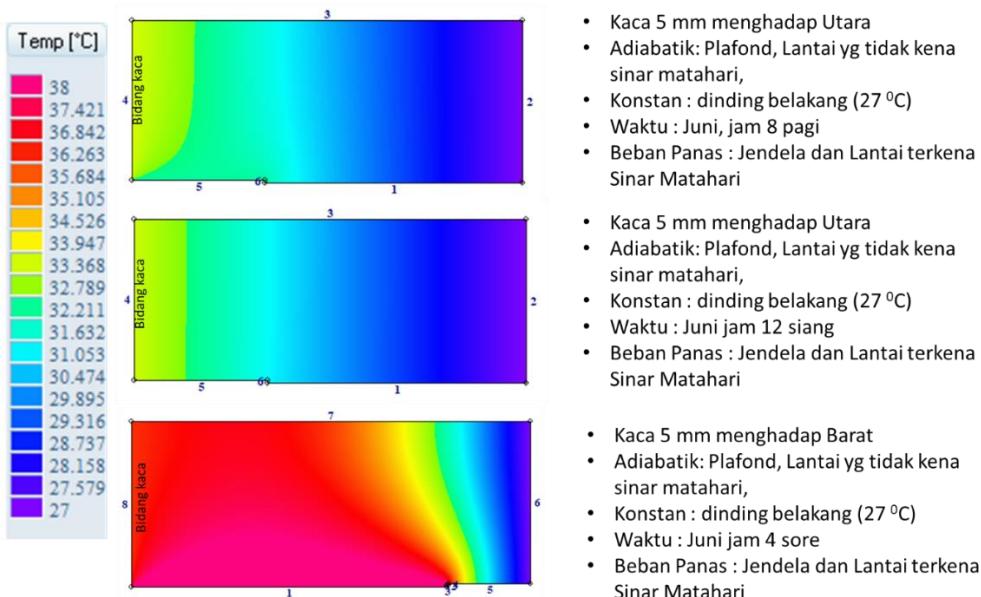


Gambar 10. Akumulasi perolehan panas dari jam 8.00 sd 16.00 untuk kasus jendela menghadap Utara

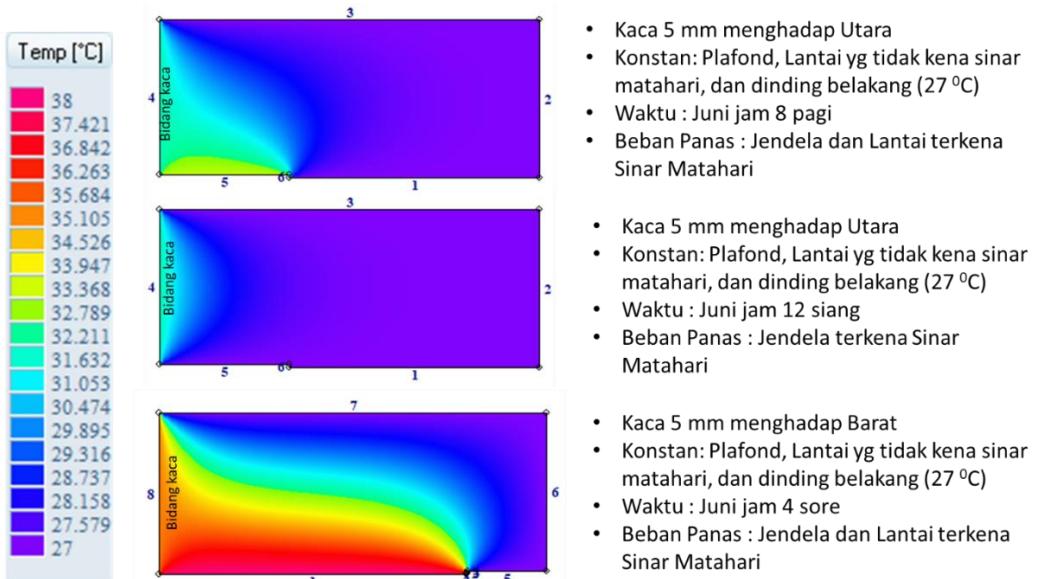


Gambar 11. Akumulasi perolehan panas dari jam 8.00 sd 16.00 untuk kasus jendela menghadap Barat.

Untuk mengetahui distribusi suhu radiasi dalam ruang dapat divisualisasikan dengan menggunakan program HEAT2 (2 dimensi) yang dijalankan dengan mode *steady state calculation* dimana bagian plafon dan lantai yang tidak terkena sinar matahari dibuat adiabatik, dan dinding belakang posisi suhu konstan suhu udara 27°C (Gambar.12). Nampak dengan model simulasi itu bahwa pada kasus jendela menghadap Barat saat sore hari, lebih dari setengah ruangan mengalami penetrasi suhu radiasi dengan angka lebih dari 35°C . Namun apabila plafond dan lantai dibuat memiliki suhu konstan 27°C , sebagaimana pada perhitungan dengan cara manual sebelumnya, maka situasi akan lain (Gambar 13). Nampak pada Gambar 13, bahwa sebagian besar area ruangan bersuhu sekitar 27°C .

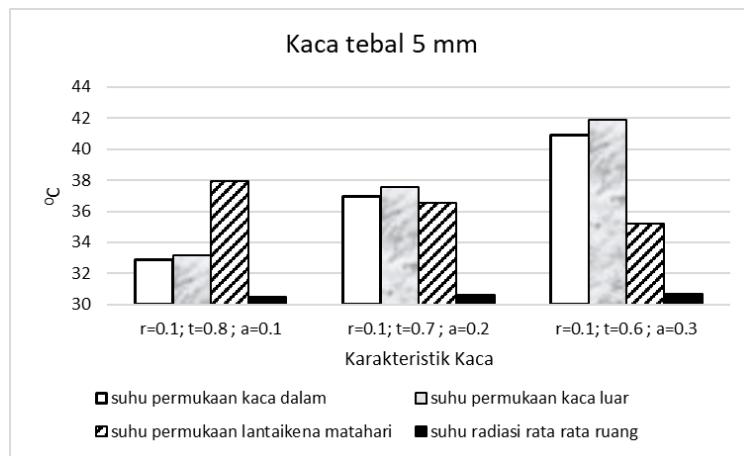


Gambar 12. Visualisasi 2D distribusi suhu radiasi dalam ruangan (potongan dari denah bagian tengah ruangan). Kondisi adiabatik pada plafond, dan sebagian lantai yang tidak terkena sinar matahari

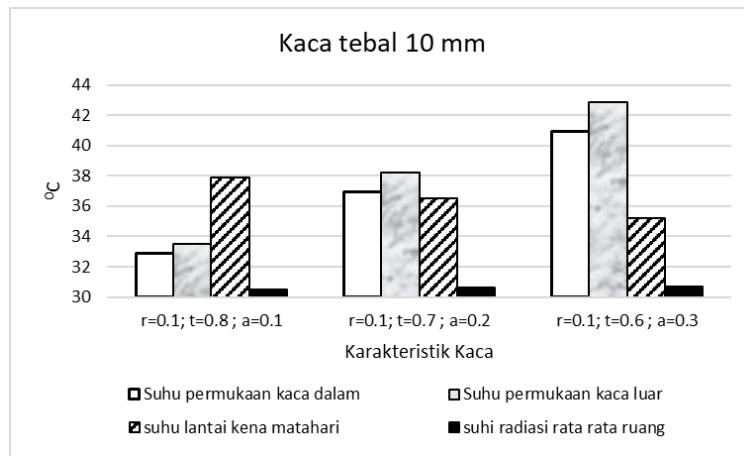


Gambar 13. Visualisasi 2D distribusi suhu radiasi dalam ruangan (potongan dari denah bagian tengah ruangan). Kondisi suhu konstan pada plafon dan sebagian lantai yang tidak terkena sinar matahari.

Selanjutnya untuk mengetahui lebih jauh tentang faktor termofisis kaca yang paling berpengaruh, maka dilakukan simulasi untuk kasus 2 jenis kaca tebal 5mm dan 10mm dengan masing masing memiliki karakteristik absorptansi dan transmitansi panas yang berbeda (Gambar 14 dan 15). Hasilnya menunjukkan bahwa ketebalan kaca tidak berpengaruh, namun sifat absorptansi dan transmitansi kaca yang berpengaruh signifikan, apabila dilakukan perbandingan antara Gambar 14 dan Gambar 15 tersebut. Dalam simulasi ini dapat ditunjukkan bahwa suhu permukaan kaca bagian dalam bahkan bisa mencapai 41°C pada kasus tipe kaca dengan koefisien absorptansi sebesar 0.3 (Gambar 14). Sementara itu apabila angkakoefisien absorptansi kaca diturunkan janya 0.1, maka suhu permukaan kaca bgian dalam mencapai 33°C . Artinya disini terdapat lonjakan peningkatan suhu permukaan kaca yang cukup signifikan akibat pengaruh perubahan koefisien absorptansi panas kaca yang diterapkan pada bangunan. Namun peningkatan sifat absorbtansi kaca tentunya berdampak pula pada pengurangan angka transmitansi termal, karena jumlah angka absorptansi, transmitansi dan reflektansi harus tetap dijaga sama dengan satu. Sehingga peningkatan suhu permukaan kaca yang berdampak pada suhu rata rata dalam ruang dipengaruhi signifikan oleh sifat absorbtansi kaca. Sedangkan sifat transmitansi panas dari kaca mempengaruhi peningkatan suhu permukaan lantai yang terkena sinar matahari langsung secara signifikan.



Gambar.14. Simulasi kaca tebal 5 mm. .(r:reflektansi, t:transmitansi, a=absorptansi)



Gambar 15. Simulasi kaca tebal 10 mm.(r:reflektansi, t:transmitansi, a=absorptansi)

KESIMPULAN

Melalui studi ini telah dilakukan penerapan model perhitungan *steady state* untuk mengetahui sensitifitas sifat termofisis kaca jendela terhadap peningkatan suhu suhu permukaan bidang dan suhu radiatif rata rata didalam ruang suatu bangunan di lingkungan beriklim tropis. Dalam hal ini telah dilakukan perhitungan simulasi untuk mendapatkan hasil berupa angka angka suhu permukaan kaca jendela bagian luar dan dalam bangunan, serta suhu permukaan lantai dan dinding yang terkena penetrasi radiasi matahari yang menembus kaca jendela. Dari hasil perhitungan, dapat dinyatakan bahwa variabel termofisis kaca yang paling berpengaruh dalam meningkatkan suhu radiasi dalam ruang dan suhu permukaan kaca adalah sifat transmitansi dan absorptansi termal. Dalam penerapan pada suatu ruang hunian di daerah tropis akibat dari penggunaan kaca dengan sifat absorptansi yang tinggi dan transmitansi termal yang juga tinggi maka akan berdampak memperbesar peningkatan panas radiasi rata rata dalam ruangan secara signifikan. Sifat transmitansi termal kaca berdampak signifikan pada banyaknya radiasi matahari yang menembus kaca jendela, sehingga memanasi permukaan lantai dan dinding dalam ruangan. Sedangkan sifat absorptansi termal kaca berkontribusi signifikan dalam meningkatkan panas permukaan kaca bagian dalam yang selanjutnya berkontribusi pada peningkatan suhu radiasi rata rata dalam ruangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi dan Universitas Sam Ratulangi atas dukungan pendanaan penelitian Tahun Aggaran 2025 dan fasilitas sarana untuk merealisasikan studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Harbi, M. B., & Al-Sanea, S. (2019). Determination of Heat Gain through Window Glass for Different Climates in KSA. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 8(10), 10231–10246.
- Al-Harbi, M. B., Al-Sanea, S. A., Benyahia, F., & Sadek, S. A. (2023). Effect of window-glass type on solar heat gain and velocity and temperature distributions inside air-conditioned rooms – A conjugate numerical analysis. *Case Studies in Thermal Engineering*, 49, 103191. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103191>
- Bachrun, A. S., Ming, T. Z., & Cinthya, A. (2019). Building envelope component to control thermal indoor environment in sustainable building: a Review. *SINERGI*, 23(2), 79–98. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2019.2.001>
- Chan, A. L. S. (2023). Evaluating the appropriateness of adopting a single Overall Thermal Transfer Value and its implication to building energy regulation. *Journal of Building Engineering*, 76(2), 107225. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107225>
- Chan, T. N., Thi Hai Ha, P., & Phuong, N. T. K. (2023). Method of calculating solar heat transmitted through shaded windows for OTTV in consideration of diffuse radiation diminished. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 22(2), 945–960. <https://doi.org/10.1080/13467581.2022.2064477>
- Ishida, Y., Fujiyama, M., & Kobayashi, H. (2024). Estimation of Longwave Radiation Intensity Emitted from Urban Obstacles in Each Direction Using Drone-Based Photogrammetry. *Remote Sensing*, 16(21), 4017. <https://doi.org/10.3390/rs16214017>
- Jannat, N., Hussien, A., Abdullah, B., & Cotgrave, A. (2020). A Comparative Simulation Study of the Thermal Performances of the Building Envelope Wall Materials in the Tropics. *Sustainability*, 12(12), 4892–4918. <https://doi.org/10.3390/su12124892>
- Khamporn, N., & Chaiyapinunt, S. (2014). An Investigation on the Human Thermal Comfort from a Glass Window. *Engineering Journal*, 18(1), 25–44. <https://doi.org/10.4186/ej.2014.18.1.25>
- Kumar, D., Alam, M., & Doshi, A. J. (2023). Investigating the Influence of Thermal Conductivity and Thermal Storage of Lightweight Concrete Panels on the Energy and Thermal Comfort in Residential Buildings. *Buildings*, 13(3), 720. <https://doi.org/10.3390/buildings13030720>
- Kurniawan, T. B., Dewi, D. A., Usman, F., & Fadly, F. (2023). Towards Energy Analysis and Efficiency for Sustainable Buildings. *Emerging Science Journal*, 7(6), 2226–2238. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2023-07-06-022>
- Kwon, Y. J., & Lee, D. K. (2019). Thermal Comfort and Longwave Radiation over Time in Urban Residential Complexes. *Sustainability*, 11(8), 2251. <https://doi.org/10.3390/su11082251>
- Kyogoku, S., & Takebayashi, H. (2023). Effects of Upward Reflective Film Applied to Window Glass on Indoor and Outdoor Thermal Environments in a Mid-Latitude City. *Sustainability*, 15(4), 3848. <https://doi.org/10.3390/su15043848>

- Lee, Y.-J., Kim, S.-H., Ryu, J.-H., & Lee, K.-H. (2023). Optimizing Window Glass Design for Energy Efficiency in South Korean Office Buildings: A Hierarchical Analysis Using Energy Simulation. *Buildings*, 13(11), 2850. <https://doi.org/10.3390/buildings13112850>
- Luo, X., Hong, T., & Tang, Y.-H. (2020). Modeling Thermal Interactions between Buildings in an Urban Context. *Energies*, 13(9), 2382. <https://doi.org/10.3390/en13092382>
- Midiani, L. P. I., Subagia, I. W. A., Dwiana, I. K., & Adnyana, I. P. M. (2021). Analisa perpindahan panas melalui selubung bangunan menggunakan aplikasi coolpack. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology*, 2(3), 114–118. <https://doi.org/10.31940/jametech.v2i3.114-118>
- Muhammad, A. Z., Djunaedy, E., Sujatmiko, W., & Amaliyah, R. I. U. (2019). Analysis of the Impact of OTTV on energy use intensity of various type of building. *E-Proceeding of Engineering*, 6(2).
- Muhfizaturrahmah, Yuniarti, N., Sukisno, T., & Urdifat, Y. (2021). The influence of Overall Thermal Transfer Value (OTTV) on building energy consumption. *Journal of Physics: Conference Series*, 012046. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1833/1/012046>
- Peng, M., Symoens, E., Franchini, A., Yarmohammadian, R., & Van Coile, R. (2024, September 9). In-Thickness Absorption in Soda-Lime-Silica Glazing: Experimental Studies and Heat Transfer Model. *Proceedings of The 4th International Conference on Structural Safety Under Fire & Blast Loading*.
- Román, F., & Hensel, O. (2022). A comparison of steady-state and transient modelling approaches for the performance prediction of solar air heaters. *Energy Conversion and Management*: X, 16, 100327. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100327>
- Samuelson, H., Srivastava, C., & Baniassadi, A. (2025). Optimizing window solar heat gain coefficient for energy and carbon performance in a changing context of electrification and decarbonization. *Energy Reports*, 13, 1450–1466. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.01.013>
- Sangkertadi. (2009). “MATAHARI”, HKI, Hak Cipta Program Komputer. Ditjen KI, Kemkumham Republik Indonesia.
- Sangkertadi. (2022). Sistim dan Teknologi Pencahayaan pada Bangunan dan Lingkungan Luar. Patra Media Grafindo.
- Sangkertadi. (2023). Praktek Pengukuran dan Perhitungan OTTV pada Bangunan Gedung. Patra Media Grafindo.
- Shinoda, J., Kazanci, O. B., Tanabe, S., & Olesen, B. W. (2019). Review on the Surface Heat Transfer Coefficients of Radiant Systems. *E3S Web of Conferences*, 111, 01075. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911101075>
- Yan, T., Xu, D., Meng, J., Xu, X., Yu, Z., & Wu, H. (2024). A review of radiative sky cooling technology and its application in building systems. *Renewable Energy*, 220, 119599. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119599>
- Zhao, T., Sun, Q.-H., Li, X., Xin, Y.-L., & Chen, Q. (2023). A novel transfer matrix-based method for steady-state modeling and analysis of thermal systems. *Energy*, 281, 128280. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128280>
- Zold, A., & Szokolay, S. V. (2001). *Thermal Insulation*. PLEA notes. Department of Architecture, The University of Queensland.