



Jurnal Artikel

Kajian Eksperimental Kinerja *Photovoltaic* dengan Penambahan *Thermoelectric Generator*

Rifky^{1*}, Ferdyan Arif Mawanda Saputra²

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

¹rifky@uhamka.ac.id, ²ferdyan.arif11@gmail.com

*Corresponding author – Email: rifky@uhamka.ac.id

Artkel Info - : Received : 29 Juni 2025 ; Revised : 14 Juli 2025; Accepted: 15 Juli 2025

Abstrak

Salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi sistem *photovoltaic* adalah temperatur permukaan sel. Pada penelitian ini digunakan *thermoelectric* untuk mengambil panas dari permukaan sel yang diharapkan dapat menurunkan temperatur sel sehingga dapat meningkatkan efisiensinya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan peningkatan efisiensi dari hasil penuruan temperatur permukaan sel. Metodologi penelitian yang digunakan adalah eksperimental, dengan cara perbandingan efisiensi pada sistem *photovoltaic* tanpa *thermoelectric generator* dan sistem *photovoltaic* dengan *thermoelectric generator*. Sistem *photovoltaic* yang digunakan adalah *photovoltaic polycristalin (Si)* dengan daya sebesar 50 Wp sedangkan untuk sistem *thermoelectric* menggunakan *thermoelectric generator* tipe TEG SP1848-27145 SA. Pengambilan data dilakukan dengan pengukuran yang dimulai dari pukul 08.00 WIB sampai 15.00 WIB. Hasil penelitian mendapatkan bahwa efisiensi maksimum yang dihasilkan sistem *photovoltaic* tanpa *thermoelectric generator* sebesar 5,64 % sedangkan hasil efisiensi maksimum pada *photovoltaic* dengan *thermoelectric generator* sebesar 5,39 %.

Kata kunci: *photovoltaic, thermoelectric, generator, efisiensi*

Abstract

One of the factors that affect the efficiency of the photovoltaic system is the cell surface temperature. In this research, thermoelectric is used to take heat from the cell surface which is expected to lower the cell temperature so as to increase its efficiency. The purpose of this study was to obtain an increase in efficiency from the decrease in cell surface temperature. The research methodology used is experimental, by comparing the efficiency of the photovoltaic system without a thermoelectric generator and the photovoltaic system with a thermoelectric generator. The photovoltaic system used is a photovoltaic polycristalin (Si) with a power of 50 Wp, while the thermoelectric system uses a thermoelectric generator type TEG SP1848-27145 SA. Data collection was carried out by measuring starting from 08.00 WIB to 15.00 WIB. The results showed that the maximum efficiency of the photovoltaic system without a thermoelectric generator was 5.64%, while the maximum efficiency of the photovoltaic system with a thermoelectric generator was 5.39%.

Keywords: *photovoltaic, thermoelectric, generator, efficiency*



© 2020 by authors. Lisensi Jurnal Metal : Manufaktur, Energi, Material Teknik, Uhamka, Jakarta. Artikel ini bersifat open access yang didistribusikan di bawah syarat dan ketentuan Creative Commons Attribution ([CC-BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)) license.

Pendahuluan

Permintaan dunia terhadap kebutuhan energi terus meningkat sementara energi fosil jika terus digunakan akan habis. Saat ini sumber-sumber energi terbarukan seperti energi matahari, energi angin, energi air dan energi biomassa sedang menjadi perhatian seluruh dunia (Xu et al., 2020). Energi terbarukan memiliki sifat yang bersih, ramah

lingkungan dan mudah didapat (Xiang, Yuan, Ji, Cao, & Zhou, 2020). Salah satu sumber energi terbarukan yang paling melimpah dan dapat diperoleh dengan mudah di bumi adalah energi matahari (Marandi, Ameri, & Adelshahian, 2018). Selain itu, energi matahari saat ini menjadi energi yang paling banyak dimanfaatkan di dunia karena memiliki karakteristik yang bersih dan ramah lingkungan (Callejo Luis, Saavedra, & Gómez, 2019). Selain menghasilkan energi

panas (termal) matahari juga menghasilkan energi cahaya (radiasi) (Rifal, Dera, & Pido, 2020). Salah satu cara untuk memanfaatkan energi matahari yaitu dengan menggunakan sistem *photovoltaic* (PV), dimana pada sistem ini akan mengubah energi matahari menjadi energi listrik secara langsung (Najafi & Woodbury, 2013).

Pada sistem *photovoltaic* memiliki kelemahan dalam proses menghasilkan listrik yaitu semakin panas atau semakin meningkat temperatur pada sel *photovoltaic* maka akan terjadi penurunan efisiensi pada kinerja *photovoltaic* sekitar 0,5 % (Soltani, Kasaean, Sarraffa, & Wen, 2017). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan proses untuk mengurangi temperatur pada sel *photovoltaic* (Nakamura & Nishioka, 2016).

Dalam hal mengurangi temperatur pada sel *photovoltaic* maka pada penelitian ini akan dilakukan pengujian dengan menggunakan *thermoelectric generator* (TEG) sebagai media pendingin untuk menyerap panas pada sisi bawah sistem *photovoltaic* serta membandingkan kinerja dari sistem *photovoltaic* tanpa *thermoelectric generator* dan *photovoltaic* dengan *thermoelectric generator*.

Dasar Teori

Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang dapat digunakan kembali atau dapat menghasilkan energi baru, seperti; energi matahari, energi angin, energi biomassa, energi panas bumi dan lain sebagainya (Panwar, Kaushik, & Kothari, 2011). Kelebihan dari energi terbarukan ini yaitu tidak akan pernah habis selama masih ada siklus kehidupan di bumi dan dapat meminimalisir pencemaran lingkungan (Adzikri, Notosudjono, & Suhendi, 2017). Untuk menciptakan suatu energi bersih dan ramah lingkungan maka penggunaan energi terbarukan sangat dianjurkan (Azhar & Satriawan, 2018).

Energi Matahari

Energi matahari merupakan salah satu energi terbarukan yang secara global paling banyak dan mudah diperoleh (Shittu et al., 2019). Energi matahari juga memiliki karakteristik ramah lingkungan dan tidak akan habis. Selain itu kelemahan dari energi matahari adalah arus energi yang dihasilkan rendah dan tidak stabil (Gede Widayana, 2012). Untuk mengatasi kelemahan tersebut maka diperlukan suatu alat tambahan karena pada dasarnya pemanfaatan energi matahari menjadi energi terbarukan tidak dapat dikonversikan secara langsung (Suwarti, Wahyono, & Prasetyo, 2018).

Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah ilmu yang mempelajari tentang adanya perpindahan panas pada benda-benda ataupun zat tertentu akibat adanya perbedaan temperatur (Holman, 2010). Perbedaan temperatur ini terjadi akibat adanya perpindahan dari temperatur yang tinggi menuju temperatur yang rendah (Ginanjar, Hiendro, & Suryadi, 2019). Dalam hal ini, perpindahan panas dikategorikan menjadi tiga mekanisme perpindahan panas diantaranya yaitu; konveksi, konduksi dan radiasi (Ozakin, Karsli, Kaya, & Gulluce, 2016).

1. Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi akibat adanya gerakan atau aliran pada suatu zat cair (Staton & Cavagnino, 2008) karena perubahan massa jenis yang dihasilkan dari proses pemanasan (Holman, 2010). Perpindahan panas konveksi dikategorikan menjadi dua bagian berdasarkan sifat alirannya yaitu konveksi paksa dan konveksi alami (Long & Sayma, 2009). Konveksi paksa merupakan konveksi yang terjadi ketika zat cair didorong dengan tenaga eksternal dengan menggunakan alat seperti pompa (Anglart, 2010) sedangkan konveksi alami merupakan konveksi yang terjadi akibat adanya gerakan atau aliran zat cair yang disebabkan oleh gaya yang dihasilkan dari variasi massa jenis zat cair tersebut (Staton & Cavagnino, 2008). Nilai perpindahan panas konveksi dapat dihitung dengan persamaan berikut (Long & Sayma, 2009):

$$Q_{cv} = h_{cv} \times A \times \Delta T \quad (1)$$

2. Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan panas yang terjadi pada benda padat (Mackowski, 2011) atau zat cair yang diam berdasarkan perbedaan temperatur dari temperatur yang tinggi ke temperatur yang lebih rendah (Hahn & Ozisik, 2012). Pada proses perpindahan panas dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses tersebut. Faktor yang dimaksud antara lain, ketebalan atau panjang suatu benda (Rokhimi & Pujayanto, 2015), perbedaan temperatur pada kedua sisi benda dan nilai konduktivitas termal dari suatu zat dimana sangat mempengaruhi kemampuan suatu zat dalam menghantarkan panas (Hakim, 2016). Nilai perpindahan panas konduksi dapat dihitung dengan persamaan berikut (Long & Sayma, 2009):

$$Q_{cd} = k \times A \times (\Delta T / L_{ins}) \quad (2)$$

3. Perpindahan Panas Radiasi

Berbeda dengan mekanisme konveksi dan konduksi yang menggunakan media baik zat cair atau material padat untuk menghantarkan panas (Holman, 2010), pada perpindahan panas radiasi tidak lagi membutuhkan media sebagai penghantar panas melainkan proses perpindahan panas secara radiasi terjadi secara langsung pada suatu benda ke benda yang lain (Burhani, Ramelan, & Naryanto, 2014). Dalam hal ini proses perpindahan panas yang dilakukan secara langsung melalui sumber energi panas matahari melalui fenomena elektromagnetik (Long & Sayma, 2009).

Photovoltaic (PV)

Photovoltaic merupakan teknologi yang secara teknis mampu menghasilkan energi listrik yang bersumber dari energi matahari (X. Zhang, Zhao, Smith, Xu, & Yu, 2012). Perubahan energi matahari menjadi energi listrik melalui sel *photovoltaic* ini disebut dengan efek *photovoltaic* (Yin, Li, & Xuan, 2019).

Photovoltaic memiliki keunggulan dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya, yaitu tidak memiliki biaya bahan bakar, biaya perawatan rendah dan *photovoltaic* ini akan terus menghasilkan daya listrik selama matahari masih bersinar (Ranabhat et al., 2016). Untuk memaksimalkan kinerja *photovoltaic* dalam mendapatkan energi listrik, maka permukaan *photovoltaic* harus diarahkan ke matahari secara langsung (Gultom, 2015).

Sel Photovoltaic

Sel *photovoltaic* merupakan bagian dari teknologi *photovoltaic* yang secara langsung mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui perangkat semikonduktor (Budi Yuwono, 2005). Perangkat semikonduktor tersebut terbagi menjadi dua sambungan yaitu sambungan tipe-P dan sambungan tipe-N (Shodiq, 2016). Pada sambungan tipe-P memiliki kelebihan lubang (hole) muatan positif dalam struktur atomnya sedangkan pada sambungan tipe-N memiliki kelebihan elektron muatan negatif (Utama, 2019). Adanya kelebihan pada hole dan elektron ini dapat meningkatkan energi panas dan energi listrik pada sel *photovoltaic* (Alifyanti, 2016). Besarnya energi listrik tersebut tergantung pada besarnya nilai intensitas cahaya matahari dan luas permukaan dari sel *photovoltaic* yang digunakan (Rera Aga Salihat, 2015).

Kinerja Sistem Photovoltaic

Kinerja sistem *photovoltaic* dianalisis melalui material yang digunakan pada *photovoltaic* dan melalui keadaan lingkungan sekitar seperti, temperatur lingkungan, spektrum cahaya, intensitas cahaya matahari (Rifky & Gaos, 2020), kecepatan angin serta melalui teknik pemasangan sistem *photovoltaic* (Armstrong & Hurley, 2010).

Selain analisis tersebut, terdapat beberapa parameter eksternal pada *photovoltaic* yang digunakan untuk mengetahui kinerja dari sistem *photovoltaic* antara lain yaitu; tegangan rangkaian terbuka atau *open-circuit voltage* (VOC), arus hubungan singkat atau *short-circuit current* (ISC), daya maksimal (P_{MAX}) faktor pengisian atau *fill factor* (FF) dan efisiensi *photovoltaic* (Jager, Isabella, Smets, Swaaij, & Zeman, 2014).

1. Arus Hubungan Singkat (I_{sc})

Arus hubungan singkat adalah arus yang mengalir melalui rangkaian eksternal pada saat *photovoltaic* dihubungkan pada arus singkat (Jager et al., 2014). Besarnya arus hubungan singkat pada *photovoltaic* tergantung pada kerapatan fluks foton pada *photovoltaic* yang ditentukan oleh spektrum cahaya (Jager et al., 2014). Arus hubungan singkat juga merupakan nilai arus maksimum yang dihasilkan oleh *photovoltaic* (Sayigh, 2017), dan arus ini mengalir pada saat tegangan sama dengan nol (V = 0) (Ginley & Cahen, 2011).

2. Tegangan Rangkaian Terbuka (V_{oc})

Tegangan rangkaian terbuka adalah tegangan yang tidak ada arus yang mengalir melalui rangkaian eksternal (Jager et al., 2014). Tegangan rangkaian terbuka terjadi akibat adanya penurunan tegangan yang melintas melalui perangkat *photovoltaic* dengan arus sama dengan nol (I = 0) (Sayigh, 2017).

3. Daya Maksimum (P_{MAX})

Daya maksimum adalah daya yang dapat dihasilkan dari *photovoltaic* jika diberikan spektrum cahaya (Jager et al., 2014). Daya yang dihasilkan oleh *photovoltaic* kemudian akan dikirim langsung ke beban dalam satuan watt (Ginley & Cahen, 2011).

4. Faktor Pengisi (FF)

Faktor pengisi adalah perbandingan antara daya maksimum yaitu tegangan maksimum (V_{MP}) dan arus maksimum (I_{MP}) dengan yang dihasilkan *photovoltaic* dari hasil perkalian V_{oc} dengan I_{sc} (Jager et al., 2014). Berdasarkan definisi tersebut maka faktor pengisian dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Jager et al., 2014):

$$FF = \frac{I_{MP}V_{MP}}{I_{SC}V_{OC}} \quad (3)$$

5. Efisiensi Photovoltaic

Efisiensi *photovoltaic* adalah efisiensi dari sel *photovoltaic* terhadap kinerja dari sistem *photovoltaic* (Mariano, Lin, Liao, & Ay, 2021) yang merupakan perbandingan antara daya luaran listrik (P_{out}) dengan

daya masuk (P_{in}) dari energi matahari yang diterima oleh sel *photovoltaic* (Ginley & Cahen, 2011). P_{in} adalah hasil dari perkalian antara intensitas cahaya matahari (I) dengan luas alas dari *photovoltaic* (A), yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Rifky & Gaos, 2020):

$$P_{in} = I \times A \quad (4)$$

Sedangkan P_{out} adalah hasil hasil dari perkalian parameter eksternal yang dihasilkan oleh kinerja *photovoltaic* yaitu *open-circuit voltage* (V_{oc}), *short-circuit current* (I_{sc}), dan *fill factor* (FF) sehingga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Adhe, Nugroho, & Budiono, 2016):

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (5)$$

Efisiensi *photovoltaic* merupakan persentase dari daya optimal yang dihasilkan oleh *photovoltaic* dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Ambarita, Sitanggang, & Sipayung, 2020):

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \quad (6)$$

Thermoelectric (TE)

Thermoelectric (TE) merupakan suatu perangkat konverter energi dua arah yang mampu beroperasi sebagai generator dan pendingin (Shittu et al., 2019). *Thermoelectric* terbuat dari bahan semikonduktor dan memiliki sambungan yang kuat antara aliran panas dan aliran listrik (Mahan, 2016). *Thermoelectric* memiliki kelebihan yaitu perawatannya mudah, sistem kerja dalam keadaan diam tanpa gerakan, dan memiliki efisiensi yang akurat pada temperatur yang berbeda (Daghig & Khaledian, 2018). Dengan keakuratan efisiensi tersebut maka *thermoelectric* (TE) sangat cocok digunakan pada pengoperasian sistem daya rendah (Manikandan & Kaushik, 2016).

Selain kelebihan tersebut, *thermoelectric* juga memiliki kekurangan yaitu adanya penelitian yang menunjukkan bahwa efisiensi yang dihasilkan dari *thermoelectric* dinilai sangat rendah. Oleh sebab itu diperlukan sistem pendingin yang berfungsi untuk melepaskan panas pada *thermoelectric* agar dapat memperbesar perbedaan temperatur sehingga dapat meningkatkan nilai efisiensi dari *thermoelectric* (Purwanto, 2020).

Prinsip Dasar Thermoelectric

Teknologi *thermoelectric* didasarkan pada efek *thermoelectric* (Zhou & Chu-Ping, 2015). Efek *thermoelectric* adalah proses perubahan energi secara langsung dari perbedaan temperatur diubah menjadi energi listrik ataupun sebaliknya (Latif & Hayati, 2015). Perbedaan

temperatur inilah yang nantinya akan menghasilkan daya listrik DC (*Direct Current*) (Renge, Barhaiya, Pant, & Sharma, 2017). Efek *thermoelectric* ini terdiri dari; efek Seebeck, efek Peltier dan efek Thomson (Latif & Hayati, 2015).

1. Efek Seebeck

Efek Seebeck menyatakan bahwa ketika dua jenis bahan yang berbeda kemudian pada kedua ujungnya diberikan temperatur yang berbeda, maka akan timbul perbedaan tegangan (Tritt, 2002). Besarnya tegangan yang dihasilkan tergantung pada perbedaan temperatur dan koefisien Seebeck dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut (Prasetyo et al., 2019):

$$S = \frac{V}{(T_{hot} - T_{cool})} \quad (7)$$

2. Efek Peltier

Efek Peltier menyatakan bahwa ketika arus melewati sebuah rangkaian yang terdiri dari dua bahan yang berbeda pada temperatur yang sama maka terjadi efek kebalikan yaitu pada salah satu ujung sisi bahan menghasilkan panas dan pada sisi lain menghasilkan dingin (Mardini-Bovea et al., 2019).

3. Efek Thomson

Efek Thomson menyatakan bahwa ketika panas yang diserap atau yang dilepaskan per satuan waktu maka hasilnya sebanding dengan perbedaan temperatur dan arus lisrik (Zhou & Chu-Ping, 2015). Berdasarkan pernyataan tersebut efek Thomson memiliki pengaruh terhadap kinerja dari *thermoelectric cooler* (TEC) dan *thermoelectric generator* (TEG) (Valter & Elena, 2020). Pada *thermoelectric cooler* efek Thomson memiliki pengaruh terhadap kinerja dalam menurunkan temperatur, sehingga diperoleh temperatur yang sangat rendah (Valter & Elena, 2020) sedangkan pada *thermoelectric generator* keberadaan efek Thomson dapat menurunkan kinerjanya karena dipengaruhi oleh perbedaan temperatur yang rendah dan nilai koefisien Seebeck dari bahan *thermoelectric* yang besar (M. Zhang, Tian, Xie, Wu, & Wang, 2019).

4. Figure Of Merit

Figure of merit merupakan faktor penting untuk mengetahui nilai efisiensi dari *thermoelectric* (Kwon, Kim, Lee, & Kim, 2012). Semakin besar nilai *figure of merit* maka efisiensi dari *thermoelectric* akan semakin besar juga (Nurdinawati, 2017). *Figure of merit* merupakan kombinasi dari koefisien Seebeck (S), konduktivitas listrik (σ) dan konduktivitas termal (k) dengan kombinasi tersebut maka nilai dari *figure of merit* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Kwon et al., 2012):

$$Z = \frac{S^2 \times \sigma}{k} \quad (8)$$

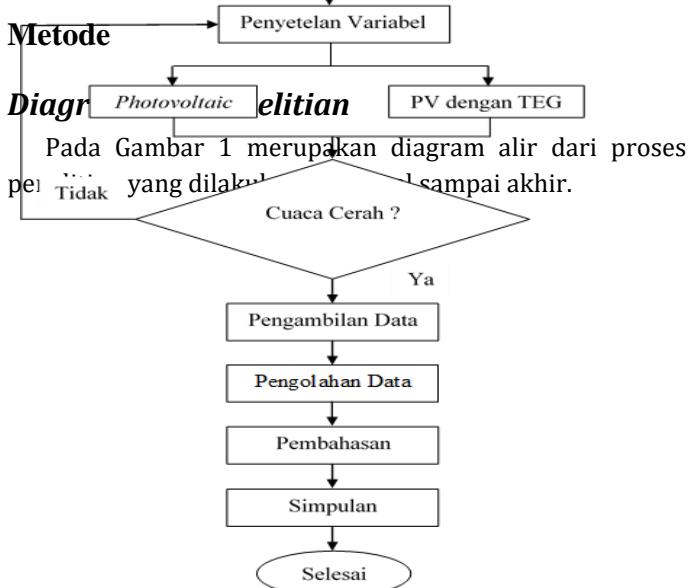
Thermoelectric Generator (TEG)

Aplikasi *thermoelectric* dapat digunakan untuk menghasilkan pendinginan atau pemanasan dan pembangkit listrik dengan menerapkan efek Seebeck dan efek Peltier (Patidar, 2018). Pada aplikasi *thermoelectric* generator bekerja dengan menggunakan efek Seebeck (Rohit, Manaswini, Kotebavi, & S R, 2017). Efek Seebeck digunakan dalam pembangkit listrik dengan mengubah energi panas yang terbuang menjadi energi baru (Patel, Mehta, & Shah, 2015). Nilai efisiensi dari *thermoelectric generator* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan, berikut (Sripadmanabhan et al., 2020):

$$\eta = \frac{T_{Hot} - T_{Cool}}{T_{Hot}} \times \frac{\sqrt{1+Z} - 1}{\sqrt{1+Z} + \frac{T_{Cool}}{T_{Hot}}} \quad (9)$$

Sistem Hibrida PV-TE

Sistem hibrida PV-TE merupakan gabungan dari *photovoltaic* dan *thermoelectric* yang dirancang untuk melengkapi kekurangan dari kedua sistem tersebut sehingga lebih efisien dalam memanfaatkan energi matahari (Yin & Li, 2020). Namun, pada sistem hibrida PV-TE terdapat permasalahan yang membatasi dalam penerapannya di lapangan. Permasalahan pertama adalah efisiensi *photovoltaic* akan menurun ketika terjadi peningkatan temperatur dan untuk permasalahan yang kedua adalah kinerja *thermoelectric* yang meningkat ketika memperoleh perbedaan suhu yang lebih besar, karena sisi panas *thermoelectric* langsung dengan *photovoltaic* (Yin et al., 2019).



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Alat Ukur

Pada penelitian ini alat ukur yang digunakan terdapat pada tabel 1

Tabel 1. Alat ukur

| Nama Alat | Fungsi | Spesifikasi |
|-------------------------|--|---------------------------------------|
| Avometer digital | Untuk mengukur arus listrik | DCV: 200V - 1000V ACV: 200V - 750V |
| Anemometer digital | Untuk mengukur kecepatan angin | 0 m/s - 30 m/s |
| Termometer digital | Untuk mengukur temperatur dalam celcius | -50°C - 70°C |
| Flowmeter | Untuk mengukur debit air | 7 Lpm |
| Hygrometer digital | Untuk mengukur kelembaban udara | 10% - 99% |
| Solar power meter | Untuk mengukur intensitas cahaya matahari | Suhu 0°-50°; kelembaban <80% |
| Watt meter | Untuk mengukur arus listrik yang dihasilkan <i>photovoltaic</i> | 0-60 volt dan 0-100 ampere |
| Solar charge controller | Untuk mengatur proses pengisian daya baterai dari <i>photovoltaic</i> | 10 ampere |
| Pompa Air | Untuk mengalirkan air pendingin dari bak penampung air ke sistem pendingin | 3000 Liter/Jam |

Alat Penelitian

Pada penelitian ini alat penelitian yang digunakan adalah:

1. *Photovoltaic polycrystallin (Si) 50 Wp (Watt peak)*, berfungsi untuk mengkonversikan energi panas matahari menjadi energi listrik.
2. *Thermoelectric generator TEG SP1848-27145 SA*, merupakan modul *thermoelectric* yang yang di fungsikan sebagai media pendingin *photovoltaic*.
3. Baterai, berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan *photovoltaic*.

Material Penelitian

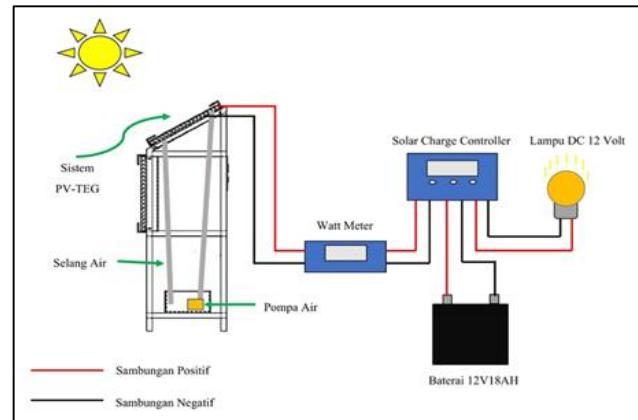
Pada penelitian ini material penelitian yang digunakan adalah:

1. Sistem pendingin alumunium, berfungsi sebagai pendingin *thermoelectric generator*.
2. Styrofoam (isolator), berfungsi untuk mencegah atau penghambat panas yang berpindah dan masuk ke pendingin alumunium serta mengkonsentrasiakan semua panas hanya diterima sisi panas modul *thermoelectric generator*.
3. Pelat alumunium, berfungsi untuk melapisi modul *thermoelectric generator* dan menghantarkan panas pada sisi panas *thermoelectric generator* yang diterima dari *photovoltaic* yang bersumber dari energi matahari serta untuk menyerap temperatur dingin pada sisi dingin *thermoelectric generator* yang bersumber dari sistem pendingin alumunium agar memperoleh perbedaan temperatur.

Prosedur Penelitian

Sebelum penelitian ini dimulai, hal pertama yang dilakukan adalah melakukan studi literatur untuk mendukung penelitian. Selanjutnya prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini agar diperoleh hasil yang maksimal adalah:

1. Mempersiapkan rangkaian *photovoltaic*, *thermoelectric generator* dan sistem pendingin.
2. Membuat desain rak dan pendingin alumunium.
3. Mempersiapkan alat penelitian yang akan digunakan.
4. Memasang rangkaian *photovoltaic*, *thermoelectric generator*, sistem pendingin dan sensor temperatur pada rak.
5. Melakukan pengambilan data secara langsung pada rangkaian *photovoltaic* tanpa *thermoelectric generator* dan rangkaian *photovoltaic* dengan *thermoelectric generator* sebagai pendingin dimulai dari Pukul 08.00 WIB sampai 15.00 WIB.
6. Jika cuaca hujan pengambilan data dihentikan.
7. Pengambilan data dilakukan setiap 30 menit sekali.
8. Mencatat dan mengumpulkan hasil data yang diperoleh.
9. Melakukan pengolahan data.



10. Membuat pembahasan dan simpulan.

Teknik Pengambilan Data

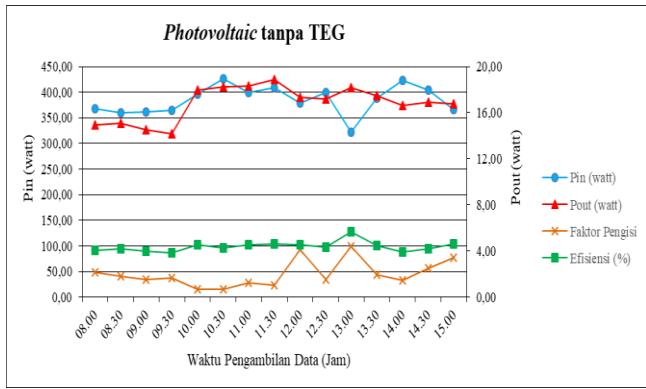
Teknik pengambilan data yang digunakan yaitu dengan cara pengukuran. Adapun variabel yang akan dilakukan pengukuran pada penelitian ini adalah kelembaban udara, kecepatan angin, temperatur lingkungan, temperatur *photovoltaic*, temperatur *thermoelectric generator*, temperatur sistem pendingin, temperatur air, intensitas cahaya matahari, tegangan dan arus listrik.

Skema Sistem Kerja Photovoltaic

Dibawah ini adalah skema dari sistem kerja rangkaian *photovoltaic* dengan *thermoelectric generator* yang diarahkan langsung ke matahari sebagai sumber energi utama.

Gambar 2. Skema sistem kerja PV dengan TEG

Gambar 2 merupakan skema dari sistem kerja PV dengan TEG dimana sistem PV dengan TEG diarahkan langsung dibawah sinar matahari kemudian sel *photovoltaic* menerima energi dari intensitas cahaya matahari. Sistem pendinginan TEG yang dilapisi pelat alumunium berfungsi untuk menyerap panas pada sisi bawah PV yang dibantu dengan sistem pendingin air yang di pompa dari bak penampung. Sel *photovoltaic* yang menerima energi dari matahari kemudian menyalurkan nya langsung ke alat ukur watt meter melalui sambungan kabel positif dan negatif untuk mengukur arus dan tegangan yang dihasilkan. Selanjutnya dari alat ukur watt meter sambungan diteruskan ke alat ukur scc (*solar charge controller*), pada SCC arus dan tegangan yang diperoleh dari sistem PV dengan TEG diatur kapasitasnya untuk mengisi baterai yang digunakan agar tidak terjadi kelebihan muatan yang dapat mengakibatkan baterai cepat rusak. Jika semua komponen sudah terpasang maka disambungkan dengan beban lampu

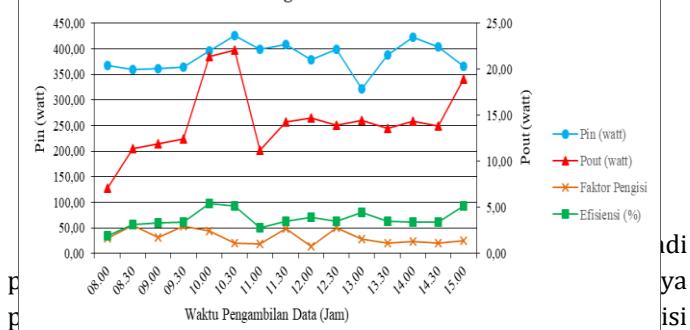


arus DC sebesar 12 volt untuk menguji besar nya arus dan tegangan yang diperoleh.

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan kinerja dari *photovoltaic* dalam menghasilkan efisiensi dengan memanfaatkan energi matahari dari sistem PV tanpa TEG dan sistem PV dengan TEG.

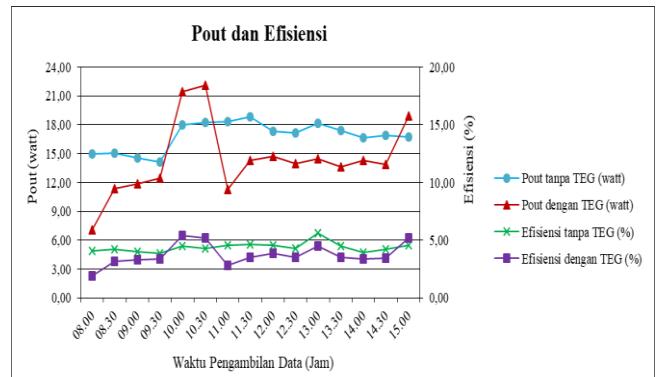
Thermoelectric generator berfungsi sebagai media pendingin dari sisitem *photovoltaic* untuk menyerap panas pada sisi bawah *photovoltaic* kemudian membandingkan nya dengan sistem *photovoltaic* tanpa *thermoelectric generator*. Hasil energi yang diterima dan yang dikeluarkan pada sistem *photovoltaic* tanpa TEG serta pengaruhnya t



(Ginley & Cahen, 2011) sedangkan untuk penurunan efisiensi disebabkan karena adanya peningkatan daya masuk. Daya masuk yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh tinggi atau rendahnya intensitas cahaya matahari (Buni, Al-walie, & Al-asadi, 2018) dan luas permukaan *photovoltaic*.

Hasil energi yang diterima dan yang dikeluarkan pada sistem *photovoltaic* dengan TEG serta pengaruhnya terhadap efisiensi ditampilkan pada gambar 4 dibawah ini.

Gambar 4. Distribusi kinerja PV dengan TEG



Pada gambar 4 sistem *photovoltaic* dengan TEG terjadi peningkatan efisiensi yang disebabkan karena adanya peningkatan daya masuk dan penurunan faktor pengisi sedangkan untuk penurunan efisiensi disebabkan karena adanya penurunan daya masuk dan penurunan pada faktor pengisi. Penurunan daya masuk dan faktor pengisi akan mempengaruhi nilai dari daya luaran yang dihasilkan *photovoltaic* (Muchammad & Setiawan, 2011). Pada penelitian ini faktor utama yang mempengaruhi daya masuk adalah kondisi cuaca dan kecepatan angin. Kondisi cuaca pada saat penelitian adalah cerah dan panas yang menyebabkan adanya peningkatan temperatur pada *photovoltaic*, untuk menurunkan temperatur pada *photovoltaic* diperlukan pendingin salah satunya adalah pendingin alami yaitu dengan memanfaatkan aliran udara (angin) yang ada di lingkungan sekitar alat (Cahyono, Ansyah, & Munthaha, 2020).

Hasil perhitungan daya luar yang diterima *photovoltaic* pada sistem PV tanpa TEG dan sistem PV dengan TEG serta pengaruhnya terhadap efisiensi ditampilkan pada gambar 5 dibawah ini.

Gambar 5. Pengaruh daya luar terhadap efisiensi PV

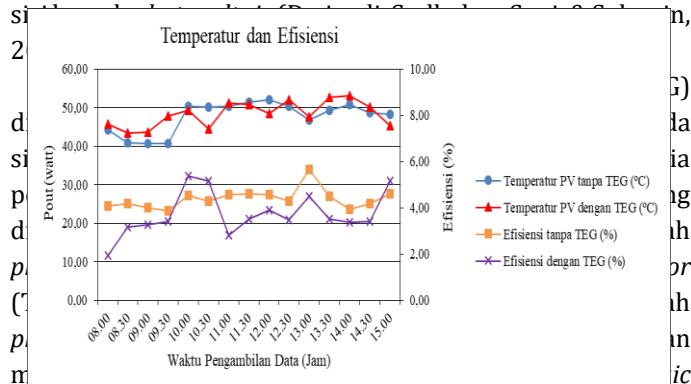
Pada gambar 5 dapat diketahui bahwa setiap adanya peningkatan daya luaran yang dihasilkan *photovoltaic* maka akan terjadi peningkatan pada nilai efisiensi begitupun sebaliknya ketika daya luar mengalami penurunan maka efisiensi juga akan menurun. Faktor yang menyebabkan adanya peningkatan serta penurunan yang terjadi pada daya luaran dan efisiensi adalah adanya peningkatan temperatur pada sisi atas *photovoltaic* (Amelia et al., 2016). Akibat peningkatan temperatur pada sisi atas *photovoltaic* menyebabkan daya luar yang dihasilkan pada *photovoltaic* menurun. Pengaruh dari naik dan turun nya daya luar tersebut secara langsung dapat mempengaruhi efisiensi dari *photovoltaic*, karena secara perhitungan teoritis nilai daya luar (P_{out}) memiliki hubungan dengan hasil dari perhitungan efisiensi *photovoltaic*.

Hasil pengukuran nilai temperatur pada sisi atas *photovoltaic* serta pengaruhnya terhadap efisiensi *photovoltaic* pada sistem PV tanpa TEG dan sistem PV dengan TEG ditampilkan pada gambar 6 dibawah ini.

Gambar 6. Pengaruh temperatur terhadap PV

Pada gambar 6 dapat diketahui bahwa ketika temperatur sel *photovoltaic* meningkat maka efisiensi *photovoltaic* akan menurun (Yin et al., 2019) begitupun sebaliknya ketika temperatur sel *photovoltaic* menurun maka efisiensi *photovoltaic* akan meningkat. Pada fenomena peningkatan dan penurunan temperatur sel *photovoltaic* disebabkan karena adanya dua jenis pendinginan *photovoltaic* yang digunakan pada penelitian ini. Adapun kedua jenis pendinginan tersebut yaitu sistem pendinginan yang bersumber dari udara dan sistem pendinginan yang bersumber dari *thermoelectric generator*.

Pada sistem pendinginan udara digunakan pada sistem *photovoltaic* tanpa TEG, pada sistem tersebut proses pendinginan dilakukan secara alami dengan adanya hembusan angin yang ada di lingkungan sekitar. Hembusan angin ini kemudian melewati sisi bawah dan sisi atas *photovoltaic*, hembusan angin pada sisi atas *photovoltaic* dinilai lebih efektif dalam menurunkan temperatur permukaan sel *photovoltaic* daripada hembusan angin pada



atau sel *photovoltaic* ternyata tidak mampu.

Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pengukuran dan perhitungan yang telah dilakukan bahwa pada sistem *photovoltaic* tanpa

thermoelectric generator menghasilkan daya luar maksimum sebesar 18,86 watt sedangkan pada sistem *photovoltaic* dengan *thermoelectric generator* menghasilkan daya luar maksimum sebesar 22,09 watt. Nilai Efisiensi maksimum yang didapat pada sistem *photovoltaic* tanpa *thermoelectric generator* sebesar 5,64 % sedangkan pada sistem *photovoltaic* dengan *thermoelectric generator* efisiensi maksimum yang didapat sebesar 5,39 %.

Berdasarkan hasil tersebut dapat diambil simpulan bahwa sistem *photovoltaic* dengan *thermoelectric generator* tidak dapat meningkatkan efisiensi *photovoltaic* karena penggunaan *thermoelectric generator* sebagai media pendingin pada *photovoltaic* hanya mampu mendinginkan sisi bawah dari *photovoltaic* saja tetapi tidak mampu meningkatkan efisiensi dari sistem *photovoltaic*.

References

- Adhe, R. R., Nugroho, G., & Budiono, C. (2016). Analisa Performansi dan Monitoring Solar Photovoltaic System (SPS) pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Tuban Jawa Timur. *Jurnal Teknik POMITS*, 1-8.
- Adzikri, F., Notosudjono, D., & Suhendi, D. (2017). Strategi Pengembangan Energi Terbarukan. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Elektro*, 1(1), 1-13.
- Alifyanti, D. F. (2016). Pengaturan Tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 1000 Watt. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, 1(1), 79-95.
- Ambarita, H., Sitanggang, C., & Sipayung, R. (2020). Performance of a Photovoltaic Solar Cold Storage. *Journal of Physics: Conference Series*, 1542(1), 1-5. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1542/1/012042>
- Anglart, H. (2010). Thermal- Hydraulics in Nuclear Systems. In *KTH Library*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology.
- Armstrong, S., & Hurley, W. . (2010). A Thermal Model for Photovoltaic Panels Under Varying Atmospheric Conditions. *Applied Thermal Engineering*, 30(11-12), 1488-1495. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.03.012>
- Azhar, M., & Satriawan, D. A. (2018). Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional. *Journal Adminitrative Law & Governance*, 1(4), 398-412.
- Budi Yuwono. (2005). Optimalisasi Panel Sel Surya dengan Menggunakan Sistem Pelacak Berbasis Mikrokontroler AT89C51. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

- Buni, M. J. B., Al-walie, A. A. K., & Al-asadi, K. A. N. (2018). Effect of Solar Radiation on Photovoltaic Cell. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, 3(3), 47-51.
- Burhani, K., Ramelan, & Naryanto, R. F. (2014). Pengembangan Media Pembelajaran Perpindahan Panas Radiasi dengan Variasi Beda Perlakuan Permukaan Spesimen Uji. *Journal of Mechanical Engineering Learning*, 3(2), 86-93.
- Cahyono, G. R., Ansyah, P. R., & Munthaha, M. (2020). Pengaruh Variasi Kecepatan Hembusan Udara Terhadap Temperatur, Daya Output dan Efisiensi Pada Pendinginan Panel Surya. *Infotekmesin*, 11(02), 141-146. <https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v11i2.259>
- Callejo Luis, H., Saavedra, S. G., & Gómez, V. A. (2019). A Review of Photovoltaic Systems, Design, Operation and Maintenance. *Solar Energy*, 188, 426-440. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.06.017>
- Daghig, R., & Khaledian, Y. (2018). Effective Design, Theoretical and Experimental Assessment of a Solar Thermoelectric Cooling-Heating System. *Solar Energy*, 162(October 2017), 561-572. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.01.012>
- Dwivedi, P., Sudhakar, K., Soni, A., & Solomin, E. (2020). Advanced Cooling Techniques of P. V. Modules: A State of Art. *Case Studies in Thermal Engineering*, 21(100674), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100674>
- Gede Widayana. (2012). Pemanfaatan Energi Surya. *Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejujuran (JPTK)*, 9(1), 37-46. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.23887/jptk-undiksha.v9i1.2876>
- Ginanjar, Hiendro, A., & Suryadi, D. (2019). Perancangan dan Pengujian Sistem Pembangkit Listrik Berbasis Termoelektrik dengan Menggunakan Kompor Surya sebagai Media Pemusat Panas. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 2(1).
- Ginley, D. S., & Cahen, D. (2011). *Fundamentals of Materials for Energy and Environmental Sustainability*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gultom, T. T. (2015). Pemanfaatan Photovoltaic sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Jurnal Mudira Indure*, 1(3), 33-42.
- Hahn, D. W., & Ozisik, M. N. (2012). *Heat Conduction* (3rd ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Hakim, L. (2016). Analisa Teoritis Laju Aliran Kalor pada Ketel Uap Pipa Api Mini Industri Tahu di Tinjau dari Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh. *Surya Teknika*, 1(4), 49-54.
- Holman, J. . (2010). *Heat Transfer* (10th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Jager, K., Isabella, O., Smets, A. H., Swaaij, R. A. C. M., Van, & Zeman, M. (2014). *Solar Energy: Fundamentals, Technology, and Systems*. Delft University of Technology.
- Kwon, S., Kim, Y., Lee, S., & Kim, J. C. (2012). Measurement of The Figure of Merit of Thermoelectric Devices. *XX IMEKO World Congress*.
- Latif, M., & Hayati, N. (2015). Potensi Energi Listrik pada Gas Buang Sepeda Motor. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 11(5), 163-168. <https://doi.org/10.17529/jre.v11i5.2957>
- Long, C., & Sayma, N. (2009). *Heat Transfer*. London: Bookboon.com.
- Mackowski, D. W. (2011). *Conduction Heat Transfer Notes for MECH 7210*. Auburn: Mechanical Engineering Department Auburn University.
- Mahan, G. . (2016). Introduction to Thermoelectrics. *APL Materials*, 4(104806), 1-8. <https://doi.org/10.1063/1.4954055>
- Manikandan, S., & Kaushik, S. . (2016). Energy and Exergy Analysis of Solar Heat Pipe Based Annular Thermoelectric Generator System. *Solar Energy*, 135, 569-577. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.06.031>
- Marandi, O. F., Ameri, M., & Adelshahian, B. (2018). The Experimental Investigation of a Hybrid Photovoltaic-Thermoelectric Power Generator Solar Cavity-Receiver. *Solar Energy*, 161, 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.12.039>
- Mardini-Bovea, J., Torres-díaz, G., Sabau, M., De-la-Hoz-Franco, E., Niño-Moreno, J., & Jessid Pacheco-Torres, P. (2019). A Review to Refrigeration with Thermoelectric Energy Based on the Peltier Effect. *Revista DYNA*, 86(208), 9-18. <https://doi.org/http://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.72589>
- Mariano, J. R. L., Lin, Y., Liao, M., & Ay, H. (2021). Analysis of Power Generation for Solar Photovoltaic Module with Various Internal Cell Spacing. *Sustainability*, 13(6364), 1-16. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su1311636>
- Muchammad, & Setiawan, H. (2011). Peningkatan Efisiensi Modul Surya 50 Wp dengan Penambahan Reflektor. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 45-50.

- Najafi, H., & Woodbury, K. A. (2013). Optimization of a Cooling System Based on Peltier Effect for Photovoltaic Cells. *Solar Energy*, 91, 152-160. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.01.026>
- Nakamura, S., & Nishioka, K. (2016). Reduction of Temperature In Silicon Photovoltaic Module Using Thermal Radiation Coating. *Matec Web of Conferences*, 65(04001), 1-4. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20166504001>
- Nurdinawati, V. (2017). Studi Termoelektrik Generator Tipe TEG SP1848 27145 SA. *Jurnal Ilmiah Elektrokrisna*, 6(1), 33-41.
- Ozakin, A. N., Karsli, S., Kaya, F., & Gulluce, H. (2016). The Heat Recovery With Heat Transfer Methods from Solar Photovoltaic Systems. *Journal of Physics*, 012050(707), 1-6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/707/1/012050>
- Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2011). Role of Renewable Energy Sources in Environmental Protection: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1513-1524. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.037>
- Patel, D., Mehta, S. B., & Shah, P. (2015). Review of Thermoelectricity to Improve Energy Quality. *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 2(3), 847-850.
- Patidar, S. (2018). Applications of Thermoelectric Energy : A Review. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 6(5), 1992-1996. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2018.5325>
- Prasetyo, Y., Salim, A. T. A., Indarto, B., Sulistyono, Pangestu, M. A., Habibi, M. R., ... Rafi, H. N. (2019). Karakteristik Termoelektrik TEC Bervariasi Tipe dengan Variasi Pembebatan Resistor. *Jurnal Energi Dan Teknologi Manufaktur*, 02(01), 36-41.
- Purwanto, A. (2020). *Pemanfaatan Energi Panas Terbuang Tungku Pandai Besi sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Menggunakan Generator Termoelektrik (TEG)* (Universitas Jember). Retrieved from <https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/97435>
- Ranabhat, K., Patrikeev, L., Revina, A. A., Andrianov, K., Lapshinsky, V., & Sofronova, E. (2016). An Introduction to Solar Cell Technology. *Journal of Applied Engineering Science*, 14(4), 481-491. <https://doi.org/10.5937/jaes14-10879>
- Renge, S., Barhaiya, Y., Pant, S., & Sharma, S. (2017). A Review on Generation of Electricity using Peltier Module. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 6(01), 453-457.
- Rera Aga Salihat. (2015). *Pengaruh Modifikasi Sel Fotovoltaik terhadap Kinerjanya dalam Menghasilkan Arus dan Tegangan dengan Sistem Larutan Elektrolit KI/KI3*. Universitas Andalas.
- Rifal, M., Dera, N. S., & Pido, R. (2020). Perancangan Prototype Hybrid Energi Antara Solar Cell dan Thermoelectric Generator (TEG). *Journal of Infrastructure and Science Engineering*, 3(2), 4-9.
- Rifky, & Gaos, Y. S. (2020). Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics (PV) dan Thermoelectric (TEC). *Teknobiz*, 10(1), 34-40.
- Rohit, G., Manaswini, D., Kotabavi, V., & S R, N. (2017). Performance Study of Thermoelectric Generator. *AIP Conference Proceedings*, 1859, 1-6. <https://doi.org/10.1063/1.4990247>
- Rokhimi, I. N., & Pujayanto. (2015). Alat Peraga Pembelajaran Laju Hantaran Kalor Konduksi. *Seminar Nasional Fisika Dan Pendidikan Fisika (SNFPF)*, 6(1), 270-274.
- Sayigh, A. (2017). *Photovoltaics for Sustainable Electricity and Buildings* (1st ed.). Brighton: Springer.
- Shittu, S., Li, G., Akhlaghi, Y. G., Ma, X., Zhao, X., & Ayodele, E. (2019). Advancements in Thermoelectric Generators for Enhanced Hybrid Photovoltaic System Performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109, 24-54. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.023>
- Shodiq, J. (2016). Simulasi Performa Photovoltaics Berbahan Nanokristalin SnO₂. In *Etheses University of Maulana Malik Ibrahim State Islamic*. Retrieved from <http://etheses.uin-malang.ac.id/id/eprint/5826>
- Soltani, S., Kasaeian, A., Sarrafha, H., & Wen, D. (2017). An Experimental Investigation of a Hybrid Photovoltaic/Thermoelectric System with Nanofluid Application. *Solar Energy*, 155, 1033-1043. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.06.069>
- Sripadmanabhan, S., Aravind, C., Chong, K., Saidur, R., Faizal, M., Abubakar, S., & Paiman, S. (2020). A Review on Various Configurations of Hybrid Concentrator Photovoltaic and Thermoelectric Generator System. *Solar Energy*, 201(February), 122-148. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.090>
- Staton, D. A., & Cavagnino, A. (2008). Convection Heat Transfer and Flow Calculations Suitable for Electric Machines Thermal Models. *Journal Industrial Electronics*, 55(10), 3509-3516. <https://doi.org/10.1109/TIE.2008.922604>
- Suwarti, Wahyono, & Prasetyo, B. (2018). Analisis Pengaruh

- Intensitas Matahari, Suhu Permukaan & Sudut Pengarah terhadap Kinerja Panel Surya. *Jurnal Teknik Energi*, 14(3), 78–85. <https://doi.org/http://dc.doi.org/10.32497/eksergi.v14i3.1373>
- Tritt, T. . (2002). Thermoelectric Materials: Principles, Structure, Properties, and Applications. In *Encyclopedia of Materials: Science and Technology* (pp. 1–11). <https://doi.org/10.1016/b0-08-043152-6/01822-2>
- Utama, A. C. (2019). Analisa Perbandingan Daya Output PLTS Menggunakan Pantulan Cahaya Kaca Cermin dan Cahaya Matahari Langsung. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Valter, G., & Elena, C. (2020). The Elusive Thomson Effect in Thermoelectric Devices. Experimental Investigation from 363 K to 213 K on Various Peltier Modules. *Metals*, 10(291). <https://doi.org/10.3390/met10020291>
- Xiang, B., Yuan, Y., Ji, Y., Cao, X., & Zhou, J. (2020). Thermal and Electrical Performance of a Novel Photovoltaic-Thermal Road. *Solar Energy*, 199, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.021>
- Xu, L., Li, S., Jiang, J., Liu, T., Wu, H., Wang, J., & Li, X. (2020). The Influence of Dust Deposition on the Temperature of Soiling Photovoltaic Glass Under Lighting and Windy Conditions. *Solar Energy*, 199, 491–496. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.036>
- Yin, E., & Li, Q. (2020). Unsteady-State Performance Comparison of Tandem Photovoltaic-Thermoelectric Hybrid System and Conventional Photovoltaic System. *Solar Energy*, 211, 147–157. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.09.049>
- Yin, E., Li, Q., & Xuan, Y. (2019). Experimental Optimization of Operating Conditions for Concentrating Photovoltaic-Thermoelectric Hybrid System. *Journal of Power Sources*, 422, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2019.03.034>
- Zhang, M., Tian, Y., Xie, H., Wu, Z., & Wang, Y. (2019). International Journal of Heat and Mass Transfer Influence of Thomson effect on the Thermoelectric Generator. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 137, 1183–1190. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.03.155>
- Zhang, X., Zhao, X., Smith, S., Xu, J., & Yu, X. (2012). Review of R & D Progress and Practical Application of the Solar Photovoltaic/Thermal (PV/T) Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 599–617. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.026>
- Zhou, D., & Chu-Ping, S. (2015). Study on Thermoelectric Material and Thermoelectric Generator. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(3), 395–401.