STUDI EKSPERIMENTAL ENERGI LISTRIK SISTEM *HYBRID* PANEL SURYA-TERMOELEKTRIK GENERATOR

SKRIPSI

Program Studi Sarjana Teknik Elektro
Jurusan Teknik Elektro

Oleh:
IBNU ABIYU
NIM D1021211088

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2026

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ibnu Abiyu

NIM : D1021211088

Menyatakan bahwa dalam SKRIPSI ini yang berjudul "Studi Eksperimental Energi Listrik Sistem *Hybrid* Panel Surya-Termoelektrik Generator" tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi manapun. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atas diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Pustaka.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya. Saya sanggup menerima konsekuensi akademis dan hukum di kemudian hari apabila pernyataan yang dibuat ini tidak benar.

Pontianak, 31 Agustus 2026



Ibnu Abiyu
NIM D1021211088

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124
Telepon (0561) 740186, WA: +6282152280907
Email : ft@untan.ac.id Website : http://teknik.untan.ac.id

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMENTAL ENERGI LISTRIK SISTEM HYBRID PANEL SURYA-TERMOELEKTRIK GENERATOR

Jurusan Teknik Elektro
Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Oleh:

Ibnu Abiyu
NIM D1021211088

Telah dipertahankan di depan Penguji Skripsi pada tanggal 31 Agustus 2026 dan diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana.

Susunan Penguji Skripsi

Dosen Pembimbing Utama	: Ir. Ayong Hiendro, S.T., M.T., IPM. NIP. 196911011997021001
Dosen Pembimbing Kedua	: Prof. Dr. Eng. Ir. M. Ismail Yusuf, M.T. NIP. 196503181991031011
Dosen Penguji Utama	: Yandri, S.T., M.T NIP. 196903291999031001
Dosen Penguji Kedua	: Ir. Kho Hie Khwee, M.T., IPM NIP. 196505261992021001

Pontianak, 31 Agustus 2026

Dekan,

Dr. Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM
NIP. 196712231992031002

Pembimbing Utama

Ir. Ayong Hiendro, S.T., M.T., IPM.
NIP. 196911011997021001

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS,
DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124
Telepon: (0561) 740186, WA: +6282152280907
Email: ft@untan.ac.id Website: http://teknik.untan.ac.id

SURAT KETERANGAN SELESAI PENULISAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping pada penulisan skripsi yang berjudul **"Studi Eksperimental Energi Listrik Sistem *Hybrid* Panel Surya-Termoelektrik Generator"** yang ditulis oleh mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Nama : Ibnu Abiyu

NIM : D1021211088

Jurusan : Teknik

Prodi : Teknik Elektro

Konsentrasi : Teknik Tenaga Listrik

Demikian ini menerangkan bahwa mahasiswa tersebut telah menyelesaikan penulisan skripsinya.

Pontianak, 31 Agustus 2026

Pembimbing Utama	Pembimbing Pendamping
Ir. Ayong Hiendro, S.T., M.T., IPM.	Prof. Dr. Eng, Ir. M. Ismail Yusuf, M.T.
NIP. 196911011997021001	NIP. 196503181991031011

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, karena telah memberikan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyusun karya akhir ini yang berjudul "**STUDI EKSPERIMENTAL ENERGI LISTRIK SISTEM *HYBRID* PANEL SURYA-TERMOELEKTRIK GENERATOR**".

Selama proses penulisan tugas akhir ini, penulis menemui berbagai tantangan, tetapi semua hal tersebut dapat diatasi berkat dukungan dan arahan dari banyak pihak, sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini. Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, pendampingan, dan bantuan dalam penyelesaian skripsi ini, terutama kepada:

1. Kedua orang tua, Bapak Ibnul Qoyim dan almarhumah Ibu Erna Paulinawati serta kepada keluarga yang selalu mendoakan, memberi semangat, dan dukungan kepada penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Ing. Seno Darmawan Panjaitan, S.T., M.T., IPM., selaku ketua jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura.
3. Bapak Jannus Marpaung, S.T., M.T., IPM., selaku ketua program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura.
4. Bapak Yandri, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik dan penguji utama proposal skripsi saya pada program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura.
5. Bapak Ir. Ayong Hiendro, S.T., M.T., IPM., selaku dosen pembimbing utama penulis pada program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura yang telah memberikan bantuan, masukan, kritik, serta saran dalam menyelesaikan proposal skripsi ini.
6. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Ismail Yusuf, M.T., selaku dosen pembimbing pendamping yang juga telah memberikan bantuan, masukan, kritik, serta saran dalam menyelesaikan proposal skripsi ini.
7. Bapak Ir. Kho Hie Khwee, M.T., IPM., selaku dosen penguji pendamping proposal skripsi saya pada program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura.

8. Seluruh teman Teknik Elektro angkatan 2021 senantiasa berkomunikasi dan menemani dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

Penulis mengakui adanya batasan dalam pembuatan skripsi ini, karena itu masukan dan kritik yang konstruktif sangat diharapkan untuk meningkatkan kualitas dari skripsi ini. Sebagai penutup, penulis berharap skripsi ini bisa memberikan manfaat dan digunakan secara tepat.

Pontianak, 31 Agustus 2026

Penulis,

IBNU ABIYU

D1021211088

ABSTRAK

Pemanfaatan energi matahari melalui panel surya (photovoltaic/PV) merupakan salah satu solusi energi terbarukan yang ramah lingkungan. Namun, peningkatan suhu pada permukaan panel surya dapat menurunkan kinerja sistem karena menyebabkan penurunan tegangan dan efisiensi keluaran. Energi panas yang terakumulasi pada panel surya tersebut umumnya belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem *hybrid* panel surya-termoelektrik generator (TEG), meliputi karakteristik tegangan, arus, daya, energi listrik yang dihasilkan, serta pengaruh perbedaan suhu terhadap kinerja TEG. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan pengujian langsung di lapangan menggunakan panel surya monocrystalline 100 Wp yang dikombinasikan dengan 10 modul TEG tipe SP1848-27145 SA. Pengambilan data dilakukan pada rentang waktu pukul 07.00–17.00 WIB dengan parameter yang diukur meliputi suhu panel surya, suhu *heatsink*, tegangan, arus, daya, dan energi listrik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel surya menghasilkan energi listrik total sebesar 389,775 Wh, sedangkan sistem *hybrid* panel surya-TEG menghasilkan energi total sebesar 390,583 Wh. Penambahan TEG memberikan kontribusi energi tambahan sebesar 0,808 Wh atau sekitar 0,21% dibandingkan sistem panel surya tanpa TEG. Modul TEG menghasilkan rentang perbedaan suhu (ΔT) sebesar 5,1 °C hingga 10,7 °C. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa semakin besar perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin TEG, semakin besar daya listrik yang dihasilkan. Meskipun kontribusi energi TEG masih relatif kecil akibat rendahnya nilai ΔT yang terbentuk, integrasi TEG pada panel surya terbukti mampu menghasilkan energi listrik tambahan melalui pemanfaatan panas yang sebelumnya terbuang.

Kata kunci: panel surya, termoelektrik generator, sistem *hybrid*, energi listrik, efek Seebeck.

ABSTRACT

The utilization of solar energy through photovoltaic (PV) panels is one solution for utilizing environmentally friendly renewable energy. However, an increase in the operating temperature of solar panels can reduce system performance due to a decrease in voltage and output efficiency. The thermal energy accumulated in the solar panel is generally not optimally utilized. This study aims to analyze the performance of a hybrid solar panel-thermoelectric generator (TEG) system, including its voltage, current, power, and electrical energy characteristics, as well as the effect of temperature differences on the performance of the TEG. The research method used was an experimental method through direct field testing using a 100 Wp monocrystalline solar panel combined with 10 SP1848-27145 SA TEG modules. Data were collected from 07:00 to 17:00 WIB, with the measured parameters including panel temperature, TEG hot-side and cold-side temperatures, voltage, current, power, and electrical energy.

The results showed that the solar panel produced a total electrical energy of 389.775 Wh, while the hybrid solar panel-TEG system produced 390.583 Wh. The addition of TEG contributed an additional electrical energy of 0.808 Wh, equivalent to 0.21% compared to the solar panel system without TEG. The TEG module exhibited a temperature difference (ΔT) ranging from 5.1 °C to 10.7 °C. The test results also showed that a greater temperature difference between the hot and cold sides of the TEG resulted in greater electrical power output. Although the contribution of TEG was relatively small due to the limited ΔT, the integration of TEG into the solar panel system was proven to generate additional electrical energy by utilizing thermal energy that would otherwise be wasted.

Keywords: *photovoltaic, thermoelectric generator, hybrid system, electrical energy, Seebeck effect.*

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i
ABSTRAK iii
ABSTRACT iv
DAFTAR ISI v
DAFTAR GAMBAR viii
DAFTAR TABEL ix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Perumusan Masalah 2
1.3. Tujuan Penelitian 2
1.4. Pembatasan Masalah 3
1.5. Sistematika Penulisan Skripsi 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1. Kajian Terdahulu 5
2.2. Energi Matahari 7
2.3. Panel Surya 7
2.3.1 Kemiringan Panel Surya 9
2.3.2 Penempatan Panel Surya 9
2.4. Termoelektrik Generator 9
2.5. Solar Charge Controller 10
2.6. Baterai 11
2.7. Pendingin *Heatsink* 12
2.8. Pengaruh Temperatur pada Panel Surya dan TEG 12
2.9. Daya Output 13

2.10. Energi 13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 14
3.1. Lokasi Penelitian 14
3.2. Alat Penelitian 14
3.3. Bahan Penelitian 15
3.4. Metode Penelitian 16
3.5. Langkah-langkah Penelitian 16
3.5.1 Studi Literatur 16
3.5.2 Observasi tempat Penelitian 16
3.5.3 Perancangan Sistem 16
3.5.4 Perancangan Perangkat 17
3.5.5 Pengujian Perangkat 18
3.6. Analisis Penelitian 18
3.7. Diagram Alir 19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 20
4.1. Sistem *Hybrid* Panel Surya-Termoelektrik Generator 20
4.2. Desain Engineering Detail Sistem *Hybrid* Panel Surya-Termoelektrik Generator 23
4.3. Data Hasil Pengujian 25
4.3.1 Data Output Panel Surya 25
4.3.2 Data Output Termoelektrik Generator 27
4.3.3 Data Output Sistem *Hybrid* Panel Surya-Termoelektrik Generator 30
4.4. Analisis Hasil Pengujian 32
BAB V PENUTUP 35
5.1. Kesimpulan 35
5.2. Saran 36

DAFTAR PUSTAKA 37
LAMPIRAN 39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Panel Surya Monocrystalline 8
Gambar 2.2 Prinsip Kerja Termoelektrik Generator..... 10
Gambar 2.3 Termoelektrik Generator..... 10
Gambar 2.4 Solar Charge Controller.....11
Gambar 2.5 Baterai.....11
Gambar 2.6 *Heatsink*..... 12
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian 14
Gambar 3.2 Perancangan Sistem..... 17
Gambar 3.3 Diagram Alir..... 19
Gambar 4.1 Sistem Hybrid Panel Surya-Termoelektrik Generator..... 20
Gambar 4.2 Rangkaian Termoelektrik Generator..... 22
Gambar 4.3 Peletakan Termoelektrik Generator 22
Gambar 4.4 Peletakan Panel Surya..... 23
Gambar 4.5 Desain Engineering Detail Sistem Hybrid Panel Surya-TEG 24
Gambar 4.6 Daya yang Dihasilkan Panel Surya terhadap Waktu..... 26
Gambar 4.7 Hubungan Daya TEG terhadap ΔT..... 28
Gambar 4.8 Daya yang Dihasilkan TEG Terhadap Waktu 29
Gambar 4.9 Daya yang Dihasilkan Hybrid Terhadap Waktu 31
Gambar 4. 10 Daya Yang Dihasilkan Pada Panel Surya dan Sistem Hybrid Terhadap Waktu..... 32

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Panel Surya..... 15
Tabel 3.2 Spesifikasi Termoelektrik Generator 15
Tabel 3.3 Spesifikasi Solar Charge Controller 16
Tabel 3.4 Spesifikasi Baterai Yang Digunakan..... 16
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Panel Surya 25
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Termoelektrik Generator..... 27
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Sistem *Hybrid* Panel Surya-Termoelektrik Generator..... 30

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Matahari merupakan sumber energi utama yang mengeluarkan energi dalam bentuk cahaya dan panas secara banyak dan tanpa menghasilkan emisi. Secara geografis, Indonesia terletak di daerah tropis sehingga menerima sinar matahari yang cukup kuat sepanjang tahun, membuat negara ini memiliki peluang besar untuk dikembangkan menjadi sumber energi surya. *International Renewable Energy Agency* (IRENA) [1] menyatakan bahwa kapasitas teknis energi surya di Indonesia mencapai sekitar 207,8 gigawatt. Di sisi lain, kebutuhan listrik nasional terus naik, dan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menyatakan bahwa tingkat elektrifikasi nasional sudah mencapai 99,83% pada akhir tahun 2024, dengan target 100% pada tahun 2025.Karena itu, penggunaan energi terbarukan menjadi cara penting untuk memastikan pasokan listrik yang terus berkelanjutan.

Penggunaan energi matahari dengan teknologi panel surya (*photovoltaic*/PV) semakin berkembang sebagai cara untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Panel surya bisa mengubah energi matahari menjadi listrik langsung, tetapi performanya sangat tergantung pada suhu lingkungan dan suhu sekitar [2]. Energi panas yang tidak digunakan biasanya dibuang ke lingkungan. Oleh karena itu, dibuat pendekatan penggabungan panel surya dengan Generator Termoelektrik (TEG) sebagai sistem *hybrid* PV-TEG. TEG beroperasi berdasarkan efek Seebeck, yaitu kemampuan bahan untuk menghasilkan listrik karena adanya perbedaan suhu antara dua bagian yang berbeda. Dengan memanfaatkan perbedaan suhu yang terjadi karena panas dari panel surya, sistem *hybrid* PV-TEG memungkinkan energi panas diubah menjadi listrik tambahan, sehingga memaksimalkan penggunaan energi matahari.

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem *hybrid* PV-TEG dapat memberikan peningkatan kinerja sistem, baik dari sisi daya keluaran maupun efisiensi, bergantung pada konfigurasi dan kondisi pengujian [4], [5]. Integrasi panel surya-TEG memungkinkan energi panas yang sebelumnya tidak termanfaatkan dapat digunakan, sehingga pemanfaatan energi matahari menjadi

lebih optimal. Kinerja sistem ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jenis material TEG, konfigurasi rangkaian listrik (seri atau paralel), serta teknik pembuangan panas yang digunakan untuk menjaga perbedaan temperatur pada modul termoelektrik.

Berdasarkan pada latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan energi yang dihasilkan oleh matahari. Fokus pada penelitian ini dengan menganalisis pengaruh penambahan TEG terhadap tegangan, arus, daya dan energi sistem *hybrid*, menghitung daya listrik yang dihasilkan pada sistem dan panel surya, serta mengkaji pengaruh suhu terhadap kinerja TEG dalam menghasilkan listrik. Penelitian ini memberikan gambaran teknis mengenai karakteristik kinerja sistem *hybrid* PV-TEG berdasarkan kondisi pengujian yang dilakukan.

1.2. Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja sistem *hybrid* panel surya-termoelektrik generator (TEG) dalam menghasilkan energi listrik melalui pendekatan eksperimental?
2. Apa saja komponen utama, spesifikasi teknis, dan parameter yang dibutuhkan dalam membangun sistem *hybrid* panel surya-TEG agar dapat berfungsi optimal?
3. Bagaimana pengaruh perbedaan suhu terhadap kinerja TEG dalam menghasilkan daya listrik?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menguji kinerja sistem *hybrid* panel surya-termoelektrik generator (TEG) dalam menghasilkan energi listrik melalui pendekatan eksperimental.
2. Menganalisis pengaruh panel surya dan TEG terhadap peningkatan daya dan energi listrik pada sistem *hybrid*.
3. Meneliti pengaruh perbedaan suhu terhadap kinerja TEG dalam menghasilkan listrik.

1.4. Pembatasan Masalah

1. Studi ini hanya mencakup pengujian eksperimental sistem *hybrid* panel surya-termoelektrik generator (TEG) tanpa proses perancangan sistem dari awal.
2. Jenis panel surya dan TEG yang digunakan dibatasi pada modul komersial yang tersedia di pasaran tanpa modifikasi, dengan kapasitas daya yang dibatasi oleh spesifikasi panel surya, jumlah TEG, serta komponen pendukung yang tersedia saat penelitian.
3. Sistem pendinginan pada sisi dingin TEG hanya menggunakan *heatsink* dengan pendinginan secara alami oleh aliran udara (*natural air cooling*), tanpa menggunakan kipas, air, atau sistem pendinginan aktif lainnya.
4. Penelitian hanya mempertimbangkan kondisi geografis dan iklim tempat penelitian.
5. Penelitian ini hanya berfokus pada efek Seebeck, sehingga efek Peltier, Thomson, dan Joule tidak dibahas dalam penelitian ini.
6. Penelitian ini tidak membahas aspek ekonomi maupun penerapan sistem pada skala besar atau industri

1.5. Sistematika Penulisan Skripsi

Berikut sistematika penulisan skripsi dari penelitian Studi Eksperimental Energi Listrik Sistem *Hybrid* Panel Surya-Termoelektrik Generator.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, permasalahan, pembatasan masalah, tujuan penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan penjelasan teori-teori yang terkait tentang Sistem *Hybrid* Panel Surya-Termoelektrik Generator.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang studi eksperimental energi listrik dari sistem *hybrid* yang menggunakan panel surya dan generator termoelektrik. Bab ini juga menjelaskan materi penelitian, alat yang digunakan, cara melakukan penelitian, cara menganalisis hasil, serta gambaran urutan langkah penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil pengujian terhadap keberhasilan dari kondisi yang telah disebutkan sebelumnya.

BAB V PENUTUP

Bab ini merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dan saran-saran yang diambil oleh penulis yang bertujuan untuk perbaikan hasil skripsi ini kedepannya.