

Pengaruh Bahan Penutup Kaca terhadap Kinerja Kompor Surya Tipe Kotak

Muhammad Naufal Bari¹, Damora Rhakasywi^{2*}, Fahrudin³
Email corresponding author: rhakasywi@upnvj.ac.id

^{1,2,3}Mechanical Engineering, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, Indonesia

Article history: Received: 20 Maret 2026 | Revised: 17 April 2026 | Accepted: 23 April 2026

Abstract. This study compares two types of glass materials applied to a box-type solar cooker, namely low-iron glass and soda-lime glass. Low-iron glass is produced with a reduced iron oxide content, resulting in a higher transparency level compared to soda-lime glass, which affects its optical properties, particularly transmittance. The testing was conducted under two conditions: a stagnation test and a load test using 1 kg of water. The results indicated that the soda-lime glass system was superior, successfully boiling water up to 101.25 °C with a thermal efficiency of 0.48, an F_1 value of 0.22, and an F_2 value of 0.51. In contrast, the low-iron glass failed to boil the water, as the temperature only reached 79.25 °C, and it did not meet the load test feasibility standard, recording an F_2 of 0.13 and an efficiency of 0.25.

Keywords – Box-type solar cooker; soda-lime glass; low-iron glass; thermal retention; figure of merit.

Abstrak. Penelitian ini membandingkan dua jenis material kaca yang diterapkan pada kompor surya tipe kotak, yaitu kaca low-iron dan kaca soda lime. Kaca low-iron diproduksi dengan pengurangan kandungan besi oksida tingkat transparansi lebih tinggi dibanding kaca soda-lime yang mempengaruhi sifat optik, terutama transmittansi. pengujian dilakukan dalam dua kondisi, yaitu pengujian stagnan dan pengujian dengan beban menggunakan air 1 kg. Hasil menunjukkan sistem kaca soda-lime lebih unggul, mampu mendidihkan air hingga 101,25 °C dengan efisiensi termal 0,48, nilai F_1 0,22, dan F_2 0,51. Sebaliknya, kaca low-iron gagal mendidihkan air karena suhu hanya mencapai 79,25 °C dan tidak memenuhi standar kelayakan uji beban dengan F_2 0,13 serta efisiensi 0,25

Kata Kunci - Kompor Surya tipe kotak; Kaca soda-lime; kaca low-iron; retensi termal; figure of merit

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi energi surya yang signifikan karena letak geografis di wilayah tropis. Paparan matahari nasional paling rendah di Indonesia adalah 3,11 jam dengan potensi energi matahari 4 kWh/m², sedangkan angka tertinggi ada pada 6,29 jam dengan potensi energi matahari 5,05 kWh/m² [1]. Indonesia juga memiliki potensi kapasitas energi surya mencapai 207,8 gigawatts. Namun, pemanfaatan energi surya hanya mencapai 0,2 Gigawatts atau sekitar 0,1 % dari potensi yang tersedia[2]-[4]. Energi surya merupakan energi bersih yang menjadi solusi dari masalah energi saat ini. Emisi tinggi yang dihasilkan pembakaran bahan bakar fosil, khususnya pada sektor energi, industri, transportasi, dan bangunan telah berperan mencapai 79% dari keseluruhan emisi gas rumah kaca. Emisi ini mengakibatkan pemanasan global yang tercatat telah meningkatkan suhu bumi mencapai 1,6 °C dibanding tahun 1900-an [5]. Peningkatan suhu diprediksi akan mencapai 5,5 °C pada tahun 2100 jika tidak ada tindakan. Beberapa dampak yang dihasilkan dari peningkatan suhu, yaitu pencairan es di kutub yang memicu kenaikan permukaan air laut, serta peningkatan frekuensi cuaca ekstrem. Di sisi lain, pembakaran bahan bakar fosil juga menghasilkan polutan yang menurunkan kualitas udara sehingga berdampak buruk secara langsung pada kesehatan masyarakat dan keberlangsungan ekosistem [6][7].

Penggunaan bahan bakar fosil juga mendominasi pada sektor domestik atau rumah tangga, khususnya kegiatan memasak. Proses ini terbukti melepaskan partikulat halus ($PM_{2.5}$) dengan konsentrasi ekstrem yang berdampak langsung terhadap kualitas udara dalam ruangan dan mengancam kesehatan masyarakat [8][9][10]. Hal ini meningkatkan potensi penggalan penerapan energi surya sebagai bahan bakar alternatif karena energi ini bisa diterapkan pada sektor memasak. Penerapan energi surya pada kegiatan memasak sudah banyak dilakukan. Banyak alat yang sudah membantu untuk menggunakan energi surya sebagai bahan bakar untuk memasak, seperti kompor dengan cermin berbentuk parabolik yang bertujuan untuk memantulkan dan memusatkan cahaya matahari pada sebuah wadah memasak di satu titik atau lebih dikenal dengan kompor parabolik. Alat lainnya adalah kompor tipe kotak yang menggunakan komponen insulasi dan kaca penutup sebagai mekanisme perangkap termal. Sistem ini yang akan menjadi fokus pembahasan pada penelitian kali ini [11].

Komponen kritis yang menentukan efisiensi termal sistem kompor surya tipe kotak adalah kaca penutup (*glazing*). Kaca penutup berperan sebagai media transmisi energi radiasi sekaligus isolator untuk meminimalkan kerugian panas (*heat loss*) ke lingkungan. Kompor surya tipe kotak konvensional berhasil mendapatkan suhu tertinggi mencapai

130°C. Setiap perubahan komponen yang dilakukan pada kompor ini memiliki pengaruh yang kuat terhadap performa memasak. Pemilihan warna hitam krom dan nikel berpengaruh pada suhu akhir. Hitam nikel berhasil mencapai 168°C sedangkan hitam krom hanya mencapai 159 °C [12]. Pengubahan komponen seperti penggunaan bahan reflektor juga berpengaruh, seperti penggunaan aluminum foil yang hanya mendapatkan 112,4 °C dan cermin mencapai 161°C [13]. Selain itu, ketebalan kaca penutup yang menghasilkan suhu bervariasi untuk tiap ketebalan kaca. Kaca berketebalan 3mm menghasilkan suhu 124 °C, 5 mm menghasilkan 148 °C, dan 8 mm menghasilkan 109 °C [14]. Namun, penelitian diatas belum menyebutkan jenis material kaca penutup yang digunakan. Kaca penutup berperan sebagai mekanisme perangkap panas yang membutuhkan keseimbangan dalam hukum kekekalan termodinamika optik. Hukum ini menyatakan bahwa jumlah nilai fraksi transmitansi (τ), absorptansi (α), dan reflektansi (ρ) harus bernilai satu ($\tau + \alpha + \rho = 1$) [15]. Transmitansi tinggi akan meningkatkan energi radiasi yang menembus kaca penutup, namun mengakibatkan absorptansi kaca akan menurun sehingga kaca tidak dapat menahan panas dan terjadi kerugian panas (*heat loss*) [16].

Oleh karena itu, analisis performa termal penggunaan material kaca penutup yang berbeda pada kompor surya tipe kotak, yaitu kaca kristal (*low-iron*) dan kaca bening (*soda-lime*), dilakukan untuk mengidentifikasi korelasi antara karakteristik optik material terhadap laju termal. Kebaruan dari penelitian ini secara eksplisit difokuskan pada pengujian dampak peningkatan transmitansi kaca kristal ($\tau = 91,5$) dan kaca bening ($\tau = 88,5$) terhadap kemampuan retensi panas sistem [17][18][19]. Melalui pengukuran efisiensi sesaat serta parameter *figure of merit*, penelitian ini memberikan validasi empiris dalam menentukan jenis material yang optimal dalam meningkatkan output termal pada kompor surya tipe kotak.

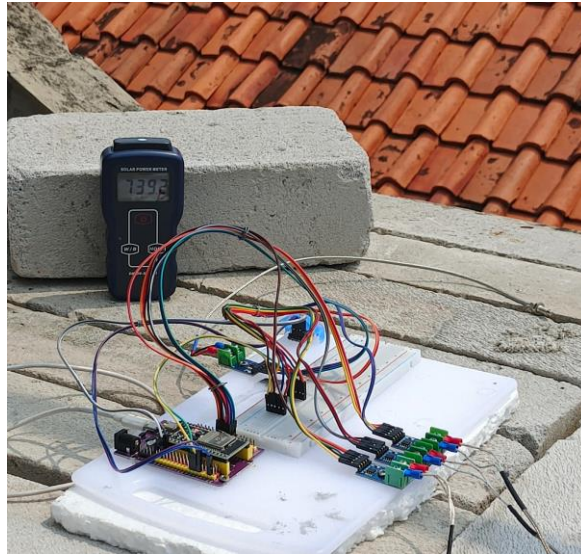
METODE

A. Spesifikasi Kompor dan Pengujian Lapangan

Kompor surya tipe kotak dibuat secara kustom dengan bahan dan spesifikasi yang tercantum dalam Tabel 1. Uji coba dilakukan dengan menempatkan kompor di bawah sinar matahari langsung untuk mencapai performa optimum. Pengujian berlangsung dari pukul 11:00 WIB hingga 15:00 WIB, dengan pencatatan data setiap 5 menit menggunakan alat yang tertera dalam Tabel 2. Penelitian ini menggunakan dua jenis bahan kaca yang berbeda, yaitu kaca bening konvensional (*Soda-Lime*) dan kaca kristal (*Low-Iron*), dengan pengujian dua kondisi, yaitu kondisi tanpa beban (*Stagnan*) untuk menghasilkan parameter *First Figure of Merit* dan kondisi beban menggunakan air 1 kg (*Loaded*) untuk menghasilkan parameter *Second Figure of Merit*.



Gambar 1. Kompor surya tipe kotak



Gambar 2. Alat pengambilan data



Gambar 3. Kaca *soda-lime* (bawah) dan kaca *low-iron* (atas)

Tabel 1. Rincian Bahan Pembuatan Kompur

No	Komponen	Ukuran (<i>l x w x h</i>) mm	Rincian
1	Kotak Luar	400 x 400 x 400	multiplex dengan ketebalan 18 mm
2	Kotak Dalam	310 x 310 x 340	Besi galvanis berwarna hitam dengan ketebalan 1,2 mm
3	Insulator	364 x 364 x 382	Glasswool berketebalan 25 mm
4	Reflektor	400 x 400	Cermin kaca

Tabel 2. Alat penunjang pengujian kompor

No	Tools	Function
1	ESP 32 Board	<i>Mainboard</i> berisi perintah untuk modul
2	Max6675 Module	Module untuk mengubah hasil termokopel ke data
3	Thermocouple type-K	membaca suhu plat penyerap dan suhu udara
4	Power Solar Meter	Membaca <i>solar irradiance</i>
5	Powerbank	Sumber Energi untuk <i>mainboard</i>

Pengukuran ketidakpastian diambil dari ketidakpastian alat yang dicantumkan oleh manufaktur sebagai standar reliabilitas dan kuantitatif. Thermocouple tipe-K yang digunakan untuk mengukur suhu plat dan air memiliki ketidakpastian $\pm 2,2$ °C sedangkan *Power Solar Meter* dengan tipe SM-206 memiliki ketidakpastian ± 10 W/m² atau 5% dari angka yang ditampilkan oleh alat. Dengan ini, data yang disajikan memiliki ketidakpastian dengan rentang yang telah disebutkan.

B. Parameter Penelitian

Evaluasi komprehensif terhadap kinerja termal kompor surya tipe kotak umumnya dilakukan menggunakan persamaan efisiensi termal (η) sebagai berikut:

$$\eta = \frac{(m_p C_p + m_w C_w)(T_w - T_a)}{A \cdot G \cdot t} \quad (1)$$

Dimana:

- η = Efisiensi termal sistem (%)
- m_w = Massa air (kg)
- C_w = Kalor jenis air (J/kg°C)
- m_p = Massa panci (kg)
- C_p = Kalor jenis panci (J/kg°C)
- T_2 = Suhu akhir (°C)
- T_1 = Suhu awal (°C)
- A = Luas area ruang masak (m²)
- I = Intensitas iradiasi surya (W/m²)
- t = Waktu pengamatan (sekon)

Persamaan efisiensi termal tersebut merepresentasikan respons termodinamika sistem terhadap konversi energi secara real-time. Sifatnya yang dinamis membuat nilai efisiensi sangat bergantung pada fluktuasi kondisi lingkungan di lapangan, terutama variasi intensitas iradiasi surya. Oleh karena penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kualitas optik intrinsik antara kaca kristal (low-iron) dan kaca bening konvensional (*soda-lime*), penggunaan efisiensi termal saja dapat menimbulkan bias data akibat perubahan cuaca antar pengujian. Oleh karena itu, pendekatan Figure of Merit diaplikasikan sebagai metrik evaluasi performa yang terstandarisasi. Figure of Merit menormalisasi variabel lingkungan melalui dua pengujian terpisah: *First Figure of Merit* (F_1) untuk mengevaluasi kemampuan retensi panas pada kondisi tanpa beban (stagnasi), dan *Second Figure of Merit* (F_2) untuk mengukur efisiensi perpindahan panas saat diberikan beban fluida air (loaded) [11].

$$F_1 = \frac{T_{ps} - T_{as}}{G} \quad (2)$$

Dimana:

- F_1 = *First Figure of Merit* (°C m²/W)
- T_{as} = Suhu udara lingkungan (°C)
- T_{ps} = Suhu pelat penyerap (°C)
- G = Iradiasi surya (W/m²)

$$F_2 = \frac{F_1(mC)_w}{A_i \Delta t} \ln \left(\frac{1 - \frac{1}{F_1} \left(\frac{T_{w1} - T_a}{G} \right)}{1 - \frac{1}{F_1} \left(\frac{T_{w2} - T_a}{G} \right)} \right) \quad (3)$$

Dimana:

- F_2 = *Second Figure of Merit* (tidak berdimensi)
- F_1 = *First Figure of Merit* ($^{\circ}\text{C m}^2/\text{W}$)
- $(mC)_w$ = Kapasitas kalor jenis dan beban air ($\text{J}/^{\circ}\text{C}$)
- A = Luas pelat penyerap (m^2)
- ΔT = Selisih suhu air ($^{\circ}\text{C}$)
- Δt = waktu pengamatan (sekon)

Selain menggunakan *Figure of Merit* untuk mengevaluasi kualitas optik dan retensi panas secara teoretis, performa operasional kompor surya juga diukur melalui parameter daya masak (*cooking power*). Daya masak aktual merepresentasikan laju penyerapan energi termal oleh beban fluida (air) pada rentang waktu tertentu, yang dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P = \frac{(T_2 - T_1)mC_p}{\Delta t} \quad (4)$$

Dimana:

- P = Daya memasak (Watt)
- T_1 = Suhu awal air ($^{\circ}\text{C}$)
- T_2 = Suhu akhir air ($^{\circ}\text{C}$)
- mC_p = Kapasitas kalor jenis dan beban panci ($\text{J}/^{\circ}\text{C}$)
- Δt = waktu pengamatan (sekon)

Besaran daya masak aktual berbanding lurus dengan intensitas radiasi matahari yang diterima kompor. Karena pengujian material kaca kristal (*low-iron*) dan kaca konvensional (*soda-lime*) dilakukan pada kondisi paparan radiasi yang fluktuatif, perbandingan nilai daya masak aktual secara langsung tidak merepresentasikan perbedaan performa material secara akurat. Untuk mengeliminasi bias akibat perbedaan intensitas matahari antar pengujian, nilai daya masak aktual dikonversi menjadi daya masak standar (*standardized cooking power*). Mengacu pada protokol pengujian internasional, daya masak standar menormalisasi laju perpindahan panas sistem terhadap intensitas radiasi matahari referensi sebesar 700 W/m^2 [11].

$$P_s = P \left(\frac{700}{G} \right) \quad (5)$$

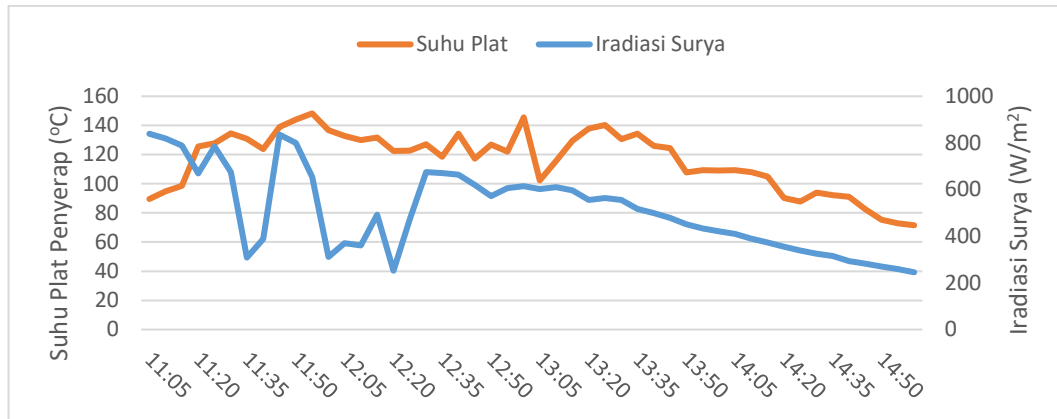
Dimana:

- P_s = Daya memasak kondisi standar
- P = Daya memasak
- G = Iradiasi Surya

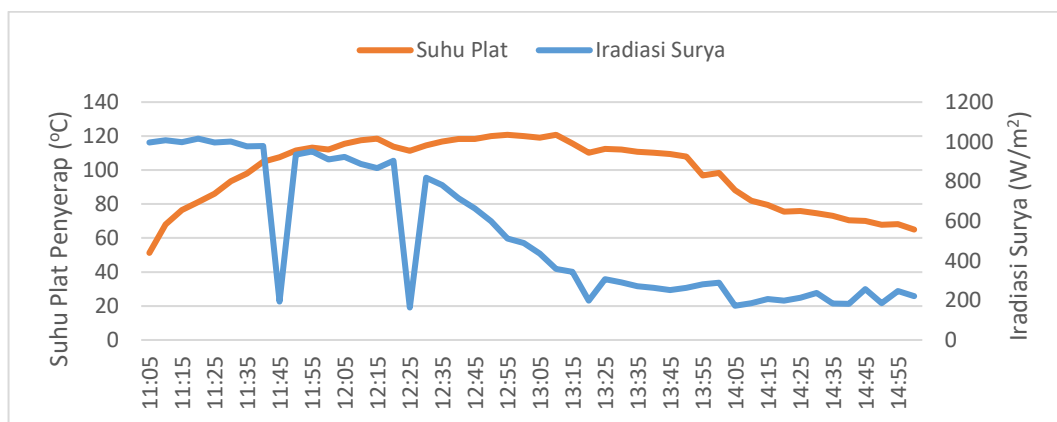
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Stagnasi

Pengujian kaca *soda-lime* pada kondisi stagnasi atau tanpa beban dimulai pada kondisi cuaca yang terik, tercatat iradiasi surya pada 15 menit pertama berada di atas 750 W/m^2 . menghasilkan titik tertinggi pada $148,25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pada pukul 11:55, dengan iradiasi surya tercatat mencapai $654,66 \text{ W/m}^2$. Di sisi lain, pengujian kaca *low-iron* dimulai pada kondisi yang lebih terik dibanding pengujian menggunakan kaca *soda-lime*, tren iradiasi surya menunjukkan konsisten di atas 900 W/m^2 sampai pukul 12:20 yang kemudian turun sampai akhir pengujian. Pengujian ini menghasilkan data maksimum $120,75 \text{ }^{\circ}\text{C}$.



Gambar 4. Grafik Data Pengujian Stagnasi Kaca Soda-Lime



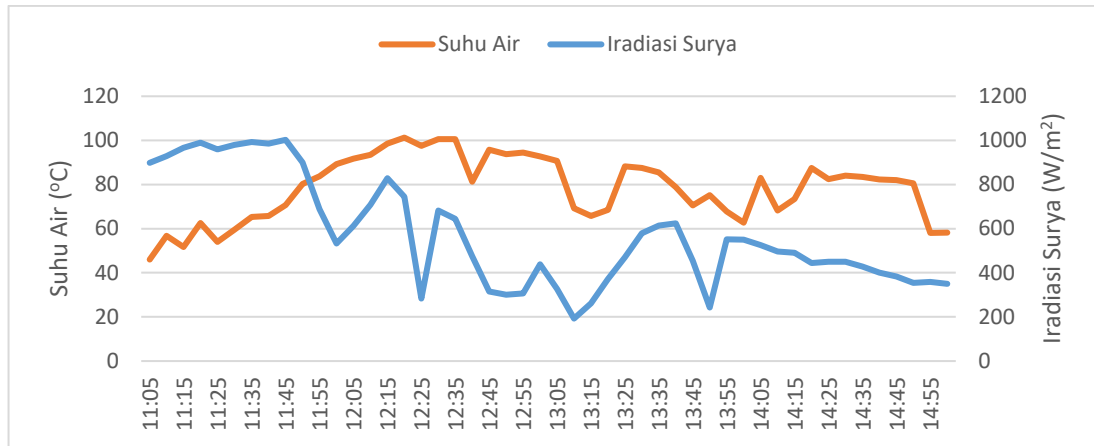
Gambar 5. Grafik Data Pengujian Stagnasi Kaca Low-Iron

Fenomena ketertinggalan performa pemanasan pada kaca *low-iron* meskipun tren iradiasi surya lebih unggul pada awal pengujian dapat dijelaskan melalui teori radiasi ulang (*long wave re-radiation*) dan mekanisme perpindahan panas konveksi alami. Kaca *soda-lime* memiliki impuritas besi oksida sekitar 0,1%, yang meningkatkan penyerapan panas. Secara optik, kaca ini memiliki transmitansi yang baik terhadap radiasi gelombang pendek (cahaya tampak), namun bersifat opak (kedap) terhadap emisi radiasi gelombang panjang (inframerah) yang dipancarkan ulang oleh plat penyerap bersuhu tinggi. Radiasi ulang ini kemudian diserap oleh massa kaca *soda-lime*, menjadikannya bertindak sebagai radiator sekunder (*thermal buffer*) yang memancarkan kembali sebagian kalor ke dalam ruang masak, sehingga bodi kaca ikut meningkat. Peningkatan suhu bodi kaca ini memperkecil selisih suhu antara udara ruang masak dan permukaan kaca bagian dalam, yang secara efektif menekan laju konveksi alami di dalam sistem.

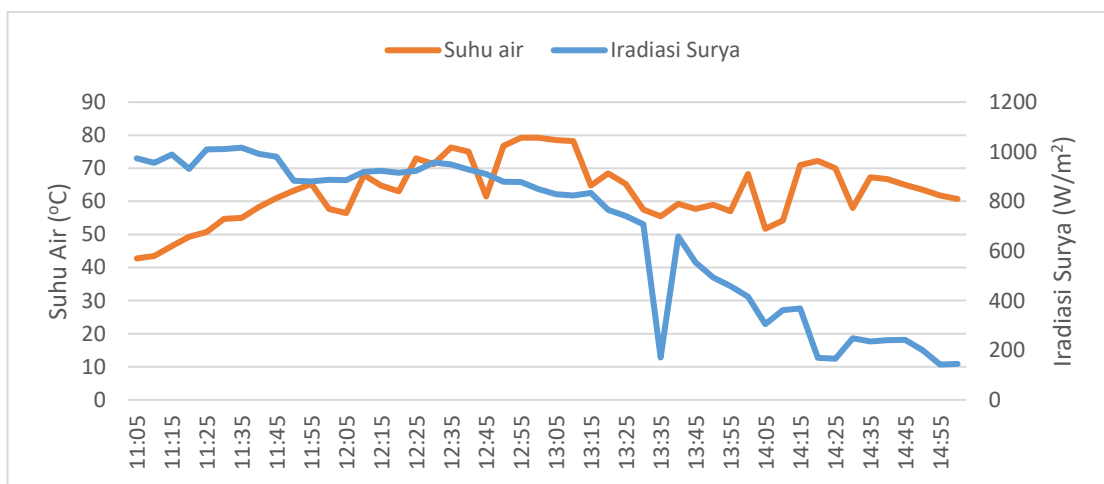
Sebaliknya, kaca *low-iron* yang sangat jernih memiliki absorptansi yang jauh lebih rendah terhadap radiasi inframerah, sehingga laju panas yang diterima kaca melalui konveksi internal akan langsung dirambatkan (konduksi) dan seketika dibuang ke udara melalui konveksi eksternal. Akibatnya, titik kesetimbangan tercapai lebih awal dan gagal memanfaatkan radiasi surya untuk menciptakan suhu yang lebih tinggi.

B. Pengujian dengan Beban

Uji memasak menggunakan kaca *soda-lime* mencatat 46 °C dengan intensitas radiasi 898,18 W/m², suhu air secara konsisten naik sehingga menyentuh puncak di angka 101,25 °C pada pukul 12:20 dengan iradiasi 745,2 W/m². Suhu ini stabil selama 30 menit di angka 97 °C hingga 101 °C meskipun iradiasi surya mengalami fluktuasi yang ekstrim mencapai 282,71 W/m². Suhu ini mengkonfirmasi akan air di dalam ruang masak masak mencapai titik didihnya secara konstan. Performa kaca *low-iron* tidak memberikan peningkatan yang cukup signifikan. Pada 5 menit pertama pengamatan, dengan iradiasi surya yang lebih tinggi, suhu air hanya menyentuh 42,75 °C. Kenaikan suhu pada pengujian ini tercatat cukup lambat, yaitu hanya menyentuh angka 79,25 °C pada pukul 12:55 dan 13:00 dengan iradiasi surya tercatat berturut-turut 877,31 W/m² dan 849,61 W/m². Sistem ini tidak berhasil membawa air ke titik didih. Setelah pukul 13:00, iradiasi surya terus menurun yang menyebabkan suhu air ikut menurun.



Gambar 6. Grafik data pengujian dengan beban pada Kaca Soda-Lime.



Gambar 7. Grafik data pengujian beban pada kaca Low Iron

Interaksi antara kapasitas termal beban dan kemampuan insulasi material kaca terhadap laju perpindahan panas mempengaruhi performa pengujian beban. Air yang memiliki kalor jenis tinggi ($4186 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$) bertindak sebagai penyerap termal masif yang secara terus menerus menyerap energi termal dari pelat penyerap secara konduktif. Penggunaan kaca *soda-lime* berhasil mengkonversi energi radiasi yang masuk menjadi kalor sensibel untuk air secara efisien. Suhu yang tertahan pada kondisi puncak selama beberapa waktu merepresentasikan terjadinya transisi fase yang mengubah fungsi energi kalor sensibel menjadi kalor laten penguapan. Keberhasilan kaca *soda-lime* dalam mempertahankan suhu saat iradiasi surya turun secara signifikan merupakan bukti empiris dari efektivitas opasitas inframerah material tersebut. Radiasi ulang dari plat berhasil diserap oleh kandungan besi oksida pada bodi kaca sehingga suhu bodi kaca meningkat dan menjadikannya termal yang mencegah kalor laten terdisipasi ke lingkungan luar.

Pengujian beban menggunakan kaca *low-iron* mempertegas kelemahan dalam mengelola keseimbangan retensi panas. Transparansi yang tinggi memungkinkan kaca dalam mentransmisi cahaya secara maksimal. Namun, perlindungan insulasi termal dari radiasi ulang yang minim mengakibatkan suhu bodi kaca yang rendah. Kondisi ini memicu konveksi internal yang agresif disebabkan sistem yang meminimalisir selisih suhu antara kaca dan pelat penyerap, sehingga gagal mengubah radiasi menjadi kalor sensibel yang digunakan untuk meningkatkan suhu air.

C. Performa Kompor

Evaluasi kelayakan kinerja termal dianalisis secara kuantitatif merujuk pada standar internasional BIS IS 13429. Ringkasan performa kompor surya tipe kotak disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Parameter kinerja kompor surya tipe kotak

No	Parameter	Satuan	Jenis Kaca	
			<i>Soda-Lime</i>	<i>Low-Iron</i>
1	<i>First Figure of Merit</i>	$^{\circ}\text{C}/\text{W}/\text{m}^2$	0,22	0,16
2	<i>Second Figure of Merit</i>	Tidak Berdimensi	0,51	0,13
3	Daya Memasak	Watt	49,63	22,81
4	Daya Memasak Standar	Watt	61,29	23,43
5	Efisiensi Termal	Tidak Berdimensi	0,48	0,25

Hasil perhitungan mengkonfirmasi bahwa kompor surya dengan penutup kaca *soda-lime* memiliki performa termodinamika yang lebih unggul. Pada pengujian stagnan, kaca *soda-lime* mencatat nilai *First Figure of Merit* sebesar 0,22, jauh melampaui batas minimum kelayakan ($F_1 \geq 0,12$). Keunggulan retensi termal ini dipertahankan secara konsisten pada pengujian dengan beban yang menghasilkan nilai *Second Figure of Merit* sebesar 0,51 yang juga di atas ambang batas ($F_2 \geq 0,40$). Tingginya angka parameter uji ini menghasilkan nilai efisiensi termal sebesar 0,48. Angka ini membuktikan efektivitas kandungan besi oksida pada kaca *soda-lime* mampu bertindak sebagai penyangga termal. Penggunaan kaca ini sukses mengkonversi energi surya menjadi daya pemanasan aktual sebesar 49 Watt, yang secara perlahan mentransfer kalor sensibel hingga air mencapai titik didihnya.

Sebaliknya, parameter performa pada kompor surya tipe kotak dengan kaca *low-iron* merepresentasikan anomali antara potensi transmisi optik dengan retensi termal aktual di lapangan. Meskipun kaca ini unggul dalam meneruskan cahaya akibat minimnya kadmium oksida, pengujian stagnan di lapangan hanya menghasilkan nilai *First Figure of Merit* sebesar 0,16. Penurunan masih terjadi pada pengujian beban yang hanya menghasilkan nilai 0,13 untuk *Second Figure of Merit*, menjadikannya tidak memenuhi kelayakan standar operasional pada uji beban. Kegagalan ini tervalidasi oleh nilai efisiensi termal yang hanya mencapai 0,25. Rendahnya efisiensi dan F_2 ini mengkonfirmasi kelemahan insulasi kaca *low-iron* saat dihadapkan dengan beban termal.

KESIMPULAN

Pengujian kinerja kompor surya tipe kotak membuktikan bahwa nilai transmisi optik yang tinggi pada kaca *low-iron* tidak berkorelasi lurus dengan peningkatan kinerja termal secara keseluruhan. Kinerja termal kompor surya membutuhkan keseimbangan termodinamika optik antara transmisi dan absorptansi. Reduksi kandungan besi oksida pada kaca *low-iron* berhasil memaksimalkan transmisi, namun secara drastis mereduksi absorptivitas bodi kaca, sehingga menghilangkan fungsi penyangga termal (thermal buffer) pada kaca. Sebaliknya, kaca *soda-lime* memiliki keseimbangan optik yang lebih optimal. Kandungan impuritas besi oksida pada kaca *soda-lime* berhasil menjadikan kaca sebagai penyerap radiasi inframerah dan radiator sekunder. Mekanisme ini secara efektif meredam gradien suhu internal dan menekan laju kehilangan panas konvektif (convective heat loss). Secara kuantitatif, parameter uji sistem *soda-lime* terbukti superior dibanding kaca *low-iron*. Kaca *soda-lime* memiliki efisiensi termal mencapai 0,48, nilai kelayakan standar F_1 sebesar 0,22 dan F_2 sebesar 0,51, serta sukses mengonversi 49 Watt daya aktual hingga air mencapai titik didih. Sementara itu, kaca *low-iron* hanya memiliki efisiensi termal mencapai 0,25, nilai kelayakan standar F_1 sebesar 0,16 dan F_2 sebesar 0,13. Performa kaca *low-iron* yang rendah disebabkan terdispersi energi termal secara masif ke lingkungan sebelum terkonversi maksimal menjadi kalor sensibel pemanasan air.

REFERENSI

- [1] BMKG, "Workbook: Informasi Potensi Energi Surya Indonesia." Accessed: Oct. 06, 2025. [Online]. Available: <https://visklm.bmkg.go.id/views/InformasiPotensiEnergiSuryaIndonesia/Dashboard?%3Aembed=y&%3AisGuestRedirectFromVizportal=y>
- [2] D. F. Silalahi, A. Blakers, M. Stocks, B. Lu, C. Cheng, and L. Hayes, "Indonesia's Vast Solar Energy Potential," *Energies* 2021, Vol. 14, Page 5424, vol. 14, no. 17, p. 5424, Aug. 2021, doi: 10.3390/EN14175424.
- [3] N. A. Pambudi et al., "Renewable Energy in Indonesia: Current Status, Potential, and Future Development," *Sustainability* 2023, Vol. 15, Page 2342, vol. 15, no. 3, p. 2342, Jan. 2023, doi: 10.3390/SU15032342.
- [4] A. Bagaskara, D. Kurniawan, R. Julion Suryadi, and S. Nur Firdausi, "Indonesia Solar Energy Outlook 2023 - IESR." Accessed: Jun. 08, 2025. [Online]. Available: <https://iesr.or.id/pustaka/indonesia-solar-energy-outlook-2023/>

- [5] J. E. Hansen et al., “Global Warming Has Accelerated: Are the United Nations and the Public Well-Informed?,” *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, vol. 67, no. 1, pp. 6–44, 2025, doi: 10.1080/00139157.2025.2434494.
- [6] M. Maslin, R. D. Rammath, G. I. Welsh, and S. M. Sisodiya, “Understanding the health impacts of the climate crisis,” *Future Healthc J*, vol. 12, no. 1, p. 100240, Mar. 2025, doi: 10.1016/J.FHJ.2025.100240.
- [7] K. Calvin et al., “IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.” 2023, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- [8] J. Pikmann, F. Drewnick, F. Fachinger, and S. Borrmann, “Particulate emissions from cooking: emission factors, emission dynamics, and mass spectrometric analysis for different cooking methods,” *Atmos Chem Phys*, vol. 24, no. 21, pp. 12295–12321, Nov. 2024, doi: 10.5194/ACP-24-12295-2024.
- [9] M. Amin, V. S. Bachtiar, Z. A. Hanami, and M. Hustim, “Characterization of Particulate Matter in Indoor Air from Cooking Activities in Rural Indonesian Households,” *Atmosphere (Basel)*, vol. 16, no. 10, p. 1124, Oct. 2025, doi: 10.3390/ATMOS16101124/S1.
- [10] L. D. K. Sari, Z. Munawwir, and C. Umamah, “Efficiency of Solar Cookers with Different Geometric Shapes Over the Last Decade: A Comprehensive Review,” *Journal of Renewable Energy, Electrical, and Computer Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 32–41, May 2024, doi: 10.29103/JREECE.V4I1.13764.
- [11] N. Misra, A. Anand, S. Pandey, K. Kant, A. Shukla, and A. Sharma, “Box-Type Solar Cookers: An Overview of Technological Advancement, Energy, Environmental, and Economic Benefits,” *Energies* 2023, Vol. 16, Page 1697, vol. 16, no. 4, p. 1697, Feb. 2023, doi: 10.3390/EN16041697.
- [12] A. Sarangi, P. Kumar Nayak, J. Nayak, S. S. Sahoo, and R. K. Mallik, “Performance Analysis of Box-type Solar Cooker with New Selective Coatings,” *J Phys Conf Ser*, vol. 2818, no. 1, p. 012024, Aug. 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2818/1/012024.
- [13] H. M. Wassie, M. Z. Getie, M. S. Alem, T. B. Kotu, and Z. M. Salehdress, “Experimental investigation of the effect of reflectors on thermal performance of box type solar cooker,” *Heliyon*, vol. 8, no. 12, p. e12324, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e12324
- [14] M. N. Bari, D. Rakhasywi, and Fahrudin, “The Effect of Cover Glass Thickness on the Performance of Box-Type Solar Cookers: Pengaruh Ketebalan Kaca Penutup Terhadap Performa Kompor Surya Tipe Kotak,” *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, vol. 10, no. 2, pp. 229–236, Dec. 2025, doi: 10.21070/R.E.M.V10I2.1787.
- [15] M. Shehram, M. N. Hamidi, A. A. A. Wahab, and M. K. M. Desa, “Enhancing flat plate collectors’ efficiency by minimizing optical losses through vacuum glazing and ethylene glycol-diamond-alumina nanofluid,” *Journal of Thermal Engineering*, vol. 11, no. 2, pp. 550–576, Mar. 2025, doi: 10.14744/THERMAL.0000932.
- [16] J. A. Duffie, W. A. Beckman, and N. Blair, *Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind*, 5th ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2020
- [17] Sheila Reynold, “Low-Iron Glass vs. Standard Clear Glass - Swift Glass.” Accessed: Mar. 19, 2026. [Online]. Available: <https://www.swiftglass.com/blog/low-iron-glass-vs-standard-clear-glass/>
- [18] Hexad Glass, “Clear Float Glass Vs. Low-Iron Glass: Which One Is Better For Your Project? - Hexad Glass.” Accessed: Mar. 19, 2026. [Online]. Available: <https://hexadindustries.com/clear-float-glass-vs-low-iron-glass/>
- [19] Jenesi Glass, “Cina Pabrik Pemasok Produsen Kaca Apung Ekstra Bening yang Disesuaikan - Buatan Cina.” Accessed: Mar. 19, 2026. [Online]. Available: <https://id.qdjenesiglass.com/float-glass/extra-clear-float-glass.html>

Halaman ini sengaja dikosongkan
(This page is intentionally left blank)