KAJIAN DAYA KELUARAN PROTOTIPE *THERMOELECTRIC GENERATOR* (TEG) DALAM MEMANFAATKAN PANAS ASPAL MELALUI VARIASI KETEBALAN *COPPER PLATE* SEBAGAI KONDUKTOR PANAS

STUDY OF THE POWER OUTPUT OF A THERMOELECTRIC GENERATOR (TEG) PROTOTYPE IN UTILIZING ASPHALT HEAT THROUGH VARIATIONS IN COPPER PLATE THICKNESS AS A HEAT CONDUCTOR

Ike Bayusari[1)*], Anggun Ismeriyanti Putri[1)], Ayu Soraya[2)], Caroline[1)], Hermawati[1)], Rahmawati[1)]
[1)]Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
Jl. Palembang-Prabumulih KM 32, Indralaya, Kab. Ogan Ilir 30662, Indonesia
[2)]Jurusan Manajemen Informatika, Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar Palembang 30139, Indonesia
[*]email corresponding: ikebayusari@ft.unsri.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Diperbaiki:
Revised
04/05/2026

Diterima:
Accepted
01/06/2026

Publikasi Online:
Online-Published
03/06/2026

©2026 The Authors. Published by AUSTENIT (Indexed in SINTA)

doi:

10.36257/austenit.v18i1.11892

ABSTRAK

Aspal sebagai elemen infrastruktur menyerap panas matahari dan berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan melalui teknologi Thermoelectric Generator (TEG), yang mengubah perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Penelitian ini mengkaji kinerja TEG dengan penambahan pelat tembaga sebagai penghantar panas berkonduktivitas tinggi, dengan variasi ketebalan 1 mm, 2 mm, dan 3 mm. Nilai rata-rata tertinggi dari ΔT, tegangan, arus, dan daya keluaran dari prototipe dengan ketebalan pelat tembaga 1 mm secara berturut-turut, yaitu 6,12 °C, 0,349 V, 2,973 mA, dan 1,037 mW. Untuk prototipe dengan ketebalan pelat tembaga 2 mm secara berturut-turut, yaitu 7,39 °C, 294 mV, dan 3,196 mA, dan 0,939 mW. Dan untuk prototipe dengan ketebalan pelat tembaga 3 mm secara berturut-turut, yaitu 7,56 °C, 363 mV, dan 1,928 mA dan 0,699 mW. Hasil menunjukkan, pelat tembaga 2 mm merupakan konfigurasi paling optimal dalam mendukung kinerja TEG tanpa menimbulkan resistansi termal yang berlebihan, sehingga menghasilkan arus listrik serta daya keluaran tertinggi secara keseluruhan

***Kata Kunci** : Aspal, Copper Plate, Thermoelectric Generator*

ABSTRACT

Asphalt, as a key infrastructure element, absorbs solar heat and can be utilized as a renewable energy source through Thermoelectric Generator (TEG) technology, which converts temperature differences into electrical energy. This study evaluates the performance of a TEG system equipped with copper plates high thermal conductivity heat conductors with varying thicknesses of 1 mm, 2 mm, and 3 mm. The highest average values of ΔT, voltage, current, and output power for the 1 mm copper plate were 6.12 °C, 349 mV, 2.973 A, and 1037.58 mW, respectively. For the 2 mm plate, the values were 7.39 °C, 294 mV, 3.196 mA, and 939.62 mW, while the 3 mm plate yielded 7.56 °C, 363 mV, 1.928 A, and 699.86 mW. The results suggest that the 2 mm copper plate provides the most optimal configuration to enhance TEG performance without inducing excessive thermal resistance, thereby delivering the highest overall current and power output.

***Keywords** : Asphalt, Copper Plate, Thermoelectric Generator*

1 PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik global mengalami peningkatan yang signifikan seiring dengan perkembangan teknologi dan industrialisasi. Namun, ketergantungan terhadap energi fosil sebagai sumber utama pembangkit listrik masih sangat tinggi. Energi fosil bersifat tidak terbarukan serta menghasilkan emisi gas efek rumah kaca yang dapat berpengaruh terhadap perubahan iklim secara global. Oleh sebab itu, pengembangan sumber energi terbarukan merupakan prioritas utama dalam mendukung keberlanjutan energi (Wibowo, 2024).

Salah satu pendekatan yang berkembang adalah pemanfaatan energi panas terbuang (*waste heat recovery*) menjadi energi listrik (Kurniasetiawati & Prasetyo, 2024). Teknologi *thermoelectric generator* (TEG) merupakan salah satu metode yang menjanjikan karena mampu mengonversi perbedaan temperatur secara langsung menjadi energi listrik melalui efek peltier (Saputra et al., 2023). Keunggulan TEG meliputi tidak adanya bagian bergerak, minim perawatan, ramah lingkungan, serta fleksibilitas dalam pemanfaatan berbagai sumber panas (Wirawan, 2021).

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian terkait TEG semakin berkembang, terutama pada aplikasi sumber panas suhu rendah hingga menengah seperti panas buangan industri, knalpot kendaraan, dan radiasi matahari (Sukendar et al., 2025). Salah satu sumber panas yang memiliki potensi besar namun belum dimanfaatkan secara optimal adalah panas yang diserap oleh permukaan aspal jalan (Digdoyo et al., 2021).

Beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pemanfaatan panas aspal menggunakan modul TEG dapat menghasilkan energi listrik dalam skala kecil. Studi oleh Mona et al. (Mona et al., 2021) menunjukkan bahwa aspal memiliki kemampuan penyerapan panas yang lebih tinggi dibandingkan beton, sehingga menghasilkan perbedaan temperatur yang lebih besar pada modul TEG. Perbedaan temperatur ini merupakan faktor utama dalam meningkatkan tegangan keluaran sistem *thermoelectric* (Jayaningsih et al., 2025).

Untuk meningkatkan efisiensi sistem TEG, diperlukan material konduktor yang mampu menghantarkan panas secara efektif dari sumber panas ke modul TEG. Tembaga (*copper*) merupakan salah satu material yang banyak digunakan. Hal ini disebabkan oleh konduktivitas termalnya yang tinggi, yaitu sekitar 385 W/m K (Bergman et al., 2011). Dengan sifat tersebut, tembaga mampu mempercepat proses perpindahan panas melalui mekanisme konduksi.

Namun, efektivitas perpindahan panas tidak hanya ditentukan oleh jenis material, tetapi juga oleh dimensi geometrinya, khususnya ketebalan material. Dalam teori perpindahan panas, ketebalan material berbanding lurus dengan resistansi termal, dimana semakin tebal material, maka hambatan terhadap aliran panas akan semakin besar (Mukmin et al., 2024). Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan ketebalan pelat tembaga menjadi parameter penting dalam menentukan kinerja sistem TEG.

Penelitian sebelumnya oleh Maulana (Maulana, 2022) menunjukkan bahwa penggunaan pelat tembaga dalam sistem TEG berbasis aspal mampu meningkatkan daya keluaran, namun kajian tersebut lebih berfokus pada kedalaman pemasangan pelat, bukan pada variasi ketebalannya. Sementara itu, studi lain oleh Ardiansyah (Ardiansyah & Irawan, 2021) menekankan pentingnya konfigurasi rangkaian TEG dalam meningkatkan tegangan keluaran, dimana konfigurasi seri memberikan hasil yang lebih optimal dibandingkan paralel.

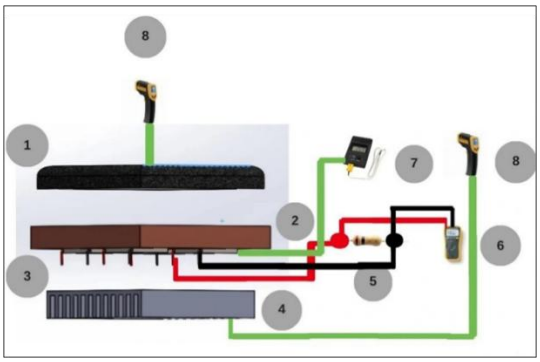
Meskipun demikian, kajian mengenai pengaruh ketebalan pelat tembaga terhadap performa TEG, khususnya dalam pemanfaatan panas aspal, masih terbatas. Disisi lain, parameter ini memiliki peran penting dalam menentukan keseimbangan antara laju perpindahan panas dan distribusi temperatur pada sistem. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi ketebalan pelat tembaga terhadap daya keluaran TEG yang memanfaatkan panas aspal sebagai sumber energi. Dengan pendekatan eksperimen, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem konversi energi berbasis TEG yang lebih efisien dan aplikatif, khususnya dalam pemanfaatan sumber energi panas yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal.

2. BAHAN DAN METODA

Penelitian dimulai dari perancangan, pembuatan serta pengujian prototipe, dan dilanjutkan dengan pengambilan data yang dilakukan di Departemen Teknik Elektro Universitas Sriwijaya. Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur, konsultasi dan diskusi, proses desain dan pembuatan alat, pengumpulan data, dan terakhir pengolahan data. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan merancang tiga prototipe TEG yang masing-masing menggunakan pelat tembaga (*copper plate*) dengan ketebalan 1 mm, 2 mm, dan 3 mm sebagai media penghantar panas. Setiap prototipe dipasang langsung pada permukaan aspal untuk memanfaatkan panas yang diserap oleh aspal dari radiasi matahari. Data suhu pada sisi panas dan sisi dingin TEG diukur menggunakan termokopel tipe K dan thermal gun, sedangkan tegangan dan arus keluaran diukur menggunakan multimeter digital.

Tiga variasi ketebalan pelat tembaga (*copper plate*), yaitu 1 mm, 2 mm, dan 3 mm. Masing-masing prototipe akan ditempatkan pada sebuah wadah kayu dengan tiang setinggi 10 cm. Ketiga prototipe memiliki rangkaian *Thermoelectric Generator* (TEG) yang sama, yaitu dirangkai secara seri lalu dihubungkan ke beban resistor sebesar 1 ohm.

Ketiga prototipe ini akan diukur nilai panas aspal, besar tegangan dan arus, nilai temperatur sisi panas (*hot side*) dari TEG, dan nilai temperatur sisi dingin (*cool side*) dari TEG. Nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh ketiga prototipe selanjutnya akan digunakan untuk menghitung daya keluarannya



Gambar 1. Skematik Alat Pengujian

Gambar 1 menunjukkan gambar skematik alat pengujian dengan keterangan: (1) Aspal *cold mix*, (2) Pelat tembaga, (3) modul TEG, (4) *Heatsink*, (5) Resistor 1 ohm, (6) Multimeter, (7) Termokopel tipe k, (8) *Thermal gun*. TEG yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe SP1848-27145 SA. Heatsink yang digunakan pada penelitian ini menggunakan material aluminium berukuran 15 cm × 15 cm × 3,5 cm, serta pelat tembaga dengan ukuran 15 cm × 15 cm. TEG diletakkan pada bagian bawah aspal *cold mix* bertujuan untuk menciptakan selisih suhu yang lebih terkontrol karena pada sisi panas tepat pada sisi aspal, dan sisi dingin terletak pada sisi *heatsink*.

Pengukuran temperatur aspal menggunakan *thermal gun* yang ditunjukkan pada nomor 8 yang terlihat pada gambar 1, pengukuran temperatur sisi panas (*hot side*) TEG menggunakan termokopel tipe K yang ditunjukkan pada nomor 7 yang terlihat pada gambar 1, temperatur pada sisi dingin (*cool side*) TEG menggunakan *thermal gun* yang ditunjukkan pada nomor 4 yang terlihat pada gambar 1, serta pengukuran tegangan dan arus menggunakan multimeter.

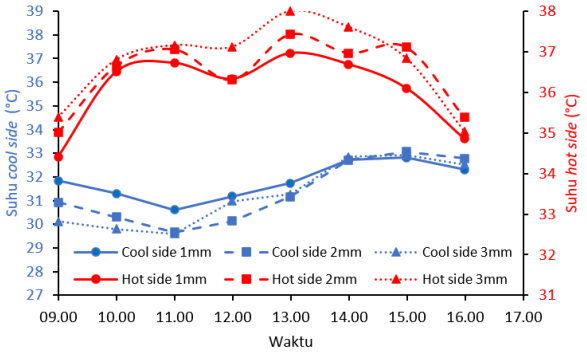
Terdapat persamaan yang digunakan dalam perhitungan daya keluaran TEG. Pada TEG daya keluaran yang dihasilkan adalah DC (*Direct Current*) atau arus searah. Oleh karena itu, cos φ = 1. Daya keluaran prototipe akan dihitung dengan data tegangan dan arus tertinggi, yaitu sebagai berikut (Muharnif et al., 2022).

$$P = V \times I \times \cos \varphi \quad (1)$$

Di mana, P adalah Daya aktif (watt), V adalah Tegangan (volt), I adalah Arus (ampere), dan $\cos \varphi$ adalah Faktor Daya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan dengan mengukur berbagai parameter, antara lain panas aspal (°C), temperatur sisi panas (*hot side*) dan temperatur sisi dingin (*cool side*) TEG (°C), tegangan (V), dan arus (A). Proses pengambilan data dilakukan selama sepuluh hari pada kondisi yang sama pada setiap jam, dimulai dari pukul 09.00 WIB hingga 16.00 WIB.

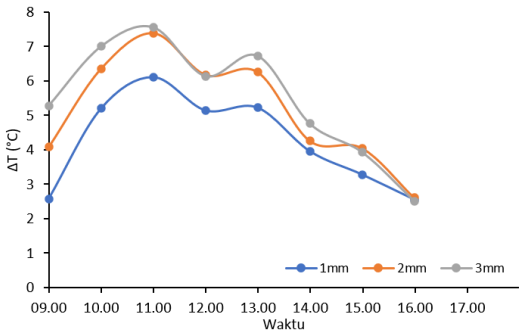


Gambar 2. Perbandingan Suhu terhadap Waktu pada Sisi Panas dan Sisi Dingin TEG

Berdasarkan Gambar 2, prototipe dengan pelat tembaga setebal 3 mm menunjukkan temperatur sisi panas yang cenderung paling tinggi dan relatif lebih stabil dibandingkan variasi ketebalan 1 mm dan 2 mm. Fenomena ini mengindikasikan bahwa pelat tembaga 3 mm memiliki kapasitas termal yang lebih besar, sehingga mampu menyerap dan mempertahankan energi panas lebih lama sebelum dilepaskan ke lingkungan. Sebaliknya, pelat tembaga 1 mm memperlihatkan respons termal yang lebih cepat, yaitu lebih mudah mengalami kenaikan suhu pada tahap awal pemanasan, tetapi juga lebih cepat kehilangan panas sehingga kestabilan temperaturnya lebih rendah.

Pada sisi dingin, temperatur terendah tercatat pada prototipe dengan ketebalan pelat 3 mm, yaitu sebesar 29,60 °C, disusul oleh ketebalan 2 mm sebesar 29,67 °C, dan ketebalan 1 mm sebesar 30,60 °C, yang seluruhnya terjadi pada pukul 11.00 WIB. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan pelat tembaga tidak hanya berpengaruh terhadap kemampuan menghantarkan panas ke sisi panas, tetapi juga berkontribusi terhadap pemeliharaan gradien temperatur antara sisi panas dan sisi dingin. Dalam konteks kinerja *thermoelectric generator* (TEG), kondisi tersebut menjadi penting karena perbedaan

temperatur yang lebih baik berpotensi meningkatkan tegangan dan daya keluaran sistem.



Gambar 3. Perbandingan Beda Suhu terhadap Waktu pada Variasi Ketebalan Pelat

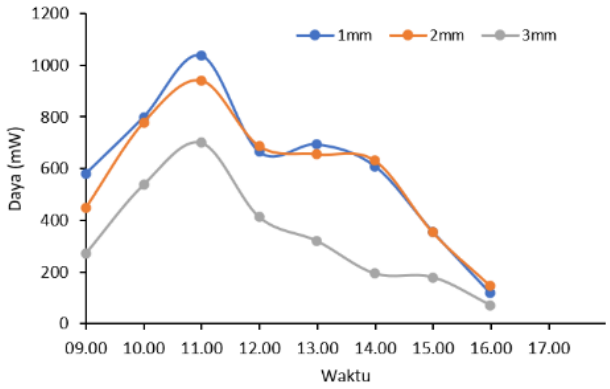
Berdasarkan Gambar 3, prototipe dengan pelat tembaga setebal 3 mm menunjukkan nilai perbedaan temperatur (ΔT) tertinggi, yaitu sebesar 7,56 °C pada pukul 11.00 WIB. Temuan ini menunjukkan bahwa penambahan ketebalan pelat tembaga berperan dalam meningkatkan kemampuan penyerapan, penyebaran, dan penyimpanan panas pada sisi panas secara lebih stabil, sehingga gradien temperatur antara sisi panas dan sisi dingin dapat dipertahankan pada nilai yang lebih besar. Perlu dicatat bahwa karena material yang digunakan sama, yaitu tembaga, perbedaan kinerja tersebut bukan terutama disebabkan oleh perubahan sifat konduktivitas termal intrinsik, melainkan oleh pengaruh ketebalan pelat terhadap kapasitas termal, jalur aliran panas, dan kestabilan transfer panas selama proses pengujian. Selain itu, efektivitas heatsink pada sisi dingin turut mendukung pembentukan ΔT yang lebih tinggi dengan membantu pelepasan panas secara konsisten, sehingga temperatur sisi dingin tetap lebih rendah. Dalam sistem TEG, peningkatan ΔT ini sangat penting karena semakin besar perbedaan temperatur yang terbentuk, semakin besar pula potensi tegangan dan daya keluaran yang dapat dihasilkan oleh modul TEG.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus

No.	Jam (WIB)	1mm		2mm		3mm	
		Tegangan (mV)	Arus (mA)	Tegangan (mV)	Arus (mA)	Tegangan (mV)	Arus (mA)
1	09.00	253	2,293	215	2,081	286	0,943
2	10.00	290	2,755	253	3,071	327	1,642
3	11.00	349	2,973	294	3,196	363	1,928
4	12.00	271	2,454	239	2,872	296	1,394
5	13.00	287	2,417	226	2,899	305	1,047
6	14.00	264	2,308	230	2,740	264	0,733
7	15.00	205	1,736	176	2,009	223	0,805
8	16.00	120	0,978	105	1,392	128	0,556

Berdasarkan tabel 1 diperoleh data hasil pengukuran Tegangan serta Arus pada berbagai macam ketebalan pelat dalam rentang waktu 9.00 hingga 16.00. Berdasarkan tabel pengamatan, ketiga prototipe menunjukkan pola keluaran listrik yang serupa, yakni tegangan dan arus cenderung meningkat dari pukul 09.00 hingga mencapai nilai puncak pada pukul 11.00 WIB, kemudian menurun secara bertahap hingga pukul 16.00 WIB. Pada pukul 11.00 WIB, prototipe 1 mm menghasilkan tegangan sebesar 349 mV dan arus 2,973 mA, prototipe 2 mm menghasilkan tegangan 294 mV dan arus 3,196 mA, sedangkan prototipe 3 mm menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 363 mV dengan arus 1,928 mA. Hasil ini menunjukkan bahwa ketebalan pelat tembaga memberikan pengaruh yang berbeda terhadap karakteristik keluaran listrik TEG, di mana pelat 3 mm cenderung menghasilkan tegangan lebih tinggi, namun arusnya relatif lebih rendah, sedangkan pelat 2 mm memperlihatkan kemampuan menghasilkan arus yang lebih besar walaupun tegangannya lebih rendah. Sementara itu, prototipe 1 mm menunjukkan keseimbangan yang cukup baik antara tegangan dan arus, sehingga menghasilkan daya sesaat terbesar pada pukul 11.00 WIB, yaitu sekitar 1037,58 mW, dibandingkan prototipe 2 mm sebesar 939,62 mW dan prototipe 3 mm sebesar 699,86 mW. Dengan demikian, dapat dipahami bahwa kinerja TEG tidak hanya ditentukan oleh besarnya tegangan yang dihasilkan, tetapi juga oleh nilai arus yang terbentuk, sehingga evaluasi performa sistem harus mempertimbangkan hubungan simultan antara tegangan, arus, dan daya keluaran.

Berdasarkan Gambar 6, seluruh prototipe menunjukkan nilai daya maksimum pada pukul 11.00 WIB, yang mengindikasikan bahwa pada waktu tersebut kondisi termal sistem berada pada titik paling optimal untuk menghasilkan keluaran listrik dari modul TEG. Prototipe dengan pelat tembaga 1 mm menghasilkan daya tertinggi, yaitu sebesar 1037,58 mW, diikuti oleh prototipe 2 mm sebesar 939,62 mW, dan prototipe 3 mm sebesar 699,864 mW.



Gambar 6. Perbandingan Daya terhadap Waktu pada Variasi Ketebalan Pelat

Temuan ini menunjukkan bahwa ketebalan pelat tembaga memberikan pengaruh nyata terhadap karakteristik keluaran daya. Pelat 1 mm cenderung mampu merespons pemanasan lebih cepat sehingga menghasilkan puncak daya yang lebih tinggi pada saat tertentu, namun pola dayanya juga lebih fluktuatif. Sebaliknya, prototipe 2 mm memperlihatkan profil daya yang relatif lebih stabil sepanjang periode pengamatan, sehingga dapat diinterpretasikan memiliki keseimbangan yang lebih baik antara respons pemanasan dan kestabilan transfer panas.

Sementara itu, prototipe 3 mm menghasilkan daya paling rendah, yang mengindikasikan bahwa ketebalan yang lebih besar tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan daya keluaran. Dengan demikian, dapat dipahami bahwa daya keluaran TEG tidak hanya ditentukan oleh besar kecilnya selisih temperatur (ΔT), tetapi juga oleh dinamika perpindahan panas yang dipengaruhi oleh ketebalan pelat tembaga sebagai penghantar panas, karena faktor tersebut akan menentukan seberapa efektif energi termal dapat dikonversi menjadi energi listrik.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini melibatkan pembuatan prototipe TEG untuk pemanfaatan panas aspal dengan variasi ketebalan pelat tembaga 1 mm, 2 mm, dan 3 mm, menggunakan empat unit TEG SP1848-27145 SA, *heatsink* berukuran 15 cm × 15 cm × 3,5 cm, pelat tembaga 15 cm × 15 cm, serta isolasi termal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa prototipe dengan pelat 1 mm menghasilkan daya tertinggi sebesar 1037,58 mW dan tegangan maksimum 349 mV, sedangkan pelat 2 mm menghasilkan arus tertinggi 3,196 mA dan menunjukkan kestabilan performa terbaik dengan daya 939,624 mW. Meskipun pelat 3 mm memiliki selisih temperatur (ΔT) tertinggi sebesar 7,56 °C dan tegangan 363 mV, arusnya justru menurun menjadi 1,928 mA akibat resistansi termal yang meningkat. Secara keseluruhan, pelat tembaga dengan ketebalan 2 mm dinilai paling optimal dalam menghasilkan daya listrik dari panas permukaan aspal secara efisien dan stabil.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ardiansyah, I., & Irawan, R. (2021). Analisis Perbandingan Jumlah Thermoelectric Generator Menggunakan Rangkaian Seri dan ParaleL. *ALMIKANIKA*, *1*. https://doi.org/10.32832/almikanika.v1i2.2350

Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2011). *Introduction to heat transfer*. John Wiley & Sons.

Digdoyo, A., Surawan, T., Djamruddin, D., Yuniati, E., & Saputra, A. A. (2021). Pemanfaatan Limbah Panas Dari Internal Combustion Engine Sebagai Energi Terbarukan Melalui Proses Pemulihan Gas Buang. Proceeding Technology of Renewable Energy and Development Conference, https://jurnalftijayabaya.ac.id/index.php/TREnD/article/view/106

Jayaningsih, Y. F., Fatimah, N. R., & Ahmad, E. F. (2025). Thermoplast: Perancangan Sistem Pembangkit Listrik dari Sampah Plastik dengan Peningkatan Kinerja Thermoelectric Generator. Proceedings of the Indonesian Conference on Occupational Safety, Health, and Environment (INCOSHET),

Kurniasetiawati, A. S., & Prasetyo, B. Y. (2024). Cooling Performance Potential of TEC1-12710 and TEC1-12715 SR Thermoelectric Modules with Hot Side Cooling Optimization Methods Using Several Types of Heat Exchangers. *AUSTENIT*, *16*(2), 100-110. https://doi.org/10.53893/austenit.v16i2.9470

Maulana, W. (2022). Kaji Komparasi Pembangkit Energi Listrik Memanfaatkan Penyerapan Panas Aspal Jalan Menggunakan Teknologi Termoelektrik Generator (TEG) Dengan Pelat Penyerap Logam Dengan Kedalaman Berbeda. *Jurnal Sains dan Teknologi*, *21*(2), 59-65.

Mona, Y., Jitsangiam, P., & Punyawudho, K. (2021). A comparison of energy harvesting from cement and asphalt on road pavement using thermoelectric module. *Energy Reports*, *7*, 225-229. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.06.038

Muharnif, M., Umuani, K., & Nasution, F. A. (2022). Analisis Termoelektrik Generator (TEG) sebagai pembangkit listrik Bersekala kecil terhadap

perbedaan temperatur. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, *5*(1), 26-32. https://doi.org/10.30596/rmme.v5i1.10260

Mukmin, H., Taufiqurrahman, M., & Lubis, G. S. (2024). Analisis Konduktivitas Termal Material Komposit Berbahan Dasar Silika Pada Limbah Sekam Padi dan Tanah Liat Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Keramik Menggunakan Metode Lee's Disc. *JTRAIN: Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, *5*(2), 25-32. http://ejurnal.untan.ac.id/index.php/jtm/article/view/83955

Saputra, N., Mainil, R. I., & Aziz, A. (2023). Pembangkit energi listrik memanfaatkan penyerapan panas jalan beton menggunakan teknologi termoelektrik generator (TEG) dengan pelat penyerap tembaga berbentuk I. *Jurnal Teknologi*, *15*(2), 325-336. DOI: 10.24853/jurtek.15.2.325-336

Sukendar, T., Utsman, F., & Sinambela, R. (2025). Pemanfaatan Thermoelectric Generator (TEG) untuk Penyimpanan Energi Panas dari Limbah Industri. *Jurnal Teknik Industri Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma (Unsurya)*, *14*(2), 117-130. https://doi.org/10.35968/jtin.v14i2

Wibowo, K. (2024). Kontribusi pembangkit listrik energi terbarukan dalam mengurangi emisi karbon. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, *4*(6), 5140-5153. https://doi.org/10.31004/innovative.v4i6.16043

Wirawan, M. (2021). *Teori Dasar Dan Aplikasi Pendingin Termoelektrik (Pendingin Tanpa Freon)*. Deepublish.