ANALISIS PENGARUH LAPISAN KONDUKTOR PANAS TERHADAP KINERJA SISTEM *PHOTOVOLTAIC - THERMOELECTRIC GENERATOR HYBRID*

SKRIPSI

Skripsi diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar sarjana

Disusun Oleh:

Faradila Ilham

092022090187

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK & ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA

2026

ANALISIS PENGARUH LAPISAN KONDUKTOR PANAS TERHADAP KINERJA SISTEM *PHOTOVOLTAIC - THERMOELECTRIC GENERATOR HYBRID*

Disusun Oleh

Nama : Faradila Ilham

NIM : 092022090187

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK & ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA

2026

Depok

Menyetujui Pembimbing I

Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.Sc.Eng.

NIDN. 0415119601

ANALISIS PENGARUH LAPISAN KONDUKTOR PANAS TERHADAP KINERJA SISTEM *PHOTOVOLTAIC - THERMOELECTRIC GENERATOR HYBRID*

Disusun Oleh

Nama : Faradila Ilham

NIM : 092022090187

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK & ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA

2026

Depok

Menyetujui Pembimbing II

Arisa Olivia Putri, S.S.T., MIT.

NIDN. 0320109501

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik disuatu Perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Depok, 27 Juli 2026

Mahasiswa,



Faradila Ilham

NIM. 092022090187

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Faradila Ilham

NIM 092022090187

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Lapisan Konduktor Panas Terhadap Kinerja Sistem *Photovoltaic-Thermoelectric Generator Hybrid*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PEMBIMBING

Pembimbing 1 : Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.Sc.Eng ( )

Pembimbing 2 : Arisa Olivia Putri, S.ST., M.IT ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juli 2026

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.Sc.Eng

NIDN. 0415119601

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Faradila Ilham

NIM 092022090187

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Lapisan Konduktor Panas Terhadap Kinerja Sistem *Photovoltaic-Thermoelectric Generator Hybrid*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Imu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PENGUJI

Penguji 1 : Legenda Prameswono Pratama, S.S.T., M.Sc.Eng ( )

Penguji 2 : Hamzah, S.T., M.T., Ph.D. ( )

Penguji 3 : Sinka Wilyanti, S.T.,M.T. ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juli 2026

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.Sc.Eng

NIDN. 0415119601

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1 Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SIDANG SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Faradila Ilham

NIM : 092022090187

Prodi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Lapisan Konduktor Panas Terhadap Kinerja Sistem *Photovoltaic - Thermoelectric Generator Hybrid*

Dosen Penguji I : Legenda Prameswono Pratama, S.S.T, M.Sc.Eng.

No	Isi Komentar/ Saran	Revisi/jawaban penulis	Paraf Penguji /Tanggal Persetujuan
1	Optimasi nilai TEG untuk mengetahui efisiensi 1%	Telah dilakukan pengecekan ulang terhadap data, perhitungan, dan jurnal pendukung. Berdasarkan hasil evaluasi serta arahan dosen pembimbing, keluaran daya TEG pada penelitian ini masih berada pada orde miliwatt sehingga peningkatan efisiensi total sistem sebesar 1% belum dapat dicapai.	
2	Referensi belum sesuai masih acak	Referensi telah diperbaiki dan disusun.	
3	Mengapa penggunaan TEG menyebabkan efisiensi menurun	Perhitungan efisiensi telah diperiksa kembali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi sistem PV-TEG tetap lebih tinggi dibandingkan PV saja.	
4	Perlu dicek kembali mengapa PV-TEG lebih kecil dibandingkan PV saja, periksa data atau analisis kembali	Data dan perhitungan telah diperiksa kembali dan hasilnya telah sesuai. penelitian menunjukkan bahwa efisiensi sistem PV-TEG tetap lebih tinggi dibandingkan PV saja.	

Depok, 22 Juli 2026
Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Elektro

(Brainvendra Widi Dionova, S.S.T., M.Sc.Eng.)
NIK. 0415119601

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1 Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Faradila Ilham

NIM : 092022090187

Prodi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Lapisan Konduktor Panas Terhadap Kinerja Sistem *Photovoltaic - Thermoelectric Generator Hybrid*

Dosen Penguji II : Hamzah, S.T., M.T., Ph.D.

No	Isi Komentar/ Saran	Revisi/jawaban penulis	Paraf Penguji /Tanggal Persetujuan
1	Tujuan penelitian ke 2, nilai nya dibawah yang dilakukan faridah et al. Perlu cek metodologi yang dilakukan	Telah dilakukan peninjauan kembali terhadap metodologi penelitian dan ditambahkan pembahasan pada Bab IV mengenai perbandingan hasil penelitian dengan Faridah et al. (2025). Perbedaan nilai efisiensi dijelaskan dipengaruhi oleh perbedaan metodologi, konfigurasi sistem, dan kondisi pengujian.	
2	Perbaiki penulisan daftar pustaka	Daftar pustaka telah diperbaiki dan disusun sesuai format penulisan skripsi.	

Depok, 22 Juli 2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro

(Brainvendra Widi Dionova, S.S.T., M.Sc.Eng.)

NIK. 0415119601

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1 Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Faradila Ilham

NIM : 0920220090187

Prodi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Lapisan Konduktor Panas Terhadap Kinerja Sistem *Photovoltaic - Thermoelectric Generator Hybrid*

Dosen Penguji III : Sinka Wilyanti, S.T., M.T.

No	Isi Komentar/ Saran	Revisi/jawaban penulis	Paraf Penguji /Tanggal Persetujuan
1	Perbaiki daftar isi, daftar gambar, dan referensi (urutkan sesuai objek).	Daftar isi, daftar gambar, dan daftar pustaka telah diperbaiki sesuai format penulisan.	
2	Subbab Bab II, nomor gambar, dan peletakan gambar diperbaiki.	Subbab Bab II, penomoran, dan peletakan gambar telah diperbaiki.	
3	Gambar 2.3 dibuat lebih besar/jelas.	Gambar 2.3 telah diperbesar dan diperjelas.	
4	Jangan ada halaman tanggung (hal 22) gambar 3.10 diletakan dibawah gambarnya	Tata letak halaman dan posisi Gambar 3.10 telah diperbaiki.	
5	Bab IV sub bab 4.1 terlalu jauh, lihat halaman jika ada bab dibawah tengah	Tata letak Subbab 4.1 Bab IV telah disesuaikan.	
6	Penulisan table 4.5 hal 33 revisi, hal 51 cek gambar 4.16, 4.18, tabel 4.16, hal 64 tabel 4.18	Penulisan tabel dan gambar telah diperbaiki sesuai masukan penguji.	

Depok, 22 Juli 2026
Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Elektro

(Brainvendra Widi Dionova, S.S.T., M.Sc.Eng.)
NIK. 0415119601

LEMBAR KONSULTASI SKRIPSI

Nama mahasiswa : Faradila Ilham

NIM : 092022090187

Judul : Analisis Pengaruh Lapisan Konduktor Panas Terhadap Kinerja Sistem *Photovoltaic - Thermoelectric Generator* Hybrid

Dosen Pembimbing I : Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.Sc.Eng

No.	Tanggal	Uraian Kegiatan yang Dilakukan	Paraf Dosen
1	1/03/2026	Konsultasi revisi hasil seminar proposal dan penyempurnaan metodologi penelitian.	
2	18/03/2026	Konsultasi persiapan alat penelitian serta rancangan sistem PV–TEG hybrid.	
3	23/04/2026	Konsultasi hasil pengambilan data dan evaluasi proses pengujian.	
4	22/05/2026	Konsultasi pengolahan data, perhitungan daya keluaran TEG, dan analisis hasil pengujian.	
5	12/06/2026	Konsultasi penyusunan Bab IV, perhitungan efisiensi sistem PV–TEG hybrid, serta pembahasan hasil penelitian.	
6	30/06/2026	Konsultasi revisi akhir skripsi dan persiapan sidang skripsi.	

* Minimal 6 kali pertemuan

Depok, 26 Juni 2026
Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Elektro

Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.Sc.Eng

NIK. 0415119601.

LEMBAR KONSULTASI SKRIPSI

Nama mahasiswa : Faradila Ilham

NIM : 092022090187

Judul : Analisis Analisis Pengaruh Lapisan Konduktor Panas Terhadap Kinerja Sistem *Photovoltaic - Thermoelectric Generator* Hybrid

Dosen Pembimbing II : Arisa Olivia Putri, S.S.T., MIT

No.	Tanggal	Uraian Kegiatan yang Dilakukan	Paraf Dosen
1	3/03/2026	Konsultasi penyempurnaan sistematika penulisan skripsi setelah seminar proposal.	
2	20/03/2026	Konsultasi penyusunan Bab III serta prosedur penelitian.	
3	29/04/2026	Konsultasi penyajian data hasil penelitian dalam bentuk tabel dan grafik.	
4	27/05/2026	Konsultasi analisis hasil penelitian dan penyempurnaan Bab IV	
5	19/06/2026	Konsultasi penyusunan Bab V, kesimpulan, saran, serta pengecekan format penulisan.	
6	30/06/2026	Konsultasi revisi akhir naskah skripsi sesuai arahan dosen pembimbing dan persiapan sidang.	

* Minimal 6 kali pertemuan

Depok, 26 Juni 2026
Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Elektro

Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.Sc.Eng

NIK. 0415119601

HALAMAN PERSEMBAHAN

Di antara seluruh halaman dalam skripsi ini, lembar persembahan adalah halaman yang paling bermakna dan indah, karena disinilah penulis menitipkan rasa terima kasih yang tidak mampu terucap oleh kata-kata. Bissmillahirrahmanirrahim, skripsi ini penulis persembahkan kepada:

1. Sembah sujud serta syukur kepada Allah SWT, taburan cinta dan kasih sayangmu telah memberikanku kekuatan, dan memberikanku ilmu. Atas Karunia serta kemudahan yang engkau berikan, akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan dengan lancar dan baik.
2. Kedua orang tua tersayang, cinta pertamaku dan pintu surgaku, Ayah Ade dan Mama Nur. Terima kasih penulis ucapkan atas segala pengorbanan dan ketulusan yang diberikan. Meskipun Ayah dan Mama tidak sempat merasakan pendidikan di bangku perkuliahan, namun selalu senantiasa memberikan yang terbaik, tak kenal lelah mendoakan, mengusahakan, memberikan dukungan baik secara moral maupun finansial, Semoga dengan adanya skripsi ini dapat membuat ayah dan mama lebih bangga karena telah berhasil menjadikan anak perempuan pertamanya ini menyandang gelar sarjana seperti yang diharapkan. Besar harapan penulis semoga ayah dan mama selalu sehat, panjang umur, dan bisa menyaksikan keberhasilan lainnya yang akan penulis raih di masa yang akan datang.
3. Kedua adik perempuan saya, Medina dan Nadifa, yang selalu membuat penulis termotivasi untuk bisa terus belajar menjadi sosok kakak yang dapat memberikan pengaruh positif, baik dalam bidang akademik maupun non - akademik, serta berusaha menjadi panutannya di masa yang akan datang.
4. Bapak Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.Sc.Eng., dan Ibu Arisa Olivia Putri, S.S.T., MIT., selaku Dosen Pembimbing Skripsi. Terima kasih yang sebesar-besarnya atas kesediaan Bapak dan Ibu meluangkan waktu di tengah kesibukan, atas kesabaran, perhatian, arahan serta nasihat yang disampaikan dengan tutur kata menenangkan, sehingga seluruh proses bimbingan dapat dijalani dengan rasa aman dan nyaman. Kehadiran dan bimbingan Bapak dan Ibu menjadi lentera di tengah kebingungan dan berbagai tantangan selama proses penyusunan skripsi ini.

5. *Padang Rice Student.* Terima kasih kepada seluruh teman-teman seperjuangan di kelas yang telah menjadi bagian dari perjalanan selama masa perkuliahan. Terima kasih atas kebersamaan, canda tawa, dukungan, bantuan, dan kenangan yang telah kita ciptakan bersama. Semoga kita semua diberikan kemudahan dalam meraih cita-cita serta kesuksesan di masa depan.
6. Ridho Adhasyah (*Miaw*), Partner sejak tahun 2022 saat masih menempuh pendidikan di bangku Smk. Terima kasih atas setiap doa, semangat, dukungan, kesabaran, perhatian, serta keyakinan yang selalu kamu berikan ketika penulis merasa lelah dan hampir menyerah. Kehadiranmu menjadi bagian dari setiap proses hingga akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan.
7. Teman-teman seperjuangan penelitian skripsi, Ilma, Atik, Kalvin, dan Rifaldi. Terima kasih telah menjadi rekan seperjuangan selama proses penelitian skripsi ini. Terima kasih atas kerja sama, bantuan, semangat, serta kebersamaan dalam melewati berbagai tantangan selama penelitian. Semoga segala usaha yang telah kita lalui bersama menjadi langkah awal menuju kesuksesan dan impian masing-masing.
8. Sahabatku sejak 10 Tahun lalu, Miftahul. Terima kasih telah berjalan bersama, menjadi tempat cerita, dan menetap dalam riuh bahagia maupun sunyi yang menyimpan luka.
9. *Last but not least*, saya berterima kasih kepada sosok gadis yang selama ini diam-diam berjuang tanpa henti, perempuan sederhana yang memiliki impian besar. Terima kasih kepada peneliti yaitu saya sendiri, Faradila Ilham, anak perempuan pertama dan harapan orang tuanya. Terima kasih telah bertahan sejauh ini, dan terus menjalani tantangan semesta hadirkan. Saya bangga setiap langkah kecil yang saya ambil, atas pencapaian yang saya dapat kan sampai saat ini. Allah sudah merencanakan dan memberikan porsi terbaik untuk perjalanan hidupmu.

   Aamiin ya Rabbal 'Alamin.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Penulis menyadari bahwa selesainya skripsi ini tidak lepas dari bimbingan, dukungan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orang Tua Tercinta, yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan moril maupun materil, serta kesabaran yang tidak terhingga hingga penulis dapat menyelesaikan studi ini.
2. Bapak Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.Sc.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Global Jakarta dan Dosen Pembimbing I, atas segala arahan, ilmu, waktu, dan bimbingan yang telah diberikan selama proses penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Arisa Olivia Putri, S.S.T., MIT., selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan banyak masukan, saran, dan motivasi yang sangat berharga dalam penyempurnaan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen Teknik Elektro, yang telah membekali penulis dengan ilmu pengetahuan, wawasan, dan pengalaman yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan.
5. Teman-teman dan Orang Terdekat, yang selalu ada memberikan bantuan, semangat, perhatian, serta motivasi tiada henti yang menguatkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak, khususnya di bidang Teknik Elektro.

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai mahasiswa Universitas Global Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Faradila Ilham
NIM	: 092022090187
Program Studi	: Teknik Elektro
Fakultas	: Teknik dan Ilmu Komputer
Jenis Karya	: Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Jakarta Global University **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas kerya ilmiah saya yang berjudul:

Analisis Pengaruh Lapisan Konduktor Panas Terhadap Kinerja Sistem *Photovoltaic-Thermoelectric Generator Hybrid*

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Royalti Noneksklusif ini Jakarta Global University berhak menyimpan, mengalih-media-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di	: Depok
Pada Tanggal	: 30 Juli 2026

Yang menyatakan,



ABSTRAK

Peningkatan suhu permukaan panel surya menyebabkan penurunan efisiensi sehingga menjadi salah satu kendala dalam pemanfaatan energi surya. Salah satu upaya untuk memanfaatkan panas buangan tersebut adalah dengan mengintegrasikan *Thermoelectric Generator* (TEG) pada sistem *Photovoltaic–Thermoelectric Generator* (PV–TEG) *Hybrid*. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi lapisan konduktor panas terhadap kinerja sistem PV–TEG *Hybrid* menggunakan panel surya *monocrystalline* 100 Wp yang dipasangi 12 modul TEG. Variasi lapisan konduktor yang diuji meliputi tanpa lapisan konduktor, plat tembaga, dan *thermal pad*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi seri menghasilkan daya maksimum sebesar 0,02398 W dan digunakan pada pengujian variasi lapisan konduktor panas. Variasi tanpa lapisan konduktor menghasilkan daya rata-rata tertinggi sebesar 0,00959 W, diikuti *thermal pad* sebesar 0,00639 W dan plat tembaga sebesar 0,00535 W. Sistem PV–TEG Hybrid juga meningkatkan efisiensi sebesar 0,0007–0,0026%, dengan peningkatan tertinggi diperoleh pada variasi tanpa lapisan konduktor

Kata Kunci: *Photovoltaic; Thermoelectric Generator; PV-TEG;* Plat Tembaga; *Thermal Pad;* Efisiensi Energi

ABSTRACT

The increase in solar panel surface temperature reduces its efficiency, becoming one of the main challenges in the utilization of solar energy. One approach to utilize the waste heat is by integrating a Thermoelectric Generator (TEG) into a Photovoltaic–Thermoelectric Generator (PV–TEG) Hybrid system. This study aims to analyze the effect of thermal conductor layer variations on the performance of a PV–TEG Hybrid system using a 100 Wp monocrystalline solar panel equipped with 12 TEG modules. The thermal conductor layer variations tested were without a conductor layer, copper plate, and thermal pad. The results showed that the series configuration produced the highest output power of 0.02398 W and was subsequently used in the thermal conductor layer variation tests. The configuration without a conductor layer produced the highest average output power of 0.00959 W, followed by the thermal pad at 0.00639 W and the copper plate at 0.00535 W. Furthermore, the PV–TEG Hybrid system improved the overall efficiency by 0.0007–0.0026%, with the highest efficiency improvement achieved by the configuration without a conductor layer.

Keywords: *Photovoltaic; Thermoelectric Generator; PV–TEG; Copper Plate; Thermal Pad; Energy Efficiency*

DAFTAR ISTILAH

Charge Controller	:	Alat elektronik pengatur arus pengisian daya baterai dan penyaluran ke beban untuk mencegah kerusakan.
Copper Plat	:	Plat tembaga yang berfungsi sebagai penyebar panas (*heat spreader*) pada sisi panas modul TEG.
Depth of Discharge (DoD)	:	Batas aman persentase pemakaian kapasitas baterai (biasanya 80%) agar baterai awet.
Distanced Arrangement	:	Metode pemasangan modul TEG dengan jarak renggang di belakang panel surya untuk mengurangi penumpukan panas.
Efek Photovoltaic	:	Proses fisika perubahan energi cahaya matahari langsung menjadi energi listrik.
Efek Seebeck	:	Prinsip kerja TEG di mana perbedaan suhu antara dua sisi material menghasilkan listrik.
Gap Filler	:	Material pengisi celah udara (seperti *thermal pad*) untuk memaksimalkan hantaran panas antar komponen.
Heat Sink	:	Komponen logam pembuang panas pada sisi dingin TEG.
Heat Spreader	:	Lapisan penyebar panas untuk meratakan suhu permukaan panel surya dan mencegah *hotspot*.
Hybrid PV-TEG	:	Sistem pembangkit listrik gabungan antara panel surya (PV) dan generator termoelektrik (TEG).
Photovoltaic (PV)	:	Teknologi sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik.

SDLC (Waterfall)	:	Metode penelitian/pengembangan system yang dilakukan secara bertahap dan berurutan.
State of Charge (SoC)	:	Indikator jumlah persentase energi yang tersisa di dalam baterai.
Thermal Pad	:	Bantalan termal antarmuka yang menyalurkan panas sekaligus mengisi celah antar permukaan kasar.
Thermoelectric Generator (TEG)	:	Komponen padat (*solid-state*) yang menghasilkan listrik dari perbedaan suhu.
Watt peak (Wp)	:	Satuan daya puncak yang dihasilkan panel surya dalam kondisi standar pengujian.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING iii

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI iv

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS v

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI vi

KATA PENGANTAR x

ABSTRAK xi

ABSTRACT xii

DAFTAR ISTILAH xiii

DAFTAR ISI xv

DAFTAR GAMBAR xix

DAFTAR TABEL xxii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Tujuan Penelitian 3

1.4 Manfaat Penelitian 3

1.5 Batasan Penelitian 4

BAB II KAJIAN PUSTAKA 5

2.1 Tinjauan Pustaka 5

2.2 Energi Terbarukan 9

2.2.1 Pemanen Energi *(Energy Harvesting)* 9

2.2.2 Energi Panas 10

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya 11
2.4 *Thermoelectric Generator* 14
2.5 System PV-TEG Hybrid 17
2.6 Lapisan Konduktor Panas (Thermal Interface Material) 17
2.6.1 Plat Tembaga *(Copper Plate)* 18
2.6.2 *Thermal Pad* 19
2.7 Analisis Penelitian 19
2.7.1 Analisis Kinerja Panel Surya 19
2.7.2 Analisis Konfigurasi Rangkaian Listrik 21
2.7.2 Analisis Perpindahan Panas pada Antarmuka (Sisi Panas) 22
2.7.3 Analisis Efisiensi Sistem Hibrida (PV-TEG) 23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 23
3.1 Lokasi Penelitian 23
3.2 Analisis Kebutuhan (*Requirements Analysis)* 23
3.3 Perancangan *(Design)* 26
3.3.1 Skema Rangkaian Pengujian 26
3.3.2 Blok Diagram 26
3.3.3 Desain PV-TEG 28
3.3.4 Penentuan Konfigurasi Rangkaian Optimal 30
3.3.5 Perancangan Variasi Sistem PV-TEG 31
3.3.6 Penentuan Parameter Pengisian Baterai 31
3.3.7 Penentuan Kebutuhan Panel Surya 32
3.4 Pembuatan dan Perakitan *(Development)* 32
3.5 Pengujian *(Testing)* 33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 35

4.1 Pengujian Konfigurasi Rangkaian TEG 43
4.1.1 Konfigurasi Seri 44
4.1.2 Konfigurasi Paralel 45
4.1.3 Konfigurasi Seri – Paralel 46
4.1.4 Analisis Rangkaian Terbaik 47
4.2 Pengujian Konfigurasi Lapisan Konduktor Panas 49
4.2.1 Pengujian Tanpa Lapisan Konduktor 50
4.2.2 Pengujian Plat Tembaga 51
4.2.3 Pengujian Thermal Pad 52
4.2.4 Analisis Konfigurasi Lapisan Terbaik 53
4.3 Analisis Efisiensi Sistem PV–TEG Hybrid 56
4.3.1 Analisis Efisiensi PV Referensi 57
4.3.2 Analisis Efisiensi Sistem PV–TEG Hybrid Berdasarkan Pengujian Per Jam (Hari Ketiga) 59
4.3.2 Analisis Efisiensi Sistem PV–TEG Hybrid Berdasarkan Nilai Rata-rata Tiga Hari 63
BAB V PENUTUP 69
5.1 Kesimpulan 69
5.2 Saran 69
REFERENSI 70
LAMPIRAN 75
Lampiran 1. Hasil Pengujian Konfigurasi Lapisan Konduktor Panas Hari Pertama 75
Lampiran 2. Hasil Pengujian Konfigurasi Lapisan Konduktor Panas Hari Kedua 77
Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian 79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses mengkonversi cahaya menjadi energi listrik 12

Gambar 2. 2 Pendingin oleh efek Peltier dan pembangkit listrik oleh efek Seebeck Efek 14

Gambar 2. 3 Modul *Thermoelectric Generator* SP-184827145 SA..... 15

Gambar 2. 4 *Thermoelectric Generator* dipasang secara Seri..... 15

Gambar 2. 5 *Thermoelectric Generator* dipasang secara Paralel 16

Gambar 2. 6 *Thermoelectric Generator* dipasang secara Seri-Paralel..... 16

Gambar 2. 7 Skema sistem hibridasi PV+TEG 17

Gambar 2. 8 Ilustrasi mikroskopis antarmuka termal: (a) Kontak tanpa TIM dengan celah udara; (b) Kontak dengan TIM yang mengisi celah 18

Gambar 3. 1 Metode SDLC.....23

Gambar 3. 2 Rangkaian Skema Seluruh Pengujian..... 26

Gambar 3. 3 Blok Diagram Sistem PV-TEG Tanpa Lapisan Konduktor..... 27

Gambar 3. 4 Blok Diagram Sistem PV-TEG dengan lapisan Plat Tembaga... 27

Gambar 3. 5 Blok Diagram Sistem PV-TEG dengan lapisan Thermal Pad 28

Gambar 3. 6 Skema Layout Pemasangan Modul TEG dibawah Panel Surya 28

Gambar 3. 7 Ilustrasi Skematik tanpa lapisan Konduktor 29

Gambar 3. 8 Ilustrasi Skematik dengan Lapisan Plat Tembaga..... 29

Gambar 3. 9 Ilustrasi Skematik dengan Lapisan Thermal Pad 29

Gambar 3. 10 Kandidat Konfigurasi Rangkaian TEG..... 30

Gambar 3. 11 Diagram Alir Prosedur Penelitian..... 34

Gambar 4. 1 Hasil Perancangan System PV-TEG Hybrid 35

Gambar 4. 2 Panel Surya 100 WP 4 buah 36

Gambar 4. 3 Pengujian karakteristik Panel Surya 100 WP 37

Gambar 4. 4 Kurva Karakteristik V – I Panel Surya 1 38

Gambar 4. 5 Kurva Karakteristik V – P Panel Surya 1 38

Gambar 4. 6 Kurva Karakteristik V – I Panel Surya 2 39

Gambar 4. 7 Kurva Karakteristik V – P Panel Surya 2 39

Gambar 4. 8 Kurva Karakteristik V – I Panel Surya 3 40

Gambar 4. 9 Kurva Karakteristik V – P Panel Surya 3 41

Gambar 4. 10 Kurva Karakteristik V – I Panel Surya 4 42

Gambar 4. 11 Kurva Karakteristik V – P Panel Surya 4 42

Gambar 4. 12 Konfigurasi Rangkaian TEG 43

Gambar 4. 13 Hubungan ΔT dan Daya Keluaran TEG - Konfigurasi Seri 44

Gambar 4. 14 Hubungan ΔT dan Daya Keluaran TEG - Konfigurasi Paralel 46

Gambar 4. 15 Hubungan ΔT dan Daya Keluaran TEG - Konfigurasi Seri - Paralel 47

Gambar 4. 16 Perbandingan daya rata-rata terhadap konfigurasi Rangkaian TEG 48

Gambar 4. 17 Lapisan Konduktor 49

Gambar 4. 18 Grafik Tegangan TEG terhadap Waktu - Tanpa Lapisan Konduktor 51

Gambar 4. 19 Grafik Tegangan TEG terhadap Waktu - Plat Tembaga..... 52

Gambar 4. 20 Grafik Tegangan TEG terhadap Waktu – Thermal Pad..... 53

Gambar 4. 21 Perbandingan Daya Rata-rata Setiap Variasi Lapisan Konduktor 55

Gambar 4. 22 Perbandingan Peningkatan Efisiensi Sistem PV–TEG Hybrid pada Berbagai Variasi Lapisan Konduktor Panas terhadap Waktu Pengujian Hari Ketiga 62

Gambar 4. 23 Perbandingan Peningkatan Efisiensi Sistem PV–TEG Hybrid pada Berbagai Variasi Lapisan Konduktor Panas terhadap Waktu 67

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu 7

Tabel 3. 1 Alat Penelitian 24

Tabel 3. 2 Bahan Penelitian 25

Tabel 4. 1 Spesifikasi Panel Surya 36

Tabel 4. 2 Pengujian Karaketristik Panel Surya 1 100 WP 37

Tabel 4. 3 Pengujian Karaketristik Panel Surya 2 100 WP 39

Tabel 4. 4 Pengujian Karaketristik Panel Surya 3 100 WP 40

Tabel 4. 5 Pengujian Karaketristik Panel Surya 4 100 WP 41

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Konfigurasi Seri 44

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Konfigurasi Paralel 45

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Konfigurasi Seri – Paralel 46

Tabel 4. 9 Rekapitulasi Daya Keluaran TEG 47

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Tanpa Lapisan Konduktor 50

Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Plat Tembaga 51

Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Thermal Pad 52

Tabel 4. 13 Daya Maksimum Setiap Konfigurasi Lapisan 54

Tabel 4. 14 Daya Minimum Setiap Konfigurasi Lapisan 54

Tabel 4. 15 Daya Rata-rata Setiap Konfigurasi Lapisan 54

Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Panel Surya Referensi pada Hari Pertama 58

Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Panel Surya Referensi pada Hari Kedua 58

Tabel 4. 18 Hasil Pengujian Panel Surya Referensi pada Hari Ketiga 59

Tabel 4. 19 Hasil Perhitungan Efisiensi Sistem PV–TEG Hybrid Berdasarkan Pengujian Hari Ketiga 61

Tabel 4. 20 Hasil Perhitungan Efisiensi Sistem PV–TEG Hybrid Berdasarkan Pengujian Per Hari 65

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan energi listrik akibat kemajuan teknologi dan populasi hingga kini masih didominasi oleh sumber fosil tak terbarukan (Collins et al., 2021). Telah memicu dampak lingkungan serius seperti pemanasan global (Al Shurafa et al., 2025). Oleh karena itu, energi surya menjadi alternatif paling potensial untuk dikonversi menjadi listrik melalui teknologi *Photovoltaic (PV)* (Abadi et al., 2019). Namun, efisiensi konversi *PV* hanya berkisar 12-19% akibat panas berlebih yang justru menurunkan kinerja panel (Bayusari et al., 2025). Pemanfaatan *Thermoelectric Generator* (TEG) guna mengonversi panas sisa menjadi Listrik terbukti efektif mengatasi kendala efisiensi, dimana peningkatan ΔT dari 5,80℃ ke 8,63℃ mampu menaikkan daya keluaran sistem dari 1,63 W menjadi 2,02 W (Bayusari et al., 2025).

Pada analisis kinerja *Photovoltaic* untuk memanfaatkan panas buang, optimasi sistem PV-TEG dilakukan guna memaksimalkan konversi energi. Potensi besar penerapan teknologi ini telah divalidasi melalui eksperimen pada panel surya 200 Wp dengan 5 unit TEG yang disusun paralel, Hasilnya menunjukkan bahwa kombinasi PV–TEG mampu meningkatkan tegangan keluaran secara signifikan mencapai 70–79 V, jauh lebih tinggi dibandingkan panel surya tanpa TEG yang hanya 35–39 V dengan kenaikan daya rata-rata 57,5%. Namun kemampuan pendinginan belum terbukti signifikan karena tidak memberikan penurunan suhu panel yang konsisten (Hanafi & Lisdawati, 2024). Merespon kendala manajemen panas tersebut dengan fokus awal pada pendinginan sisi dingin TEG. Pada panel 12 Wp dengan 40 TEG, heat sink aluminium menghasilkan tegangan tertinggi 1,476 V, lebih baik dibandingkan grafit 0,889 V dan tanpa peredam 0,727 V pada iradiasi puncak 823 W/m². Namun, terbatas pada sisi dingin dan skala kecil, sehingga membuka peluang optimasi sisi panas menggunakan lapisan konduktor (Gopinath & Marimuthu, 2023). Selain itu, tata letak TEG juga berpengaruh terhadap peningkatan daya keluaran dan efisiensi system. Pada panel 20 Wp dengan 9 TEG

Penyusunan menyebar (*distanced*) menghasilkan daya 73% lebih tinggi dibandingkan penyusunan di tengah (57,8%). Akan tetapi tanpa lapisan penyebar panas, TEG hanya mendinginkan area tepat di bawahnya, dan pada intensitas tinggi efisiensi panel dapat turun hingga 1,43%, sehingga konfigurasi menyebar menjadi acuan penelitian ini (Fallah Kohan et al., 2023). Penelitian lanjutan menguji media transfer panas sisi panas pada panel 50 Wp dengan membandingkan Micro-Channel Heat Pipe (MCHP) dan plat tembaga. Plat tembaga terbukti paling efektif, meningkatkan efisiensi dari 19,0% (PV saja) menjadi 25,6%, sedangkan MCHP hanya mencapai 21,0% (Faridah et al., 2025). Penggunaan Material Antarmuka Termal (TIM) seperti thermal pad juga penting karena celah udara pada antarmuka PV-TEG meningkatkan Hambatan Kontak Termal (Rc) dan menurunkan efisiensi hingga 15% (dari 7,8% menjadi 6,6%). Thermal pad mengisi celah tersebut dan memastikan jalur perpindahan panas yang optimal (Al Shurafa et al., 2025).

Penelitian ini bertujuan mengatasi keterbatasan penelitian sebelumnya yang umumnya berskala prototipe atau menggunakan metode full coverage. Sistem yang dirancang menggunakan panel surya monocrystalline 100 Wp dengan 12 modul TEG yang dipasang secara menyebar (distanced layout) mengacu pada konsep penempatan TEG (Fallah Kohan et al., 2023). sedangkan jumlah modul TEG disesuaikan dengan ukuran panel yang digunakan pada penelitian ini. Namun, pengaruh penggunaan variasi lapisan konduktor panas terhadap kinerja sistem PV–TEG Hybrid masih perlu dikaji lebih lanjut. Oleh karena itu, penelitian ini menganalisis pengaruh penggunaan plat tembaga, thermal pad, dan tanpa lapisan terhadap kinerja sistem PV–TEG Hybrid.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Bagaimana konfigurasi rangkaian terbaik pada system PV-TEG Hybrid, apakah seri, parallel atau kombinasi paralel-seri, dalam menghasilkan daya keluaran maksimum?
2. Bagaimana pengaruh variasi lapisan konduktor panas terhadap daya keluaran yang dihasilkan oleh sistem PV-TEG hybrid?

3. Bagaimana perbandingan efisiensi sistem PV–TEG hybrid terhadap sistem PV Tunggal dengan variasi lapisan konduktor panas?

1.3 Tujuan Penelitian

Sebagai upaya untuk menjawab rumusan masalah yang telah disusun, penelitian ini memiliki tujuan-tujuan sebagai berikut

1. Menentukan konfigurasi rangkaian terbaik pada system PV-TEG hybrid apakah seri, parallel, atau kombinasi parallel-seri yang mampu menghasilkan daya keluaran maksimum
2. Menganalisis pengaruh penggunaan variasi lapisan konduktor panas (tanpa lapisan, plat tembaga, dan *thermal pad*) terhadap daya keluaran sistem PV–TEG hybrid.
3. Menghitung dan membandingkan efisiensi sistem PV–TEG hybrid dengan sistem PV tunggal melalui penggunaan variasi lapisan konduktor panas.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat, baik secara teoritis maupun praktis, yang dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat menambah wawasan dan referensi ilmiah dalam pengembangan sistem PV–TEG hybrid, terutama terkait pengaruh konfigurasi rangkaian dan jenis lapisan konduktor panas terhadap kinerja sistem.

2. Memberikan informasi mengenai konfigurasi rangkaian dan material konduktor panas yang paling efektif dalam menghasilkan daya keluaran dan efisiensi sistem PV–TEG hybrid.

3. Memberikan informasi mengenai seberapa besar peningkatan atau penurunan efisiensi yang terjadi pada sistem PV–TEG hybrid dibandingkan sistem PV tunggal ketika digunakan variasi lapisan konduktor panas.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian tetap terarah dan tidak keluar dari ruang lingkup yang telah ditetapkan, maka penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut:

1. Penelitian hanya menggunakan data tegangan rangkaian terbuka (Voc) dan arus hubung singkat (Isc) sebagai parameter pengukuran.
2. Masukan dan keluaran pada baterai tidak dibahas dalam penelitian ini.
3. Variasi kondisi cuaca saat pengujian tidak diperhitungkan.
4. Ketebalan termal pasta tidak menjadi fokus penelitian dan tidak dijadikan variabel penelitian.
5. Tidak mempertimbangkan terkait ketinggian dan Sudut kemiringan Panel Surya.

REFERENSI

Abadi, S., Saini, M., Triwijaya, A., & Pratiwi, F. (2019). *Pemanfaatan Thermoelectric Generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).* Jurnal Teknik Mesin Sinergi, 17(1), 90–98. https://doi.org/10.31963/sinergi.v17i1.1602

Abu bakar, U., Akmal, M., & Amely, S. (2021). *Evaluation of a PV-TEG Hybrid System Configuration for an Improved Energy Output: A Review.* International Journal of Renewable Energy Development, 10(2), 385–400. https://doi.org/10.14710/ijred.2021.33917

Al Shurafa, S. M., Ismail, F. B., Kazem, H. A., Sann, T. E., & Almajali, T. A. H. (2025). *Enhancing Photovoltaic-Thermoelectric Generator Systems Using Carbon-Based Thermal Interface Materials: A Comprehensive Review.* Nanoscale and Microscale Thermophysical Engineering, 29(1), 47–77. https://doi.org/10.1080/15567265.2025.2458864

Altinkok, S., & Altinkok, A. (2026). *Experimental Analysis of a Photovoltaic Thermoelectric Generator (PV-TEG) System: Maximum Temperature Gradient Case Study.* Journal of Naval Sciences and Engineering, 22(1), 273–298. https://doi.org/10.56850/jnse.1913127

Bayusari, I., Ronting, V. C., Soraya, A., Caroline, Hermawati, & Rahmawati. (2025). *Performance Evaluation of a Hybrid Solar Panel and Thermoelectric Generator (TEG) System with Copper Plate Enhancement on the Hot Side.* International Journal of Mechanics, Energy Engineering and Applied Science (IJMEAS), 3(2), 20–25. https://doi.org/10.53893/ijmeas.v3i2.409

Bjørk, R., & Nielsen, K. K. (2020). *The Performance of a Combined Solar Photovoltaic (PV) and Thermoelectric Generator (TEG) System.* Solar Energy, 120, 187–194. https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.035

ADY PRADANA, M., & WIDYARTONO, M. (2023). Prototipe Pembangkit LIstrik Termoelektrik Generator Menggunakan Penghantar Panas Aluminium, Kuningan Daan seng. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, *9*(2). https://doi.org/10.26740/jte.v9n2.p%p

Fadrurrahman, M. N., Muhammad, T., Zain, N., & Raihan, H. (2024). *Hibridisasi Sistem Photovoltaic dan Thermoelectric Generator sebagai Konverter Energi Cahaya dan Termal Surya Menjadi Energi Listrik.* 9(2502), 15–30.

Fallah Kohan, H. R., Eslami, M., & Jafarpur, K. (2023). *Thermal Influence of Thermoelectric Modules on Performance of Hybrid PV-TEG Systems: Effects of TEG Type, Arrangement and Working Condition.* International Communications in Heat and Mass Transfer, 147, 106969. https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2023.106969

Faridah, L., Dicky Ramadhan, S., & Busaeri, N. (2025). *Optimization of Hybrid Photovoltaic Thermoelectric Generator System for Improving Solar Panel Efficiency.* Kurvatek, 10(1), 111–118. https://doi.org/10.33579/krvtk.v10i1.5777

Gopinath, M., & Marimuthu, R. (2023). *PV-TEG Output: Comparison with Heat Sink and Graphite Sheet as Heat Dissipators.* Case Studies in Thermal Engineering, 45, 102935. https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.102935

Hanafi, H., & Lisdawati, A. N. (2024). *Analisis Pengaruh Penambahan Thermoelectric Generator (TEG) terhadap Suhu dan Daya Keluaran Panel Surya.* Jurnal EEICT, 7(2), 31–38. https://doi.org/10.31602/eeict.v7i2.17093

Muhamad, Z., Muhida, R., & Putra, O. S. (2022). *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pos Batas Security PT Gula Putih Mataram Kabupaten Lampung Tengah.*

Nugraha, I. M. A. (2024) *Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Sumber Energi pada Kapal Nelayan: Suatu Kajian Literatur.* 4(2), 101–110.

Prihartono, J., & Irhamsyah, R (2022) (*Konduktivitas Termal pada Material.* 24(2), 49–54.

Putra, A. E., & Fikri, A. (2018). *Pemanfaatan Panas Buang Atap Seng dengan Menggunakan Generator Termoelektrik sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan.* 3(2502), 38–43.

Rahmayani, D. (2021). *Analisis Kausalitas Pariwisata, Konsumsi Energi Fosil, Pertumbuhan Ekonomi dan Emisi CO_2 di Indonesia.* Jurnal Dinamika Ekonomi Pembangunan, 4(2), 124–139. https://doi.org/10.14710/jdep.4.2.124-139

Rifky, R., Fikri, A., & Mujirudin, M. (2021). *Konversi Energi Termal Surya Menjadi Energi Listrik Menggunakan Generator Termoelektrik.* Jurnal Kajian Teknik Mesin, 6(1), 60–65. https://doi.org/10.52447/jktm.v6i1.4532

Roy, C., Yarbrough, L., Quddus, H., & Batchelor, M. (2025). *Thermal Performance of Silicone and Non-Silicone Thermal Pads as Thermal Interface Materials.*

Samsurizal, Mauriraya, K. T., Fikri, M., Pasra, N., & Christiono. (2021). *Buku PLTS.*

Sianipar, R. (2021). *Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.* JETRI: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 11, 61–78. https://doi.org/10.25105/jetri.v11i2.1445

Siregar, M. F., Kusuma, B. S., & Ginting, Z. (2023). *Pemanfaatan Energi Matahari Menjadi Energi Listrik Kapasitas 1300 Watt untuk Beban Rumah Tangga di Kota Medan.* Semnastek UISU 2023, 172–176.

Snyder, G. J., & Ursell, T. S. (2021). *Thermoelectric Efficiency and Compatibility.* Physical Review Letters, 91(14), 148301. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.91.148301

Street, S. (2020). *Comparative Analysis of Solar Cell Efficiency Between Monocrystalline and Polycrystalline.* 7(2), 92–100.

Uchida, K., & Heremans, J. P. (2021). *Thermoelectrics: From Longitudinal to Transverse.*

Utami, S., & Daud, A. (2020). *Pengaruh Temperatur Panel Surya terhadap Efisiensi Panel Surya Sistem Monitoring.*

Wasistha, B. D., Edward, B., Salam, M., Wibawa, D. I., et al. (2021). *Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid di Laboratorium Teknik Listrik Politeknik Negeri Jakarta.* Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro, 6, 2–8.

Wibowo, N. T. (2021). *Rancang Bangun Thermoelectric Generator sebagai Pembangkit Listrik dengan Memanfaatkan Panas Matahari.*

Yang, H., Kang, F., Ding, C., Li, J., Kim, J., & Baek, D. *Prediction-Based Fast Thermoelectric Generator Reconfiguration for Energy Harvesting from Vehicle Radiators.*