

STUDI EKSPERIMEN PANEL SURYA DENGAN KOLEKTOR PEMANAS UDARA**Mega Lazuardi Umar¹, Prabuditya Bhisma Wisnu Wardhana², Asmar Finali³, Agung Fauzi Hanafi⁴, Rizqi Ilmal Yaqin⁵**^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banyuwangi⁵Program Studi Pemesinan Kapal, Politeknik Kelautan dan Perikanan DumaiEmail: ¹megalazuardiumar@poliwangi.ac.id, ²prabuditya@poliwangi.ac.id, ³asmar@poliwangi.ac.id, ⁴agung@poliwangi.ac.id, ⁵r.ilmalyaqin@politeknikpdumai.ac.id**Abstrak**

Panel surya adalah salah satu jenis energi terbarukan yang sangat populer karena ramah lingkungan, tidak menyebabkan emisi, dan bersih. Namun nilai konversi energi dari sinar radiasi matahari menjadi listrik masih rendah, lebih dari 70% sinar radiasi matahari terbuang menjadi energi panas. Oleh karena itu, perlu sebuah kolektor untuk memanfaatkan panas yang terbuang dari panel surya. Pada penelitian ini, sebuah kolektor panas udara diletakkan dibagian bawah panel untuk selanjutnya dihitung potensi energi luaran, efisiensi listrik dan efisiensi panas. Didapatkan bahwa panel surya dengan kolektor panas udara mampu meningkatkan efisiensi listrik panel surya biasa sebesar 0.70%. Nilai *primary total energy* efisiensi harian dari panel surya dengan kolektor panas lebih tinggi 17.47% dibandingkan dengan panel surya tanpa kolektor. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat menjadi rujukan bagi akademisi dan pelaku industri energi terbarukan di masa yang akan datang.

Kata Kunci: panel surya, energi terbarukan, energi, kolektor panas**Abstract**

Solar panel is popular renewable energy technology because it is environmentally friendly, zero emissions, and environmentally clean. However, the energy conversion value from solar radiation to electricity is quite small, more than 70% of solar radiation is discharged into heat energy. Therefore, a heat collector is needed to take advantage of the heat dissipation from solar panel. In this study, an air heat collector is placed at the bottom of the panel to indicating the potential energy, electrical efficiency and heat efficiency. It was found that solar panels with air heat collectors were able to increase the electrical efficiency of solar panels by 0.70%. The daily primary total energy efficiency value of solar panels with a heat collector is 17.47% higher than a solar panel without a collector. In the future, the results of this research can be a reference for academics and industry to develop their renewable energy potential.

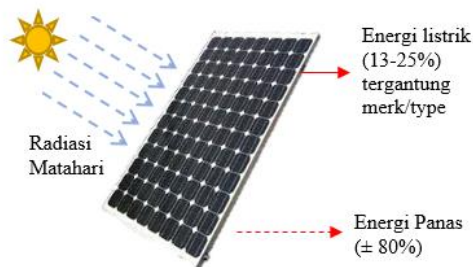
Keywords: photovoltaic, renewable, energy, heat collector**I. PENDAHULUAN**

Panel surya adalah sebuah alat energi terbarukan yang mampu mengubah energi radiasi matahari menjadi listrik. Data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menunjukkan bahwa pemanfaatan Energi terbarukan di Indonesia masih sangat terbatas. Panel Surya hanya menyumbang suplai energy sebesar 0.03% dari kebutuhan energi di Indonesia. Batu bara masih menyumbang suplai energi terbanyak disusul oleh Minyak dan gas

sebesar 37.28%, 35.03%, dan 18.51% secara berurutan (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2019).

Kondisi geografis Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa dan beriklim tropis juga membuat potensi energi terbarukan panel surya sangat besar karena sinar radiasi matahari di Indonesia memiliki waktu penyinaran yang lebih banyak dibandingkan dengan negara lain yang memiliki empat musim. Namun, konversi sinar radiasi dari matahari yang diserap oleh panel surya saat ini masih tergolong

minimum. Efisiensi energi panel surya yang dijual secara komersial saat ini hanya berada diantara 13-25%, artinya hanya seperempat saja yang dikonversi menjadi listrik, sementara sisanya dibuang dalam bentuk panas seperti yang diilustrasikan pada gambar 1.



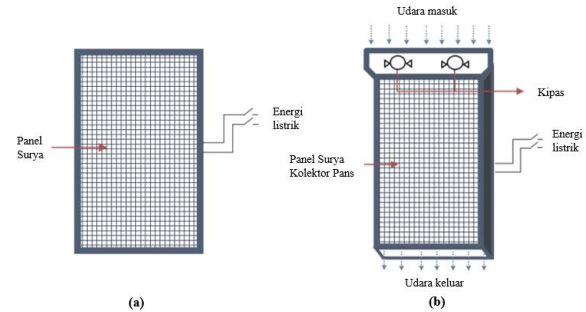
Gambar 1. Ilustrasi Panel Surya

Sisa energi yang terbuang dan tidak dimanfaatkan dari panel surya itulah yang kemudian dimanfaatkan sehingga diharapkan akan menambah nilai luaran energi.

Beberapa penelitian tentang panel surya telah dilakukan oleh Kuo (2017) yang menjelaskan bahwa temperatur panel surya dapat mencapai 65°C saat kondisi siang hari dimana penyinaran sinar radiasi matahari optimal. Temperatur yang tinggi pada panel surya juga menurunkan nilai efisiensi listrik. Penelitian dari Huang (2001) menjelaskan bahwa kenaikan temperatur pada panel surya berbanding terbalik dengan luaran efisiensi listrik. Kenaikan temperatur ini dikarenakan peningkatan getaran kisi termal yang mengakibatkan penurunan mobilitas pembawa muatan dan pengurangan kemampuan *p-n junction* dari sel surya (Umar, 2020)

Ide dari penelitian adalah memanfaatkan energi panas yang terbuang dari panel surya dan menghitung potensi energi menggunakan tambahan kolektor panas yang diletakkan dibawah panel surya. Konsepnya adalah menggunakan proses perpindahan panas, dimana radiasi matahari menyebabkan temperatur panel surya meningkat akibat proses konversi energi menjadi listrik, kemudian udara dihembuskan dibagian bawah sistem panel surya untuk menjaga temperatur panel surya beroperasi dalam level yang optimum, sehingga energi listrik optimal dapat dicapai. Sedangkan panas udara yang telah melalui sistem kolektor panel surya kemudian akan dihitung potensi energi dan efisiensinya. Salah satu aplikasi dari pemanfaatan panas adalah sebagai pengering, pemanas ruangan dan ventilasi (Slimani, 2016). Ilustrasi perbandingan sistem panel surya biasa dan panel surya dengan kolektor panas ditunjukkan pada Gambar 2.

Energi yang keluar dari panel surya biasa hanya terbatas pada energi listrik (Gambar 2(a)), sedangkan panel surya dengan kolektor panas memiliki dua energi luaran energi, yaitu energi listrik dan energi panas dari udara yang keluar dari system seperti ilustrasi Gambar 2(b).



Gambar 2. Perbandingan system (a) Panel surya (b) Panel surya dengan kolektor pemanas udara

Penelitian tentang panel surya dengan kolektor panas saat ini masih terbatas yang dilakukan di Indonesia, padahal potensi energi terbarukan panel surya masih sangat besar. Oleh karena itu perlu dibandingkan potensi efisiensi dan energinya jika dibandingkan dengan panel surya biasa. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat menjadi rujukan bagi akademisi dan pelaku industri energi terbarukan di masa yang akan datang.

II. METODE

2.1 Peralatan Eksperimen

Alat dan bahan yang dibutuhkan untuk penelitian panel surya dengan kolektor panas ditampilkan pada tabel 1. Panel surya yang akan digunakan pada penelitian kali ini adalah *standalone* panel surya dengan merk GH Solar dengan daya maksimum 120 *WattPeak* dengan dimensi 100 x 68 cm, parameter lingkungan berupa radiasi, temperatur sekitar, kecepatan angin, dan energi luaran dianalisa menggunakan sensor radiasi, *thermocouple*, dan *anemometer*. Sedangkan daya yang keluar dihitung menggunakan avometer dan *wattmeter*.

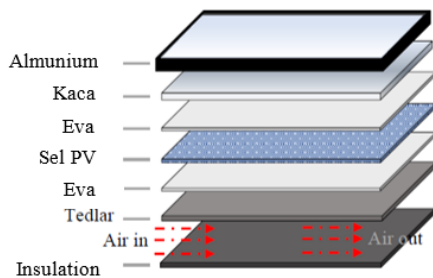
2.2 Desain dan Rancangan Panel Surya dengan Kolektor Pemanas Udara

Anatomi lapisan pada panel surya terdiri dari rangka aluminium, kaca, eva, sel *photovoltaic*, eva, tedlar. Adapun pada panel surya dengan kolektor panas, pada bagian bawah panel surya ditambahkan

lapisan *insulation* dengan lebar gap 3 cm yang digunakan untuk aliran udara seperti yang diilustrasikan pada tampilan melintang Gambar 3.

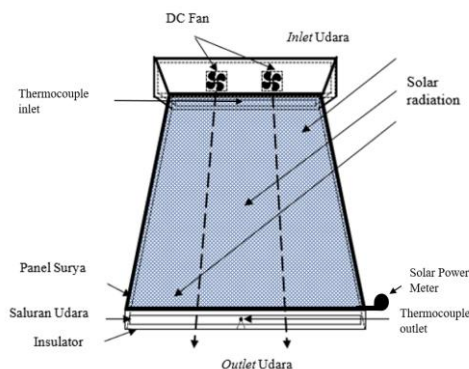
Tabel 1. Peralatan Eksperimen

No.	Nama	Spesifikasi
1.	Panel surya	GH Solar 120 WP 100x68 cm
2.	Kabel konektor panel surya	Mc4 Connector 2 meter
5.	Solar charge controller	PWM Solar Cell Controller
6.	Avometer	Multitester Digital
6.	Fan	2 x DC Fan 12x12
7.	Anemometer	GM816 Wind speed range: 0-30m/s
8.	Solar Power meter	Lutron SPM-1116SD Solar Power Meter 1-1000 W/m ²
9.	Thermometer-thermocouple	K Type 0-150°C
10.	Insulation	Snadwich Insulation
11.	Baterai	VRLA 12 Ah



Gambar 3. Anatomi panel surya dengan kolektor pemanas udara.

Desain rancangan panel surya dengan kolektor pemanas udara ini ditampilkan pada Gambar 4. Cara kerja sistem ini adalah mula-mula udara dari lingkungan sekitar dihembuskan oleh DC Fan melalui saluran yang berada di bawah panel surya.



Gambar 4. Rancangan Panel Surya

Udara panas tersebut dipanaskan melalui skema konveksi oleh panel surya yang naik temperaturnya karena konversi energi radiasi menjadi listrik.

Temperatur udara yang keluar melalui *outlet* lalu ditangkap menggunakan sebuah sensor *thermocouple* dan dihitung efisiensi panasnya (η_{th}) menggunakan persamaan 1. Sinar radiasi matahari ditangkap oleh *solar power meter* yang diletakkan di sebelah panel dan dihitung daya yang keluar menggunakan avometer dan wattmeter. Efisiensi listrik (η_{ele}) dihitung dengan menggunakan persamaan 2 (Kuo, 2019).

$$\eta_{th} = \frac{Q_{th}}{GA} \tag{1}$$

$$\eta_{ele} = \frac{Q_{ele}}{GA} \tag{2}$$

dimana Q_{th} dan Q_{ele} adalah energi panas dan energi listrik yang keluar dari sistem, G adalah radiasi (W/m^2) dan A adalah luas panel surya (m^2). Nilai energi panas (Q_{th}) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3

$$Q_{th} = \dot{m}c_p(T_o - T_i) \tag{3}$$

dimana \dot{m} adalah *mass flow rate* (kg/s), c_p adalah *specific heat* (J/kg-K), T_o dan T_i adalah temperatur *outlet* dan *inlet* (C°).

Untuk menghitung energy total, karena energi listrik dan panas adalah sebuah energi yang berbeda, maka digunakan persamaan *primary energy efficiency*, yaitu sebuah persamaan yang mengkonversikan nilai efisiensi listrik menjadi energi panas. Sehingga, total energi listrik perlu dibagi dengan faktor konversi tertentu (Mojumder, 2016; Saygin, 2017), persamaan untuk *primary energy efficiency* total (η_f) adalah:

$$\eta_f = \frac{\eta_{ele}}{0.38} + \eta_{th} \tag{4}$$

Dimana 0.38 adalah faktor konversi (Mojumder, 2016; Saygin, 2017), untuk mencegah *shadowing effect* maka dalam eksperimen, panel surya diletakkan di tempat terbuka yaitu di tanah lapang halaman Politeknik Negeri Banyuwangi seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.

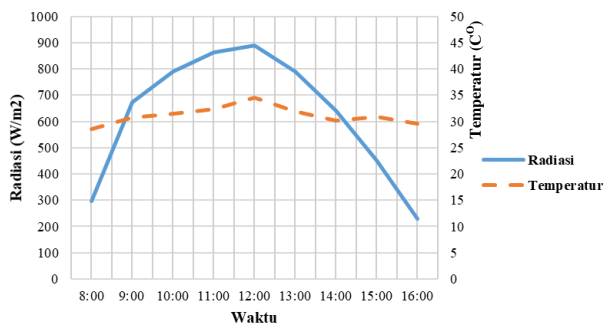


Gambar 5. Foto panel surya dengan kolektor panas udara

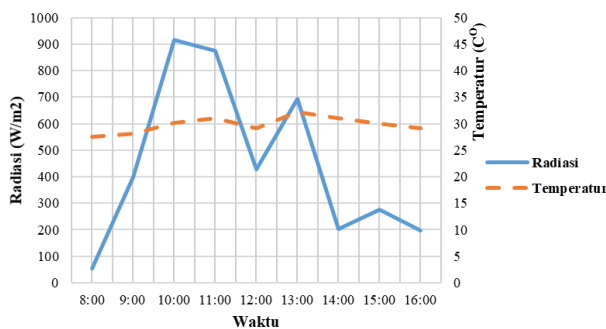
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Lingkungan

Dalam penelitian ini cuaca cerah dan mendung dipilih karena memiliki sinar radiasi yang dapat diserap oleh panel surya. Adapun cuaca hujan atau mendung pekat tidak menjadi bahasan kami karena nilai radiasi matahari relatif kecil. Kondisi lingkungan saat hari cerah pukul 08:00-16:00 ditampilkan pada Gambar 6. Nilai radiasi matahari dan temperatur lingkungan tertinggi adalah 890.4 W/m² dan 34.5 C° pada pukul 12:00. Kondisi lingkungan saat cuaca mendung pukul 08:00-16:00 ditampilkan pada Gambar 7. Nilai radiasi matahari dan temperatur lingkungan bervariasi secara fluktuatif dengan rentang 54.2-915.3 W/m² dan 27.5-32.7 C° akibat adanya beberapa awan yang menghalangi radiasi matahari saat pengujian.



Gambar 6. Kondisi lingkungan saat cuaca cerah

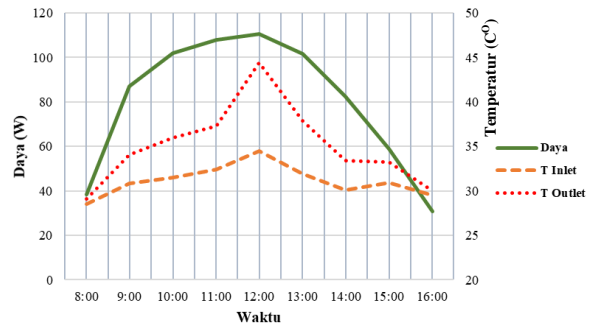


Gambar 7. Kondisi lingkungan saat cuaca mendung

3.2 Efisiensi Panel Surya dengan Kolektor Panas Udara

Gambar 8 menunjukkan nilai luaran panel surya dengan kolektor panas pada saat cuaca cerah. Nilai daya listrik dan temperatur *outlet* bervariasi antara 38.5-110.5 W, dan 29.1-44.0 C°. Adapun nilai temperatur *inlet* diasumsikan sama dengan temperatur lingkungan. Nilai energy listrik tertinggi adalah sebesar 110.5 W pada 12:00, sedangkan nilai temperatur *outlet* tertinggi adalah 44.0 C° pada pukul 12:00. Secara umum, hasil penelitian menunjukkan ada korelasi antara daya luaran dan temperatur *outlet*

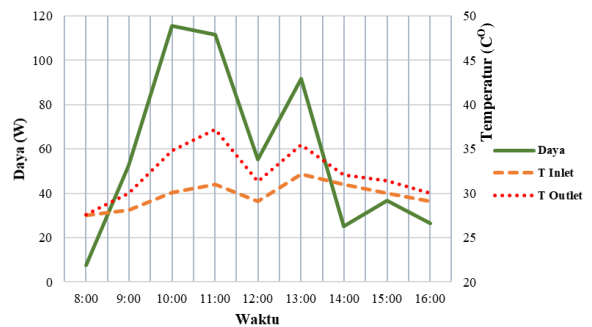
udara, yaitu semakin tinggi daya listrik yang dihasilkan, temperatur udara *outlet* juga akan meningkat. Aly (2018) berpendapat bahwa semakin tinggi intensitas sinar radiasi matahari akan meningkatkan energi luaran panel surya dan menaikkan suhu temperatur sel dalam panel akibatnya adalah temperatur *outlet* akan meningkat karena terjadi perpindahan panas secara konveksi dari panel ke udara.



Gambar 8. Energi luaran dan temperatur *inlet-outlet* panel surya

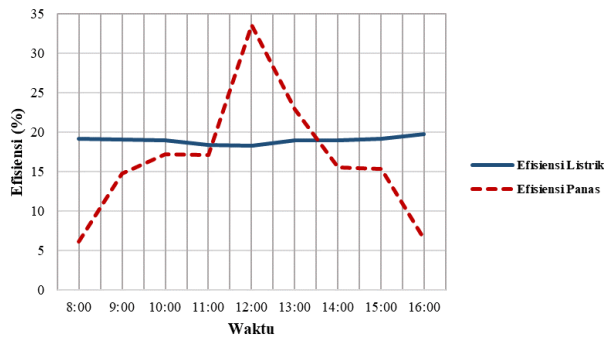
Gambar 9 menunjukkan nilai luaran panel surya dengan kolektor panas pada saat cuaca mendung. Nilai energi listrik dan temperatur *outlet* bervariasi antara 7.4-115.4 W, dan 27.6-37.2 C°. Nilai energy listrik tertinggi adalah sebesar 115.4 W pada pukul 10:00, sedangkan nilai temperatur *outlet* tertinggi adalah 37.2 C° pada pukul 11:00.

Jika kita amati radiasi matahari pada pukul 11:00 menunjukkan nilai yang lebih rendah daripada pukul 10:00, akan tetapi pada pukul 11:00 temperatur udara yang keluar dari *outlet* lebih tinggi, hal ini dikarenakan temperatur udara *inlet* memiliki nilai yang lebih tinggi, sehingga untuk mencapai temperatur udara yang tinggi tidak membutuhkan energi perpindahan panas yang banyak. Dapat diambil fakta bahwa nilai untuk temperatur *outlet* bervariasi tidak hanya tergantung dari radiasi matahari saja namun juga temperatur udara yang masuk (*inlet*).



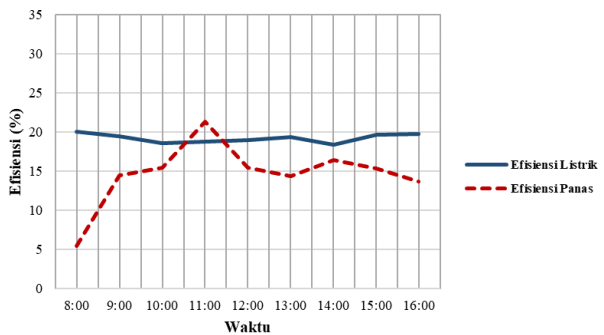
Gambar 9. Energi luaran dan temperatur *inlet-outlet* panel surya

Pada cuaca cerah, nilai efisiensi listrik dan efisiensi panas panel surya dengan kolektor panas lalu dihitung dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 seperti yang ditampilkan pada Gambar 10. Nilai rata-rata efisiensi listrik harian adalah sebesar 18.95%, sedangkan nilai-rata efisiensi panas harian adalah sebesar 16.54%. Dengan menggunakan persamaan 4 maka didapatkan nilai rata-rata *primary total energy* harian efisiensi adalah sebesar 66.54%.



Gambar 10. Efisiensi listrik dan panas pada panel surya dengan kolektor panas saat cuaca cerah.

Pada saat cuaca mendung, nilai rata-rata efisiensi listrik harian adalah sebesar 19.21%, sedangkan nilai-rata efisiensi panas harian adalah sebesar 14.66%. Dengan menggunakan persamaan 4 maka nilai *primary total energy* efisiensi harian adalah sebesar 65.22%.



Gambar 11. Efisiensi listrik dan panas pada panel surya dengan kolektor panas saat cuaca mendung

Saat cuaca cerah ataupun mendung, nilai efisiensi listrik pada pagi dan sore lebih tinggi daripada siang hari, hal ini dikarenakan panel surya masih dalam temperatur yang lebih dingin dibandingkan saat siang hari karena konversi energi dari radiasi menjadi listrik, Huang (2001) menjelaskan bahwa kenaikan temperatur pada panel surya akibat konversi energi berbanding terbalik dengan luaran efisiensi listrik.

3.3 Perbandingan efisiensi antara panel surya dengan panel surya kolektor pemanas udara

Hasil efisiensi panel surya dengan kolektor panas udara lalu dibandingkan dengan panel surya yang sama tanpa kolektor pemanas seperti yang ditampilkan pada tabel 2. Hasil menunjukkan bahwa Panel surya dengan kolektor panas udara memiliki efisiensi listrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan panel surya biasa tanpa kolektor. Diketahui rata-rata nilai efisiensi listrik untuk panel surya dengan kolektor panas adalah 19.09% sementara panel surya tanpa kolektor adalah 18.39%, artinya panel surya dengan kolektor panas efisiensi listriknya lebih tinggi 0.70%. Adapun nilai rata-rata *primary total energy* efisiensi harian dari panel surya dengan kolektor panas lebih tinggi 17.47% dibandingkan dengan panel surya tanpa kolektor. Panel surya dengan kolektor panas udara mampu menurunkan temperatur panel surya sehingga meningkatkan efisiensi panel (Huang 2001). Hasil penelitian yang dilakukan dalam iklim Indonesia ini juga sesuai dengan penelitian dari (Slimani, 2016; Aly, 2018) yang menyatakan bahwa peningkatkan efisiensi akan terjadi saat panel surya ditambahkan dengan kolektor udara.

Tabel 2. Efisiensi harian panel surya dengan kolektor panas dan tanpa kolektor panas.

Tanggal	Radiasi (kWh/m ² -hari)	Energi (kWh/m ² -hari)		Efisiensi (%)		
		Listrik	Panas	Listrik	Panas	Total
Panel Surya dengan Kolektor Panas Udara						
14 Juni 2021	5.62	0.72	0.63	18.95	16.54	66.54
15 Juni 2021	4.03	0.52	0.40	19.21	14.66	65.22
Rata-rata				19.09	15.6	65.88
Panel Surya						
19 Juni 2021	5.61	0.69	0	18.15	0	47.77
20 Juni 2021	3.98	0.50	0	18.64	0	49.06
Rata-rata				18.39	0	48.41

IV. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa penelitian, didapatkan bahwa panel surya dengan kolektor panas udara mampu meningkatkan efisiensi listrik panel surya sebesar 0.70%. Nilai *primary total energy* efisiensi harian dari panel surya dengan kolektor panas lebih tinggi 17.47% dibandingkan dengan panel surya tanpa kolektor.

Saran

Berdasarkan temuan yang telah diperoleh diharapkan energi panel surya dengan kolektor panas udara akan dimanfaatkan untuk aplikasi lanjutan misalnya sebagai teknologi *hybrid* panel surya dengan pengering udara, pemanas ruangan dan fentilasi karena memiliki dua potensi energi yang dapat dimanfaatkan, yaitu listrik dan panas.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PNBPN Politeknik Negeri Banyuwangi tahun 2021 (No. SK 2565/PL36/PG/2021) yang telah mendanai penelitian ini.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Aly, S.P., Ahzi, S. Barth, N., Abdallah, A. 2018. Using energy balance method to study the thermal behavior of PV panels under time-varying field conditions. *Energy Conversion and Management* Vol. 175, pp. 246-262.
- Huang, B.J., Lin, T.H., Hung, W.C, Sun, F.S., 2001. Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems. *Solar Energy* Vol. 70, pp. 443–448
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia., 2019. Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia.
- Kuo, C.F.J., Lee, Y.W., Umar, M.L, Yang, P.C. 2017. Dynamic modeling, practical verification and energy benefit analysis of a photovoltaic and thermal composite module system. *Energy Conversion and Management* Vol. 154, pp. 470-481.
- Kuo, C.F.J, Liu, J.M., Umar, M.L, Lan, W.L., Huang, C.Y., Syu, S.S. 2019. The photovoltaic-thermal system parameter optimization design and practical verification. *Energy Conversion and Management*. Vol. 180, pp. 358-371.
- Mojumder, J.C., Ong, H.C., Chong, W.T., Shamshirband, S., Al-Mamoon, A. 2016. Application of support vector machine for prediction of electrical and thermal performance in PV/T system. *Energy Build*, Vol. 111, pp. 267-277.
- Saygin, H., Nowzari, R., Mirzaei, N., Aldabbagh, L.B.Y. 2017. Performance evaluation of a modified PV/T solar collector: A case study in design and analysis of experiment. *Sol. Energy*, Vol. 141, pp. 210-221
- Slimani, M.E.A., Amirat, M., Bahria, S., Kurucz, I., Aouli, M., Sellami, R. 2016. Study and modeling of energy performance of a hybrid photovoltaic/thermal solar collector: Configuration suitable for an indirect solar dryer. *Energy Conversion and Management*, Vol. 125, pp. 209-221.
- Tyagi, V. V., Kaushik, S.C., Tyagi, S. K. 2012. Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology. *Renewable Sustainable Energy Review* Vol. 16, pp. 1383-1398.
- Umar, M.L., Yaqin, R.I. 2020. Studi Numerik Dengan Model Empat Parameter Untuk Memprediksi Daya Luaran Dari Panel Surya. *Infotekmesin*. Vol. 11, pp. 125-129.