Performance analysis of solar collectors with varying glass thickness for water heaters

Abryan Termedia Panjaitan[1], Tambos August Sianturi[2], Azarya NJ Siahaan[3]
[1,2,3]Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar, Indonesia
Email: brianpanjaitan554@gmail.com

ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan energi global mendorong pemanfaatan energi terbarukan, khususnya energi surya yang memiliki potensi besar di wilayah tropis seperti Indonesia. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja kolektor surya tipe pelat datar dengan variasi ketebalan kaca lokal (3 mm dan 5 mm) untuk sistem pemanas air rumah tangga. Metode yang digunakan adalah eksperimen lapangan dengan pengukuran parameter temperatur air (ΔT), laju perpindahan panas (Qout), energi panas yang diserap (Qin), serta energi radiasi matahari (Qs) pada rentang waktu 11.00–14.00 WIB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kaca 3 mm menghasilkan suhu air keluar dan laju perpindahan panas yang lebih tinggi akibat kemampuan transmisi radiasi yang lebih baik, terutama pada intensitas rendah. Namun, kaca 5 mm memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi dan stabil, dengan nilai maksimum mencapai 71%, karena kemampuan insulasi yang lebih baik dalam menekan kehilangan panas. Secara keseluruhan, ketebalan kaca berpengaruh signifikan terhadap performa kolektor surya. Oleh karena itu, kaca lokal dengan ketebalan 5 mm direkomendasikan untuk meningkatkan efisiensi sistem pemanas air berbasis energi surya yang ekonomis dan ramah lingkungan.
Kata Kunci: kolektor surya; ketebalan kaca; pemanas air; efisiensi termal; energi surya

ABSTRACT

The increasing global energy demand encourages the use of renewable energy, especially solar energy which has great potential in tropical regions such as Indonesia. This study aims to analyze the performance of flat plate solar collectors with variations in local glass thickness (3 mm and 5 mm) for household water heating systems. The method used is a field experiment with measurements of water temperature parameters (ΔT), heat transfer rate (Qout), absorbed heat energy (Qin), and solar radiation energy (Qs) in the time range of 11:00–14:00 WIB. The results show that 3 mm glass produces higher outlet water temperatures and heat transfer rates due to better radiation transmission capabilities, especially at low intensities. However, 5 mm glass has a higher and more stable thermal efficiency, with a maximum value reaching 71%, due to better insulation capabilities in suppressing heat loss. Overall, glass thickness has a significant effect on solar collector performance. Therefore, local glass with a thickness of 5 mm is recommended to increase the efficiency of solar energy-based water heating systems that are economical and environmentally friendly.
Keyword: solar collector; glass thickness; water heater; thermal efficiency; solar energy

Corresponding Author:
Abryan Termedia Panjaitan,
Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar,
Jl. Sangnaualuh No.4, Kelurahan Siopat Suhu, Kecamatan Siantar Timur,
Kota Pematangsiantar, Sumatera Utara., Indonesia
Email: brianpanjaitan554@gmail.com

1. INTRODUCTION

Kebutuhan energi global mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan perkembangan teknologi di era 4.0. Dalam konteks rumah tangga, energi digunakan untuk berbagai keperluan, salah satunya adalah pemanas air. Namun, mayoritas pemanas air tersebut masih bergantung pada energi fosil, seperti gas LPG dan listrik dari pembangkit listrik berbasis batu bara. Ketergantungan ini tidak hanya menyebabkan tekanan ekonomi akibat fluktuasi harga energi, tetapi juga berdampak pada lingkungan melalui

emisi karbon yang berlebihan. Oleh karena itu, pengembangan energi alternatif yang bersih, terbarukan, dan mudah diaplikasikan di tingkat rumah tangga menjadi kebutuhan yang mendesak (Twidel & Weir, 2015).

Energi surya merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang paling melimpah dan berpotensi besar, khususnya di negara tropis seperti Indonesia. Menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM, 2020), Indonesia menerima penyinaran rata-rata sebesar 4,8 kWh/m² per hari, sehingga menjadi sumber daya alam yang sangat potensial untuk dimanfaatkan secara langsung melalui teknologi kolektor surya. Salah satu bentuk pemanfaatan praktis energi surya di rumah tangga adalah melalui pemanas air surya (*solar water heater*).

Kolektor surya bekerja dengan cara menangkap panas dari sinar matahari dan mentransfernya ke air melalui proses konduksi dan konveksi. Efektivitas sistem ini sangat dipengaruhi oleh desain kolektor, kualitas material penyerap panas, serta material penutup transparan seperti kaca (Duffie & Beckman, 2013). Sebagian besar kolektor surya komersial menggunakan kaca impor berkualitas tinggi sebagai penutup (*cover plate*), namun harga yang mahal menjadi hambatan bagi rumah tangga berpenghasilan menengah ke bawah. Oleh sebab itu, diperlukan inovasi dalam bentuk penggunaan kaca lokal sebagai alternatif material transparan yang lebih terjangkau.

Kaca impor memiliki kelebihan berupa kualitas optik yang lebih tinggi, ketahanan terhadap cuaca, serta mutu produksi yang konsisten sehingga mampu meningkatkan efisiensi kolektor surya. Namun, penggunaan kaca impor juga memiliki kelemahan, seperti harga yang jauh lebih mahal, ketergantungan terhadap pasokan luar negeri, serta keterbatasan ketersediaan di pasar domestik. Sebaliknya, kaca lokal lebih unggul dari sisi harga yang lebih terjangkau, ketersediaan yang mudah, serta mendukung kemandirian industri dalam negeri. Meski demikian, kelemahannya terletak pada kualitas optik yang lebih rendah, ketahanan yang kurang baik terhadap cuaca ekstrem, serta variasi mutu produksi yang belum sebaik kaca impor.

Penggunaan variasi kaca tentu menimbulkan pertanyaan penting mengenai kinerja termal kolektor surya tersebut. Sifat optik dan termal kaca, seperti transmitansi, emisi, dan ketahanan panas, dapat berbeda dengan kaca impor standar. Oleh karena itu, evaluasi secara eksperimental terhadap kinerja kolektor surya berbasis kaca lokal menjadi sangat relevan. Penelitian ini bertujuan untuk menjawab apakah penggunaan kaca lokal tetap dapat menghasilkan efisiensi yang memadai bagi kebutuhan pemanas air rumah tangga.

Penelitian ini juga sejalan dengan agenda nasional dalam mendorong kemandirian energi dan teknologi berbasis sumber daya lokal. Dengan merancang dan menguji sistem kolektor surya berbasis material dalam negeri, khususnya kaca lokal, diharapkan teknologi ini dapat diadopsi secara luas dan terjangkau oleh masyarakat. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi kontribusi ilmiah dalam pengembangan sistem pemanas air hemat energi dan ramah lingkungan.

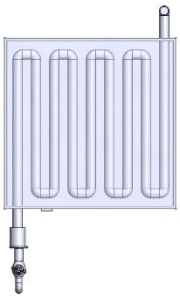
2. RESEARCH METHOD

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian yang berjudul *"Analisis Kinerja Kolektor Surya dengan Variasi Ketebalan Kaca untuk Pemanas Air"* dilaksanakan di tempat tinggal penulis yang beralamat di Desa Silau Malaha, Kecamatan Siantar, Kabupaten Simalungun, Provinsi Sumatera Utara (21151).

Waktu penelitian dimulai sejak disahkannya judul oleh Ketua Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Manajemen Pengelolaan Sumber Daya Perairan, Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar, dan dilaksanakan selama 15 hari.

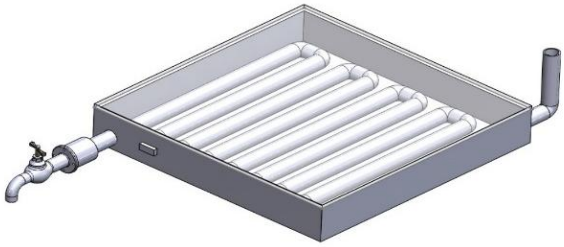
B. Desain Alat Kolektor Surya



Gambar 1. Tampak Atas

Keterangan ukuran alat adalah sebagai berikut:

1. Panjang = 70 cm
2. Lebar = 70 cm
3. Tinggi = 10 cm
4. Pipa masuk–keluar = 80 cm
5. Pipa haluan (7 batang) = 60 cm



Gambar 2. Tampak Lengkap

C. Variabel Penelitian

1) Variabel Bebas (X)

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi ketebalan kaca yang digunakan sebagai penutup kolektor surya.

2) Variabel Terikat (Y)

Variabel terikat meliputi:

a) Kinerja termal kolektor surya, yang ditunjukkan oleh kenaikan temperatur air (ΔT).
b) Efisiensi energi kolektor surya (η) pada berbagai kondisi radiasi matahari.

3) Variabel Kontrol

Variabel yang dikendalikan dalam penelitian ini meliputi:

a) Luas area kolektor surya
b) Jenis dan bahan absorber
c) Kapasitas tangki penyimpanan
d) Volume air uji
e) Kondisi cuaca selama pengujian
f) Orientasi dan sudut kemiringan kolektor

D. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui pengukuran langsung (*eksperimen lapangan*) untuk memperoleh data yang sesuai dengan rumusan masalah. Data yang dikumpulkan meliputi:

1) Pengukuran Suhu Air

a) Suhu air diukur pada bagian inlet (sebelum masuk kolektor) dan outlet (setelah keluar dari kolektor).
b) Alat yang digunakan adalah thermocouple atau termometer digital.
c) Data suhu digunakan untuk menentukan kenaikan temperatur (ΔT) sebagai indikator kinerja termal kolektor surya.

2) Pengukuran Radiasi Matahari

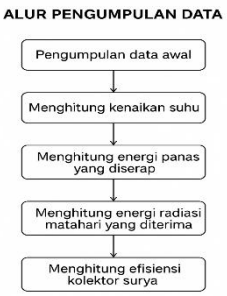
a) Intensitas radiasi matahari diperoleh dari data rata-rata intensitas matahari di lingkungan sekitar.
b) Data ini digunakan sebagai dasar dalam menghitung efisiensi energi kolektor (η) sesuai dengan variasi kondisi cuaca.

E. Teknik Analisis Data

1) Pengertian Analisis Data

Analisis data merupakan proses pengolahan, perhitungan, dan penafsiran hasil pengukuran untuk memperoleh informasi yang bermakna sesuai dengan tujuan penelitian. Dalam penelitian ini, analisis data dilakukan untuk mengetahui besarnya energi panas yang diserap air, energi radiasi matahari yang diterima kolektor, serta tingkat efisiensi kinerja kolektor surya berdasarkan hasil pengujian di lapangan.

2) Diagram Alur Pengumpulan Data



Gambar 3. Diagram Alur

3. RESULTS AND DISCUSSION

A. Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada pukul 11.00–14.00 WIB di area terbuka dengan kondisi cuaca cerah hingga berawan. Kolektor surya yang digunakan adalah tipe pelat datar dengan variasi ketebalan kaca 3 mm dan 5 mm. Intensitas radiasi matahari selama pengujian berkisar antara 610–856 W/m², dengan nilai tertinggi terjadi pada pukul 12.00–13.00 WIB. Kondisi ini menunjukkan bahwa waktu tengah hari merupakan periode optimum untuk penyerapan energi surya.

Hasil pengukuran temperatur menunjukkan bahwa suhu air keluar (*Tout*) dipengaruhi oleh ketebalan kaca dan intensitas radiasi matahari. Pada periode pertama (11.00–12.00 WIB), kaca 3 mm menghasilkan suhu air keluar lebih tinggi (42,9°C) dibandingkan kaca 5 mm (41,3°C). Hal ini menunjukkan bahwa kaca yang lebih tipis memiliki kemampuan transmisi radiasi yang lebih baik, sehingga energi panas lebih cepat diserap oleh fluida.

Namun, pada periode kedua (12.00–13.00 WIB) saat intensitas radiasi mencapai maksimum, perbedaan kinerja antara kedua variasi kaca relatif kecil. Kaca 5 mm sedikit lebih unggul dalam menjaga stabilitas suhu karena mampu mengurangi kehilangan panas akibat konveksi dan radiasi. Hal ini menunjukkan adanya peran efek insulasi pada kaca dengan ketebalan yang lebih besar.

Pada periode ketiga (13.00–14.00 WIB), terjadi penurunan temperatur pada kedua variasi kaca akibat menurunnya intensitas radiasi matahari serta perubahan sudut datang radiasi. Pada kondisi ini, kaca 3 mm kembali menunjukkan performa yang lebih baik karena mampu mentransmisikan radiasi yang tersisa secara lebih efektif dibandingkan kaca 5 mm.

Tabel 1. Ringkasan Hasil Pengujian Temperatur

Periode	Intensitas (W/m²)	Kaca	Tin (°C)	Tout (°C)
11–12	700	5 mm	28,2	41,3
		3 mm	28,2	42,9
12–13	856	5 mm	28,2	39,6
		3 mm	28,2	39,4
13–14	610	5 mm	28,2	36,3
		3 mm	28,2	37,9

Perhitungan laju perpindahan panas menunjukkan bahwa nilai *Qout* pada kaca 3 mm lebih tinggi dibandingkan kaca 5 mm pada seluruh periode pengujian. Hal ini disebabkan oleh hambatan konduksi yang lebih kecil pada kaca tipis, sehingga energi panas lebih mudah diteruskan ke fluida kerja. Sebaliknya, kaca 5 mm cenderung menahan panas di dalam kolektor.

Energi panas yang diterima air (*Qin*) menunjukkan tren menurun dari periode pertama hingga periode ketiga, seiring dengan penurunan intensitas radiasi matahari. Pada awal pengujian, kaca 5 mm menghasilkan nilai *Qin* yang lebih besar, namun pada periode akhir kaca 3 mm menunjukkan nilai yang lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa kaca tipis lebih efektif pada kondisi radiasi rendah.

Tabel 2. Ringkasan Energi dan Perpindahan Panas

Periode	Kaca	Qout (kW)	Qin (Wh)	Qs (Wh)
11–12	5 mm	5940	66,99	587
	3 mm	9712	75,17	497
12–13	5 mm	5811	58,30	506
	3 mm	9550	57,27	458
13–14	5 mm	5536	41,42	362
	3 mm	9226	49,60	355

Efisiensi kolektor menunjukkan bahwa kaca 5 mm memiliki performa yang lebih stabil dan lebih tinggi dibandingkan kaca 3 mm. Nilai efisiensi kaca 5 mm berturut-turut adalah 71%, 69%, dan 58%, sedangkan kaca 3 mm adalah 46%, 43%, dan 28%. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan isolasi kaca yang lebih tebal lebih efektif dalam mengurangi kehilangan panas, sehingga meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan.

Tabel 3. Efisiensi Kolektor

Periode	Efisiensi 5 mm (%)	Efisiensi 3 mm (%)
11–12	71	46
12–13	69	43
13–14	58	28

Secara keseluruhan, ketebalan kaca berpengaruh signifikan terhadap kinerja kolektor surya. Kaca 3 mm unggul dalam hal transmisi panas dan menghasilkan suhu fluida yang lebih tinggi, terutama pada kondisi radiasi rendah. Sementara itu, kaca 5 mm lebih efektif dalam mempertahankan panas dan memberikan efisiensi yang lebih tinggi. Oleh karena itu, pemilihan ketebalan kaca sebaiknya disesuaikan dengan kondisi operasional, khususnya intensitas radiasi matahari dan kebutuhan efisiensi sistem.

B. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi ketebalan kaca memberikan pengaruh signifikan terhadap kinerja kolektor surya, khususnya dalam aspek penyerapan dan kehilangan panas. Secara umum, kaca berfungsi sebagai media transmisi radiasi matahari sekaligus sebagai penghambat kehilangan panas ke lingkungan. Oleh karena itu, perbedaan ketebalan kaca akan memengaruhi keseimbangan antara energi yang masuk dan energi yang hilang dari sistem.

Pada kaca dengan ketebalan 3 mm, diperoleh suhu air keluar yang cenderung lebih tinggi dibandingkan kaca 5 mm, terutama pada kondisi intensitas radiasi rendah. Hal ini disebabkan oleh kemampuan kaca tipis dalam mentransmisikan radiasi matahari yang lebih besar akibat hambatan optik dan konduksi yang lebih kecil. Akibatnya, energi panas yang diteruskan ke pelat penyerap menjadi lebih optimal sehingga meningkatkan temperatur fluida kerja.

Sebaliknya, kaca dengan ketebalan 5 mm menunjukkan efisiensi termal yang lebih tinggi meskipun suhu air keluar tidak selalu maksimum. Hal ini terjadi karena kaca yang lebih tebal memiliki kemampuan insulasi yang lebih baik dalam menahan panas di dalam kolektor. Dengan berkurangnya kehilangan panas akibat konveksi dan radiasi, energi yang tersimpan dalam sistem menjadi lebih stabil, sehingga meningkatkan efisiensi keseluruhan kolektor.

Pengaruh intensitas radiasi matahari juga terlihat jelas pada hasil penelitian. Pada periode dengan intensitas maksimum (12.00–13.00 WIB), perbedaan kinerja antara kaca 3 mm dan 5 mm relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi energi masuk yang tinggi, pengaruh ketebalan kaca menjadi kurang dominan karena energi radiasi yang diterima cukup besar untuk mengimbangi kehilangan panas yang terjadi.

Sebaliknya, pada saat intensitas radiasi menurun (13.00–14.00 WIB), perbedaan karakteristik kedua kaca menjadi lebih signifikan. Kaca 3 mm cenderung lebih unggul dalam mentransmisikan energi yang tersisa, sedangkan kaca 5 mm mengalami penurunan kinerja akibat keterbatasan dalam meneruskan radiasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa kaca tipis lebih adaptif terhadap lingkungan dengan radiasi rendah.

Selain itu, hasil perhitungan laju perpindahan panas (*Qout* dan *Qin*) menunjukkan bahwa kaca 3 mm memiliki nilai perpindahan panas yang lebih besar, namun tidak selalu berbanding lurus dengan efisiensi. Hal ini disebabkan karena sebagian energi yang masuk juga lebih mudah hilang ke lingkungan. Sementara itu, kaca 5 mm mampu menjaga keseimbangan energi dengan lebih baik, sehingga menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat satu ketebalan kaca yang sepenuhnya unggul untuk semua kondisi operasional. Kaca 3 mm lebih efektif dalam meningkatkan temperatur fluida, sedangkan kaca 5 mm lebih optimal dalam mempertahankan energi dan meningkatkan efisiensi sistem. Oleh karena itu, pemilihan ketebalan kaca sebaiknya disesuaikan dengan tujuan penggunaan kolektor, apakah untuk memperoleh suhu tinggi dalam waktu singkat atau untuk mencapai efisiensi energi yang lebih stabil.

4. CONCLUSION

Berdasarkan hasil penelitian kinerja kolektor surya dengan variasi ketebalan kaca 3 mm dan 5 mm pada pukul 11.00–14.00 WIB, dapat disimpulkan bahwa intensitas radiasi matahari mencapai nilai maksimum pada pukul 12.00–13.00 WIB sebesar 856 W/m², kemudian menurun pada periode berikutnya. Perubahan intensitas radiasi ini terbukti sangat memengaruhi performa kolektor dalam menyerap dan mentransfer energi panas.

Ketebalan kaca memberikan pengaruh signifikan terhadap kinerja termal kolektor. Kaca 3 mm memiliki kemampuan transmisi radiasi yang lebih baik sehingga menghasilkan suhu air keluar dan laju perpindahan panas (*Qout*) yang lebih tinggi, terutama pada kondisi radiasi rendah. Namun demikian, kaca ini juga mengalami kehilangan panas yang lebih besar.

Sebaliknya, kaca 5 mm memiliki kemampuan insulasi yang lebih baik sehingga mampu menahan panas di dalam kolektor dan menghasilkan efisiensi termal yang lebih tinggi. Nilai efisiensi maksimum yang diperoleh mencapai 71% dan secara konsisten lebih tinggi dibandingkan kaca 3 mm yang hanya mencapai 46%.

Energi panas yang diserap air (*Qin*) serta energi radiasi matahari (*Qs*) menunjukkan tren menurun seiring dengan berkurangnya intensitas radiasi. Hal ini menegaskan bahwa faktor lingkungan, khususnya intensitas radiasi matahari, berperan penting dalam menentukan kinerja kolektor selain faktor desain.

Secara keseluruhan, kaca 3 mm lebih unggul dalam meningkatkan temperatur fluida, sedangkan kaca 5 mm lebih efektif dalam menjaga kestabilan energi dan meningkatkan efisiensi sistem. Oleh karena itu, penggunaan kaca 5 mm direkomendasikan untuk memperoleh kinerja kolektor surya yang optimal, terutama pada kondisi radiasi yang fluktuatif.

REFERENCES

Abdullah, M. (2015). *Metode penelitian kuantitatif*. Aswaja Pressindo.

Anis, S. (2010). Pemanfaatan kolektor surya pemanas air dengan menggunakan seng bekas sebagai absorber untuk mereduksi pemakaian bahan bakar minyak rumah tangga. *Sainteknol: Jurnal Sains dan Teknologi, 8*(2), 60–66. https://doi.org/10.15294/sainteknol.v8i2.323

Azhari, M. T., Al Fajri Bahri, M. P., Asrul, M. S., & Rafida, T. (2023). *Metode penelitian kuantitatif*. PT Sonpedia Publishing Indonesia.

Bara, D. A., Gusnawati, G., & Nurhayati, N. (2016). Pengaruh tebal kaca penutup terhadap efisiensi kolektor surya pelat gelombang tipe V pada proses destilasi air laut. *LONTAR: Jurnal Teknik Mesin Undana, 3*(2), 1–10. https://doi.org/10.35508/ljtmu.v3i2.470

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Pendekatan kualitatif, kuantitatif, dan metode campuran* (5th ed.). Sage Publications.

Handoyo, E. A. (2001). Pengaruh jarak kaca ke plat terhadap panas yang diterima suatu kolektor surya plat datar. *Jurnal Teknik Mesin, 3*(2), 52–56.

Institut Teknologi Sepuluh Nopember. (2014). *Studi eksperimental sistem pengering tenaga surya menggunakan tipe greenhouse dengan kotak kaca*. ITS.

Nugraha, D., & Dwiyantoro, B. A. (2015). Performansi kolektor surya pemanas air dengan penambahan external helical fins pada pipa dengan variasi sudut kemiringan kolektor. *Jurnal Teknik ITS, 4*(1), B74–B79.

Prajitno, S. B. (2013). Metodologi penelitian kuantitatif. *Jurnal UIN Sunan Gunung Djati*, 1–29.

Rogers, E. M. (1966). *Physics for the inquiring mind: The methods, nature, and philosophy of physical science*. Princeton University Press.

Saputro, A. E., Tarigan, B. V., & Jafri, M. (2016). Pengaruh sudut kaca penutup dan jenis kaca terhadap efisiensi kolektor surya pada proses destilasi air laut. *LONTAR: Jurnal Teknik Mesin Undana, 3*(1), 65–74. https://doi.org/10.35508/ljtmu.v3i1.466

Susanto, H., & Irawan, D. (2017). Pengaruh jarak antar pipa pada kolektor terhadap panas yang dihasilkan solar water heater (SWH). *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 6*(1), 84–91. https://doi.org/10.24127/trb.v6i1.470

Universitas Gadjah Mada. (2020). *Mengenal greenhouse*. Fakultas Pertanian UGM.

Widayana, G. (2012). Pemanfaatan energi surya. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, 9*(1), 37–46. https://doi.org/10.23887/jptk-undiksha.v9i1.2876

Wiloso, A. R. (2018). *Analisis kinerja kolektor surya tipe pelat datar dengan variasi persentase bukaan penutup transparan* (Undergraduate thesis, IPB University).