



Pengaruh Suhu Terhadap Kinerja Peltier Pada Pembangkit Listrik Tenaga Termoelektrik

Jaenal Gopur Asmanul Salam¹, Martina Kuncara², dan Egi Vani Nugraha³

¹Program Studi Informatika, Universitas Islam Al-Ihya Kuningan.

²Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam Al-Ihya Kuningan.

Jl. Mayasih No.11, Cigugur, Kuningan, Jawa Barat 45552

Email: bangzee567@gmail.com, martinakuncara1@gmail.com, egivaninugraha@gmail.com

Abstrak

Pemanfaatan modul Peltier sebagai pembangkit listrik tenaga termoelektrik masih jarang diaplikasikan, terutama pada sistem berskala kecil berbasis mikrokontroler. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi suhu, konfigurasi rangkaian, serta efektivitas modul Peltier tipe TEC-12706 sebagai pembangkit listrik termoelektrik. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan pengujian pada lima variasi suhu sisi panas, yaitu 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, dan 80 °C, serta dua jenis konfigurasi rangkaian, yaitu seri dan paralel. Sistem uji terdiri dari enam modul TEC-12706 yang dipasang menggunakan pelat penghantar tembaga untuk distribusi panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja keluaran daya. Konfigurasi seri menghasilkan daya maksimum pada suhu 70 °C dengan tegangan 4,08 V, arus 104,4 mA, dan daya keluaran 394,04 mW. Sementara itu, konfigurasi paralel menunjukkan rata-rata daya yang lebih stabil pada seluruh rentang pengujian dengan puncak daya 378,10 mW pada suhu 60–70 °C. Perhitungan efektivitas terhadap daya teoritis menunjukkan nilai konversi energi berkisar 2–3 %, sehingga modul Peltier tipe TEC-12706 lebih sesuai digunakan untuk aplikasi pembangkit daya rendah dibandingkan skala besar.

Kata kunci: Termoelektrik, Peltier, Pembangkit Listrik

Abstract

The utilization of Peltier modules as thermoelectric power generators is still rarely applied, particularly in small-scale systems based on microcontrollers. This study aims to analyze the effects of temperature variation, circuit configuration, and the effectiveness of the TEC-12706 Peltier module as a thermoelectric power generator. The experimental method was employed by testing five hot-side temperature variations, namely 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, and 80 °C, along with two types of circuit configurations: series and parallel. The test system consisted of six TEC-12706 modules mounted on copper plates for heat distribution. The results indicate that temperature significantly influences output power performance. The series configuration produced maximum power at 70 °C with a voltage of 4.08 V, a current of 104.4 mA, and an output power of 394.04 mW. Meanwhile, the parallel configuration showed more stable average power across the entire test range, with a peak power of 378.10 mW at 60–70 °C. The effectiveness calculation against theoretical power indicated an energy conversion rate of 2–3 %, suggesting that the TEC-12706 Peltier module is more suitable for low-power generation applications rather than large-scale systems.

Keywords: Thermoelectric, Peltier, Power Generation

Pendahuluan

Energi memainkan peran krusial dalam mendukung berbagai aktivitas ekonomi, baik dalam konteks konsumsi maupun produksi. Sebagai salah satu elemen utama dalam proses produksi, energi berfungsi sebagai input esensial yang mendukung operasional berbagai sektor industri dan manufaktur. Seiring dengan faktor produksi konvensional seperti tenaga kerja dan modal, energi menjadi komponen yang tidak dapat dipisahkan dalam menciptakan nilai tambah serta meningkatkan efisiensi dan kinerja saing ekonomi. Pemanfaatan energi yang optimal tidak hanya berkontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi, tetapi juga berdampak pada aspek keberlanjutan dan ketahanan energi dalam jangka panjang (Berlianto & Wijaya, 2022).

Data menunjukkan bahwa cadangan batu bara saat ini diperkirakan berkisar antara 7,3 hingga 8,3 miliar ton, dengan proyeksi habis pada tahun 2026 jika tingkat konsumsi tidak mengalami perubahan. Sementara itu, cadangan minyak bumi yang tersedia sekitar 3,7 miliar barel diprediksi akan habis pada tahun 2028. Adapun cadangan gas alam yang mencapai 151,33 triliun kaki kubik (*trillion cubic feet/TCF*) diperkirakan mampu bertahan hingga tahun 2067 (Afriyanti et al., 2018).

Dalam menghadapi tantangan keterbatasan energi fosil, berbagai teknologi konversi energi telah dikembangkan untuk mendukung sistem pembangkitan listrik dengan beragam skala dan kapasitas. Teknologi tersebut mencakup Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (*Geothermal*), energi berbasis biodiesel, serta berbagai sumber energi terbarukan lainnya. Namun, ketergantungan yang tinggi terhadap minyak bumi dalam sektor energi tidak dapat

dibiarkan berlanjut mengingat permintaan energi terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi, ekspansi sektor industri, serta perkembangan teknologi yang semakin canggih dan kompleks (Solikah & Bramastia, 2024).

Dominasi penggunaan bahan bakar minyak dalam bauran energi nasional harus segera diimbangi dengan strategi diversifikasi energi yang memanfaatkan potensi sumber kinerja yang tersedia secara optimal. Diversifikasi energi tidak hanya bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada minyak bumi tetapi juga untuk meningkatkan ketahanan energi dalam jangka panjang. Dalam upaya ini, perlu dilakukan analisis mendalam terkait pola konsumsi energi di berbagai sektor, jenis sumber kinerja energi alternatif yang dapat dioptimalkan, serta implementasi teknologi konversi energi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Selain itu, pemerataan akses energi di berbagai wilayah menjadi faktor penting untuk memastikan bahwa transisi energi yang berkelanjutan dapat berjalan secara adil dan merata di seluruh Indonesia (Solikah & Bramastia, 2024).

Dalam upaya diversifikasi dan transisi menuju energi yang lebih berkelanjutan, teknologi konversi energi terus berkembang, termasuk pemanfaatan termoelektrik generator (TEG) berbasis efek *Seebeck* sebagai sumber energi alternatif. *Peltier*, yang umumnya dikenal sebagai perangkat pendingin termoelektrik, dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dengan prinsip kerja di mana perbedaan suhu pada kedua ujung dua jenis logam atau semikonduktor menyebabkan pergerakan elektron yang menciptakan arus listrik. Teknologi ini memiliki potensi besar dalam pemanfaatan energi limbah panas (*waste heat recovery*), terutama di sektor industri dan transportasi yang masih bergantung pada

bahan bakar fosil. Dengan mengonversi panas yang terbuang dari proses pembakaran atau sistem pendinginan mesin menjadi energi listrik tambahan, termoelektrik generator dapat meningkatkan efisiensi energi. (T. A. Budi, 2019).

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini mengkaji mengenai teknologi Peltier yang berperan sebagai pembangkit listrik tenaga termoelektrik masih sangat jarang dilakukan dan diamati secara mendalam. Penelitian ini mengungkap mengenai peran suhu terhadap perubahan output listrik yang dihasilkan dan menganalisis efektifitas penggunaan peltier sebagai pembangkit listrik tenaga termoelektrik.

Metode Penelitian

Metode eksperimen digunakan dalam penelitian ini dengan tujuan menganalisis pengaruh suhu terhadap kinerja peltier sebagai pembangkit listrik tenaga termoelektrik.

Alat dan Bahan

1. Peltier Generator

Rangkaian peltier dalam penelitian ini dibuat menggunakan 6 buah peltier tipe TEC-12706 dengan rangkaian seri dan paralel. Penggunaan plat tembaga sebagai penyalur suhu yang mempunyai konduktivitas termal yang tinggi selanjutnya panas tersebut akan diterima oleh modul. Peltier generator yang akan dibuat disajikan dalam gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1 Peltier Generator

2. Vacuum Separator

Vacuum separator digunakan sebagai alat pengatur suhu yang akan di salurkan kepada media plat tembaga. Panas yang di dihasilkan vacuum separator diatur sesuai dengan instrumen yang ditentukan dalam penelitian ini. Adapun gambar dari vacuum separator yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2 Vacuum Separator

3. Multimeter

Penggunaan alat ukur yang akurat diperlukan dalam penelitian ini. Multimeter digunakan untuk mengukur daya keluaran yang dihasilkan dari rangkaian peltier dalam pengujian. Adapun multimeter yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3 Multimeter

4. Sensor Suhu Termokopel

Penggunaan sensor suhu termokopel dalam penelitian ini guna membaca perubahan suhu pada sisi plat tembaga dan modul peltier. Memastikan bahwa panas pada setiap komponen sesuai dengan instrumen yang dibuat.

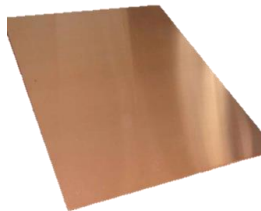
Adapun jenis termokopel yang digunakan disajikan pada gambar 4 sebagai berikut.



Gambar 4 Termokopel Tipe K

5. Plat Tembaga

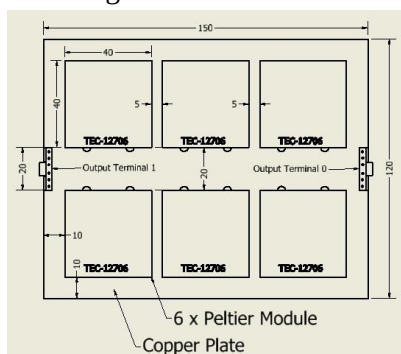
Plat tembaga digunakan sebagai media penyalur panas antara *vacuum* separator dan modul peltier. Plat tembaga yang digunakan memiliki dimensi 120mm x 150mm dengan ketebalan 1mm. Adapun plat tembaga yang digunakan dalam penelitian ini di sajikan pada gambar 5 sebagai berikut.



Gambar 5 Plat Tembaga

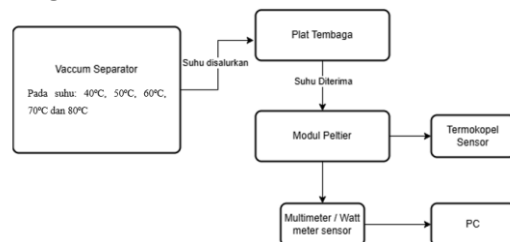
Skema Penelitian

Dalam melakukan pengujian daya keluaran yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga termoelektrik, peltier generator dilakukan perakitan dengan konfigurasi 6 buah modul peltier dan 2 terminal keluaran listrik dengan jarak antar modul 10mm dibuat seri dan paralel pada rangkaian modul peltier. Perakitan peltier generator direncanakan menggunakan skema yang disajikan pada gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6 Layout Peltier Generator

Pengujian peltier generator dalam penelitian ini dimulai dengan penetapan suhu uji yaitu pada suhu (40°C, 50°C, 60°C, 70°C dan 80°C) yang akan di amati daya listrik yang dihasilkan dan terkontrol oleh sensor termokopel untuk memastikan suhu pada *vacuum* dan plat tembaga sama. Pengambilan data dilakukan ketika suhu pada *vacuum* separator dan plat tembaga setimbang. Adapun skema pengujian peltier generator pada penelitian ini disajikan pada gambar 7 sebagai berikut.



Gambar 7 Skema Pengujian Peltier Generator

Teknik Analisis Data

Penelitian ini menerapkan metode analisis data deskriptif, di mana hasil yang diperoleh disajikan dalam bentuk grafik dan tabel hasil pengujian. Data yang dikumpulkan kemudian dianalisis secara sistematis guna mengevaluasi serta memahami pengaruh suhu terhadap daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga termoelektrik.

Hasil dan Pembahasan

Prototipe pembangkit listrik termoelektrik berhasil direalisasikan sebagaimana skema perancangan awal. Sistem ini memanfaatkan enam modul termoelektrik tipe TEC-12706 yang dikonfigurasi secara seri-paralel dan dipasang pada pelat penghantar panas berbahan tembaga. Seluruh parameter operasi (tegangan, arus dan daya) dipantau dan diukur menggunakan multimeter. Proses pengujian disajikan pada gambar 8.



Gambar 8 Proses pengujian berdasarkan suhu

Pengaruh Suhu Terhadap Kinerja Peltier Pada Pembangkit Listrik Tenaga Termoelektrik

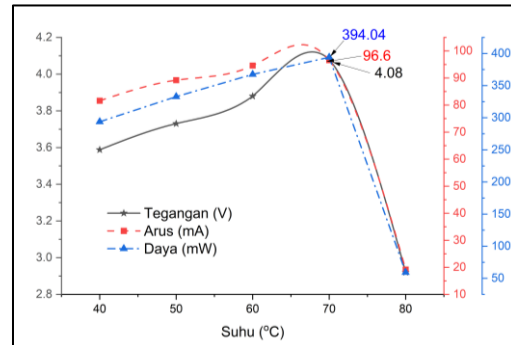
Pengujian dilakukan untuk mengetahui sejauh mana suhu memengaruhi kinerja modul Peltier TEC-12706 dalam menghasilkan energi listrik. Parameter yang diamati meliputi tegangan (V), arus (mA), dan daya listrik (mW), dengan dua konfigurasi rangkaian yaitu seri dan paralel.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kenaikan suhu berpengaruh positif terhadap peningkatan tegangan, arus, dan daya listrik yang dihasilkan oleh modul Peltier, baik dalam konfigurasi seri maupun paralel. Nilai daya tertinggi dicapai pada suhu 70°C, dan setelah melewati titik tersebut, yakni pada suhu 80°C, terjadi penurunan kinerja yang signifikan. Hal ini menandakan adanya batas suhu optimum modul Peltier dalam menghasilkan listrik secara efisien.

1. Konfigurasi Seri

Pada rangkaian seri yang disajikan pada gambar 9 menunjukkan peningkatan tegangan yang lebih signifikan, mulai dari 3,588 V hingga 4,08 V. Arus output relatif lebih kecil dibanding konfigurasi paralel, namun tetap meningkat seiring kenaikan suhu. Daya maksimum tertinggi tercatat sebesar 394,04 mW pada suhu 70°C menjadi nilai daya tertinggi sepanjang pengujian. Namun demikian, performa sistem juga mengalami

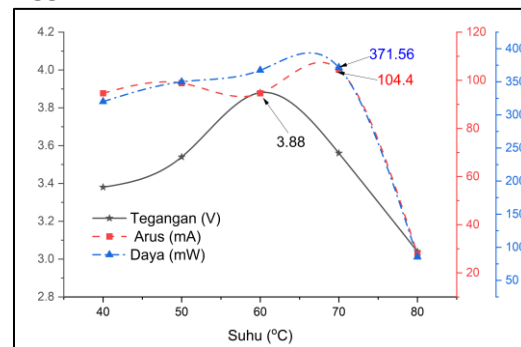
penurunan yang cukup drastis pada suhu 80°C, dengan daya hanya 59,16 mW.



Gambar 9 Pengujian pada Rangkaian Seri

2. Konfigurasi Paralel

Pada gambar 10 menunjukkan konfigurasi paralel, tegangan output berkisar antara 3,38 V hingga 3,62 V, dengan nilai arus tertinggi tercatat sebesar 104,4 mA pada suhu 70°C. Daya maksimum yang dihasilkan mencapai 371,56 mW pada suhu yang sama. Pola ini mengindikasikan bahwa konfigurasi paralel cenderung mengandalkan arus besar sebagai kontributor utama peningkatan daya. Namun, pada suhu 80°C, performa sistem menurun drastis, dengan daya hanya mencapai 85,2 mW, menunjukkan keterbatasan termal modul terhadap suhu tinggi.

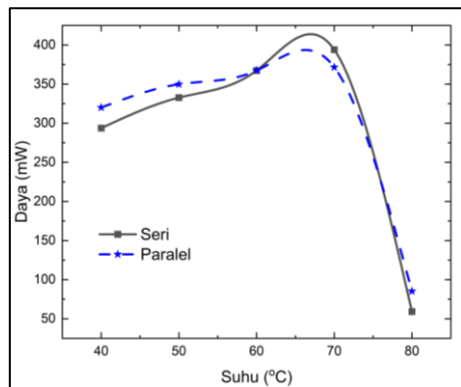


Gambar 10 Pengujian pada Rangkaian Paralel

Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa suhu berpengaruh terhadap kinerja pembangkit listrik tenaga termoelektrik. Modul Peltier efektif digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga

termoelektrik dalam rentang suhu 40°C–70°C, dengan kinerja optimal pada suhu 70°C. Konfigurasi paralel lebih unggul pada suhu rendah hingga sedang karena menghasilkan arus besar, sedangkan konfigurasi seri lebih efektif pada suhu tinggi karena mampu menghasilkan tegangan yang lebih besar. Akan tetapi, pada suhu ekstrem (di atas 70°C), kedua konfigurasi mengalami penurunan efisiensi secara signifikan, yang menunjukkan batas termal operasional dari material Peltier TEC-12706.

Pengaruh Jenis Rangkaian Terhadap Kinerja Pada Pembangkit Listrik Tenaga Termoelektrik



Gambar 11 Pengaruh jenis rangkaian terhadap kinerja termoelektrik

Gambar 11 adalah perbandingan daya keluaran (mW) modul termoelektrik TEC-12706 yang disusun dalam dua konfigurasi rangkaian, yaitu seri dan paralel, terhadap variasi suhu sumber panas (40 °C–80 °C). Parameter daya dipilih sebagai representasi utama kinerja konversi energi termoelektrik karena merupakan hasil langsung dari kombinasi tegangan dan arus.

1. Performa pada Rentang Suhu sedang (40 °C–60 °C)

Pada suhu 40 °C hingga 60 °C, konfigurasi paralel menunjukkan performa daya sedikit lebih tinggi dibandingkan rangkaian seri. Pada 40 °C daya keluaran paralel mencapai 320 mW, sedangkan seri sekitar 294 mW. Pola ini berlanjut hingga

60 °C, di mana paralel mempertahankan daya tertinggi 378 mW dibanding seri 367 mW. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh karakteristik rangkaian paralel (Desi et al., 2024) yang memungkinkan arus lebih besar pada beban yang sama, sehingga meskipun tegangan yang dihasilkan relatif lebih rendah, daya ($P = V \times I$) tetap meningkat. Kondisi ini membuat konfigurasi paralel lebih sesuai pada perbedaan suhu yang relatif kecil–menengah karena mampu memaksimalkan keluaran arus dari masing-masing modul.

2. Performa pada Suhu Tinggi (70 °C)

Puncak kinerja terjadi pada suhu 70 °C untuk kedua konfigurasi. Rangkaian seri menghasilkan daya maksimum sebesar 394 mW, sedangkan paralel mencapai 372 mW. Pergeseran dominasi dari paralel ke seri pada suhu ini berkaitan dengan peningkatan gradien suhu pada sisi panas dan dingin modul Peltier. Pada kondisi tersebut, efek *Seebeck* (Budi & Susanto, 2019) menghasilkan tegangan yang lebih besar, dan konfigurasi seri dapat memanfaatkan tegangan tinggi ini secara optimal karena total tegangan merupakan penjumlahan dari setiap modul. Hasil ini menunjukkan bahwa pada perbedaan temperatur yang besar, rangkaian seri lebih efisien untuk meningkatkan konversi energi listrik, karena tegangan tinggi menjadi faktor dominan.

Pada suhu 80 °C, daya keluaran kedua konfigurasi menurun tajam. Rangkaian seri hanya menghasilkan 59 mW, sedangkan paralel 85 mW. Penurunan drastis ini mengindikasikan bahwa modul termoelektrik TEC-12706 memiliki batas termal pada gradien suhu tinggi (Latif et al., 2015), yang dapat menyebabkan degradasi internal material semikonduktor, penurunan konduktivitas termal, atau bahkan kebocoran panas pada sambungan modul.

Pada titik suhu ini, konfigurasi paralel mampu mempertahankan daya sedikit lebih

tinggi dibanding seri. Hal ini disebabkan paralel masih dapat menjaga arus total yang relatif besar meskipun tegangan turun signifikan, sedangkan pada konfigurasi seri, penurunan kinerja satu modul berdampak langsung pada seluruh rangkaian.

Efektivitas Penggunaan Peltier Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Termoelektrik

Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul Peltier TEC-12706 memiliki rentang kerja optimal pada suhu 40 °C–70 °C. Pada rentang ini, konversi energi panas ke energi listrik mencapai efektivitas mendekati 3 % dari daya teoritis maksimum. Berdasarkan spesifikasi, daya maksimum praktis TEC-12706 sebagai generator diperkirakan sekitar 2 W per modul pada ΔT optimum (Taylor & Francis, 2006). Dengan 6 modul yang digunakan, maka:

$$P_{maks} = 6 (\text{Jumlah modul uji}) \times 2W \\ = 12 W$$

Maka, perhitungan pada suhu 70°C dengan konfigurasi seri, data aktual tercatat (394mW) efektifitas dihitung sebagai:

$$\eta_{seri} = \frac{0.394}{12} \times 100\% = 3.28\%$$

Untuk konfigurasi paralel pada suhu 60°C dengan daya maksimum 0.379W:

$$\eta_{paralel} = \frac{0.394}{12} \times 100\% = 3.15\%$$

Berdasarkan perhitungan di atas, seluruh data digunakan untuk mengetahui tingkat efisiensi yang dimiliki pada setiap suhu uji. Adapun data tersebut ditunjukkan pada tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1 Efisiensi peltier sebagai pembangkit listrik

Suhu (°C)	Daya Seri (mW)	Efektivitas Seri (%)	Daya Paralel (mW)	Efektivitas Paralel (%)
40	293.76	2.45	320.04	2.67
50	332.74	2.77	349.84	2.92
60	367.44	3.06	378.1	3.15
70	394.04	3.28	371.56	3.1
80	59.16	0.49	85.2	0.71

Pada suhu rendah hingga sedang (40–60 °C), konfigurasi paralel menunjukkan efektivitas lebih tinggi karena arus keluaran besar menjadi kontributor utama peningkatan daya meskipun tegangan relatif rendah. Sebaliknya, pada suhu tinggi 70°C, konfigurasi seri lebih efektif karena mampu memanfaatkan tegangan tinggi yang dihasilkan oleh efek *Seebeck* pada gradien suhu besar. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan jenis rangkaian sangat memengaruhi efektivitas Peltier sesuai dengan kondisi sumber panas.

Pada suhu 80°C, baik konfigurasi seri maupun paralel mengalami penurunan efektivitas signifikan. Efektivitas seri hanya 0,49 % dan paralel 0,71 %. Fenomena ini mengindikasikan adanya batas termal modul TEC-12706, di mana perbedaan temperatur terlalu besar menyebabkan degradasi konversi energi akibat penurunan kestabilan material semikonduktor dan kebocoran panas pada sambungan modul. Hal ini penting untuk dipertimbangkan dalam aplikasi nyata agar sistem termoelektrik tidak dioperasikan di atas suhu optimum. Dengan efektivitas maksimum sekitar 3 %, Peltier TEC-12706 dapat dikategorikan sebagai pembangkit listrik daya rendah.

Kesimpulan

Penelitian mengenai pengaruh suhu terhadap pembangkit listrik tenaga termoelektrik mempunyai kesimpulan sebagai berikut.

1. Suhu berpengaruh terhadap kinerja peltier pada pembangkit listrik tenaga termoelektrik. Semakin besar suhu semakin besar output listrik yang dihasilkan, namun memiliki batas suhu tertentu yaitu pada suhu 80°C.
2. Jenis rangkaian berpengaruh terhadap kinerja pada pembangkit listrik tenaga termoelektrik. Rangkaian seri memberikan pengaruh terhadap nilai tegangan yang dihasilkan, sementara

rangkaian paralel memberikan pengaruh terhadap arus listrik yang dihasilkan pada pengujian.

3. Efektivitas peltier masih kecil yaitu pada nilai efisiensi 2-3% berdasarkan pengujian yang dilakukan. Peltier dapat digunakan sebagai pembangkit listrik dengan output daya yang kecil.

- Solikhah, A. A., & Bramastia, B. (2024). Systematic Literature Review : Kajian Potensi dan Pemanfaatan Sumber Daya Energi Baru dan Terbarukan Di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 5(1), 27–43.
<https://doi.org/10.14710/jebt.2024.21742>
- Taylor, & Francis, G. (2006). *Thermoelectric Handbook, Macro to Nano* (D. . Rowe (ed.)). CRC Press.

Bibliografi

- Afriyanti, Y., Sasana, H., & Jalunggono, G. (2018). Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Konsumsi Energi Terbarukan Di Indonesia. *DINAMIC: Directory Journal of Economic*, 2(3), 865–884.
- Berlianto, D. M. F., & Wijaya, R. S. (2022). Pengaruh transisi konsumsi energi fosil menuju energi baru terbarukan terhadap produk domestik bruto di Indonesia. *E-Jurnal Perspektif Ekonomi Dan Pembangunan Daerah*, 11(2), 105–112.
<https://doi.org/10.22437/pdpd.v11i2.17944>
- Budi, T. A. (2019). *Rancang Bangun Thermoelectric Generator Sebagai Sumber Arus Listrik Pada Alat Pemanggang*. Institut Bisnis dan Informatika SYIKOM Surabaya.
- Budi, T. A. S., & Susanto, P. (2019). Rancang Bangun Thermoelectric Generator Sebagai Sumber Arus Listrik Pada Alat Pemanggang. *Musayyanah JCONES*, 8(2), 144.
<http://jurnal.stikom.edu/index.php/jcone>
- Desi, Z., Chorunni'mah, V. A., Alfarisi, M. S. R. S., Kartikasari, R. I., Ambarwati, V. D., & Ratnasari, Y. (2024). Analisis Pemahaman Konsep Rangkaian Seri Dan Paralel Melalui Praktikum Sederhana. *Jurnal of Science Education*, 4(2), 599–609.
<https://doi.org/10.52562/biocephphy.v4i2.1213>
- Latif, M., Hayati, N., & Dinata, U. G. S. (2015). Potensi Energi Listrik Pada Gas Buang Sepeda Motor. *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, 11(5), 163.
<https://doi.org/10.17529/jre.v11i5.2957>