

SKRIPSI

ANALISIS PROTOTIPE *HYBRID* PANEL SURYA DAN *THERMOELECTRIC GENERATOR* DENGAN VARIASI *HEATSINK*



**Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh:

FEBBY ADINDA JHOTI

03041182025019

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PROTOTIPE *HYBRID* PANEL SURYA DAN *THERMOELECTRIC GENERATOR* DENGAN VARIASI *HEATSINK*



Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Oleh:

FEBBY ADINDA JHOTI

03041182025019

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro



Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D. IPU
NIP. 197108141999031005


Indralaya, 14 Mei 2024
Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Ike Bayusari, S.T., M.T.
NIP. 197010181997022001

HALAMAN PERNYATAAN DOSEN

Saya sebagai pembimbing menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya skop dan kuantitas skripsi ini mencukupi sebagai mahasiswa sarjana strata satu (S1).

Tanda Tangan :  _____

Pembimbing Utama : Ike Bayusari, S.T., M.T.

Tanggal : 14 / Mei / 2024

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : FEBBY ADINDA JHOTI
NIM : 03041182025019
Fakultas : TEKNIK
Jurusan/Prodi : TEKNIK ELEKTRO
Universitas : UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Hasil Pengecekan Software (*Thenicate/Turnitin*) : 6%

Menyatakan bahwa laporan hasil penelitian saya yang berjudul “Analisis Prototipe *Hybrid* Panel Surya dan *Thermoelectric Generator* dengan Variasi *Heatsink*“ merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari ditemukan unsur penjibakan atau plagiat dalam karya ilmiah ini, maka Saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tanpa paksaan.

Indralaya, 19 Mei 2024



Febby Adinda Jhoti
NIM 03041182025019

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : FEBBY ADINDA JHOTI
NIM : 03041182025019
Fakultas : TEKNIK
Jurusan/Prodi : TEKNIK ELEKTRO
Universitas : UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**ANALISIS PROTOTIPE HYBRID PANEL SURYA DAN
THERMOELECTRIC GENERATOR DENGAN VARIASI HEATSINK**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Indralaya

Pada tanggal : 19 Mei 2024



Febby Adinda Jhoti

NIM 03041182025019

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan segala berkat dan nikmat-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis Prototipe *Hybrid* Panel Surya dan *Thermoelectric generator* dengan Variasi *Heatsink*” sebagai persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pada jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya. Penulisan tugas akhir ini terwujud atas bantuan dan dukungan oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
2. Ibu Dr. Eng. Suci Dwijayanti, S.T., M.S. selaku Sekretaris Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya..
3. Ibu Ike Bayusari, S.T., M.T. selaku pembimbing tugas akhir yang telah senantiasa memberikan bimbingan, waktu, arahan, ilmu dan nasihat kepada penulis.
4. Bapak Dr. Armin Sofijan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan dukungan, nasehat, dan saran selama perkuliahan.
5. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya yang telah mendidik dan memberikan ilmu selama perkuliahan.
6. Keluarga tercinta, terutama Papa, Mama, dan seluruh keluarga, yang telah menjadi penyemangat, sumber motivasi, dan senantiasa mendoakan penulis selama kuliah hingga pengerjaan tugas akhir ini selesai.
7. Teman-teman kuliah, Nanda, Angel, Diah, Josi, Lola, Meiwa, Muthi’a, Rischantika, dan Yara yang telah menjadi bagian dari cerita suka dan duka kehidupan perkuliahan penulis.
8. Teman-teman setia, Arin, Nanda, Ica, Ayu, dan Irey yang selalu mendengarkan keluh kesah penulis. Tak lupa pula Indri dan Fara yang selalu bermain bersama penulis.
9. Teman–teman seperjuangan satu bimbingan, Virgie, Rosananda, dan seluruh teman-teman satu angkatan Teknik Elektro 2020 yang telah

memberikan banyak motivasi, bantuan, dukungan selama kuliah hingga menyelesaikan proposal tugas akhir.

10. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu–persatu yang turut membantu penulis selama kuliah hingga pengerjaan tugas akhir.

Penulis menyadari adanya kesalahan yang bersumber dari keterbatasan pengetahuan dan kemampuan pribadi dalam pembuatan dan penyelesaian tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis meminta maaf sebesar–besarnya dan mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari seluruh pihak dan pembaca demi memperbaiki tugas akhir ini menjadi lebih baik. Akhir kata, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan menjadi referensi serta menambah ilmu bagi para pembaca dan semua pihak terutama bagi mahasiswa jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dan masyarakat pada umumnya.

Palembang, 12 Maret 2024



Febby Adinda Jhoti

NIM. 03041182025019

ABSTRAK

ANALISIS PROTOTIPE *HYBRID* PANEL SURYA DAN *THERMOELECTRIC GENERATOR* DENGAN VARIASI *HEATSINK*

(Febby Adinda Jhoti, 03041182025019, 2024, 60 Halaman)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan solusi untuk mengurangi dampak negatif pemanasan global dan mendukung keberlanjutan energi di Indonesia. Kombinasi *hybrid* panel surya dan *Thermoelectric Generator* (TEG) diterapkan untuk memaksimalkan keluaran. Namun, daya sistem *hybrid* ini masih perlu ditingkatkan. Penambahan *heatsink* dapat menurunkan suhu sisi dingin TEG, sehingga meningkatkan perbedaan temperatur dan nantinya dapat meningkatkan daya keluaran. Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap tiga prototipe, yaitu prototipe *hybrid* panel surya dan TEG tanpa *heatsink*, dengan *heatsink*, dan dengan *heatsink* ditambah kipas. Setiap prototipe terdiri dari satu panel surya monokristalin 2,4 Wp, empat TEG SP1848-27145 SA yang dirangkai seri, isolasi termal, heatsink, kipas DC, dan lain-lain. Hasil uji menunjukkan bahwa prototipe tanpa *heatsink* menghasilkan daya tertinggi sebesar 1,607 W, sementara prototipe dengan *heatsink* dan prototipe dengan *heatsink* ditambah kipas masing-masing menghasilkan 1,466 W dan 1,537 W. Prototipe *hybrid* panel surya dan TEG tanpa *heatsink* mencapai daya tertinggi karena menghasilkan perbedaan suhu TEG tertinggi. Kondisi ini terjadi karena suhu pada sisi panas TEG mencapai maksimalnya tanpa terpengaruh oleh *heatsink*, dan sisi dingin TEG tetap rendah berkat aliran udara alami dari lingkungan.

Kata kunci : Panel Surya, TEG, Heatsink, Daya

ABSTRACT

ANALYSIS OF HYBRID SOLAR PANEL AND THERMOELECTRIC GENERATOR PROTOTYPE WITH HEATSINK VARIATIONS

(Febby Adinda Jhoti, 03041182025019, 2024, 60 Pages)

Solar Power plant is a solution to reduce the negative impact of global warming and promote energy sustainability in Indonesia. A hybrid combination of solar panel and Thermoelectric Generator (TEG) is deployed to maximize the output. But the power of this hybrid system still needs to be increased. Adding a heatsink can reduce the temperature of the cold side of the TEG, which increases the temperature difference and in turn can increase the output power. In this research, three prototypes were examined, a hybrid prototype of solar panel and TEG without heatsink, with heatsink, and with heatsink and additional *fan*. Each prototype consists of one 2.4 Wp monocrystalline solar panel, four SP1848-27145 SA TEGs assembled in series, thermal insulation, heatsink, DC fan, etc. The experiment results show that the prototype without heatsink produces the highest power of 1.607 W, while the prototype with heatsink and the prototype with heatsink and additional fan produce 1.466 W and 1.537 W, respectively. The hybrid prototype of solar panel and TEG without heatsink achieves the highest power because it produces the highest TEG temperature difference. This condition occurs because the temperature on the hot side of the TEG reaches its maximum without being affected by the heatsink, while the cold side of the TEG remains low due to the natural airflow from the environment.

Keywords: Solar Panel, TEG, Heatsink, Power

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN DOSEN	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR PERSAMAAN	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem <i>Hybrid</i> Panel Surya dengan Generator Termoelektrik	5
2.2 Panel Surya.....	5
2.3 Jenis-jenis Panel Surya.....	7
2.3.1. Panel Surya Monokristalin.....	7
2.3.2. Panel Surya Polikristalin	8
2.3.3. Panel Surya Film Tipis (<i>Thin Film</i>)	8
2.4 Efek Termoelektrik.....	9

2.4.1.	Efek Seebeck.....	10
2.4.2.	Efek Peltier.....	11
2.5	Modul Termoelektrik	12
2.5.1.	<i>Thermoelectric Cooler (TEC)</i>	13
2.5.2.	<i>Thermoelectric generator (TEG)</i>	14
2.6	Rangkaian Seri dan Paralel.....	15
2.6.1.	Rangkaian Seri	15
2.6.2.	Rangkaian Paralel.....	17
2.7	Daya Listrik	18
2.7.1.	Daya Aktif.....	18
2.7.2.	Daya Reaktif.....	18
2.7.3.	Daya Semu	19
2.8	Perpindahan Panas.....	19
2.8.1.	Konduksi	20
2.8.2.	Konveksi	20
2.8.3.	Radiasi.....	22
2.9	Konduktivitas Termal.....	22
2.10	Isolasi Termal	24
2.11	Sistem Pendingin.....	24
2.12	<i>Heatsink</i>	25
2.13	Karakteristik <i>Heatsink</i>	26
2.14	Aluminium.....	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		28
3.1.	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	28
3.2.	Metode Penelitian.....	29
3.3.	Diagram Alir Penelitian.....	30
3.4.	Alat dan Bahan	31
3.5.	Spesifikasi Alat.....	33
3.6.	Desain Alat	34
3.7.	Skema Pengambilan Data.....	36
3.8.	Rangkaian Pengukuran.....	37
3.9.	Prosedur Penelitian.....	38

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1. Umum.....	40
4.2. Data Hasil Pengukuran	41
4.2.1. Data Hasil Pengukuran Prototipe <i>Hybrid</i> Panel Surya dan <i>Thermoelectric generator</i> (TEG) tanpa <i>Heatsink</i>	41
4.2.2. Data Hasil Pengukuran Prototipe <i>Hybrid</i> Panel Surya dan <i>Thermoelectric generator</i> (TEG) dengan <i>Heatsink</i>	42
4.2.3. Data Hasil Pengukuran Prototipe <i>Hybrid</i> Panel Surya dan <i>Thermoelectric generator</i> (TEG) dengan <i>Heatsink</i> Ditambah Kipas.....	43
4.3. Perhitungan Daya Keluaran <i>Hybrid</i> Panel Surya dan TEG dengan Variasi <i>Heatsink</i>	44
4.4. Hasil dan Analisis.....	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	55
5.1. Kesimpulan.....	55
5.2. Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN.....	61

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Proses Konversi Energi Matahari menjadi Energi Listrik [10].....	6
Gambar 2.2 Sel Surya Monokristalin [10]	7
Gambar 2.3 Sel Surya Polikristalin [10]	8
Gambar 2.4 Sel Surya Thin Film [11].....	9
Gambar 2.5 Diagram Efek Seebeck [13]	10
Gambar 2.6 Diagram Efek Peltier [14]	12
Gambar 2.7 Struktur Elemen Termoelektrik [18]	13
Gambar 2.8 Prinsip Kerja TEC berdasarkan Efek Peltier [17]	14
Gambar 2.9 Prinsip Kerja TEG berdasarkan Efek Seebeck [17].....	15
Gambar 2.10 Rangkaian Seri [19].....	16
Gambar 2.11 Rangkaian Paralel [19]	17
Gambar 2.12 Perpindahan Panas secara Konduksi [21]	20
Gambar 2.13 Perpindahan Panas Suatu Permukaan Panas secara Konveksi [21]	21
Gambar 2.14 Perbedaan Konveksi Paksa dan Konveksi Alami [21].....	22
Gambar 2.15 Contoh Isolator-isolator pada Generator Termoelektrik [23]	24
Gambar 2.16 <i>Heatsink</i> [24].....	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3.2 Desain Kerangka Prototipe <i>Hybrid</i> Panel Surya dan TEG dengan Variasi <i>Heatsink</i>	35
Gambar 3.3 Desain Prototipe <i>Hybrid</i> Panel Surya dan TEG tanpa <i>Heatsink</i>	35
Gambar 3.4 Desain Prototipe <i>Hybrid</i> Panel Surya dan TEG dengan <i>Heatsink</i>	35
Gambar 3.5 Desain Prototipe <i>Hybrid</i> Panel Surya dan TEG dengan <i>Heatsink</i> Ditambah Kipas.....	36
Gambar 3.6 Skema Pengambilan Data.....	36
Gambar 3.7 Rangkaian Pengukuran Arus	37
Gambar 3.8 Rangkaian Pengukuran Tegangan	38
Gambar 4.1 Prototipe <i>Hybrid</i> Panel Surya dan <i>Thermoelectric generator</i> (TEG) tanpa <i>Heatsink</i> , dengan <i>Heatsink</i> , dan dengan <i>Heatsink</i> Ditambah Kipas	40

Gambar 4.2 Grafik Rata-rata Tegangan terhadap Variasi <i>Heatsink</i>	46
Gambar 4.3 Grafik Rata-rata Perbedaan Temperatur TEG terhadap Variasi <i>Heatsink</i>	47
Gambar 4.4 Grafik Rata-rata Temperatur Sisi Panas (T_h) dan Sisi Dingin (T_c) TEG terhadap Variasi <i>Heatsink</i>	48
Gambar 4.5 Grafik Rata-rata Arus terhadap Variasi <i>Heatsink</i>	50
Gambar 4.6 Grafik Rata-rata Daya terhadap Variasi <i>Heatsink</i>	51

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Konduktivitas Termal Beberapa Bahan pada Suhu Kamar [21], [22] ..	23
Tabel 3.1 Matriks Waktu Penelitian.....	28
Tabel 3.2 Alat dan Bahan.....	31
Tabel 3.3 Spesifikasi Panel Surya.....	33
Tabel 3.4 Spesifikasi <i>Thermoelectric generator</i> (TEG)	34
Tabel 3.5 Spesifikasi Kipas <i>Heatsink</i>	34
Tabel 3.6 Spesifikasi <i>Heatsink</i>	34
Tabel 4.1 Rata-rata Hasil Pengukuran Prototipe <i>Hybrid</i> Panel Surya dan <i>Thermoelectric generator</i> (TEG) tanpa <i>Heatsink</i>	42
Tabel 4.2 Rata-rata Hasil Pengukuran Prototipe <i>Hybrid</i> Panel Surya dan <i>Thermoelectric generator</i> (TEG) dengan <i>Heatsink</i>	43
Tabel 4.3 Rata-rata Hasil Pengukuran Prototipe <i>Hybrid</i> Panel Surya dan <i>Thermoelectric generator</i> (TEG) dengan <i>Heatsink</i> Ditambah Kipas	44

DAFTAR PERSAMAAN

	Halaman
Persamaan 2.1	11
Persamaan 2.2	11
Persamaan 2.3	16
Persamaan 2.4	16
Persamaan 2.5	16
Persamaan 2.6	17
Persamaan 2.7	17
Persamaan 2.8	18
Persamaan 2.9	18
Persamaan 2.10	19
Persamaan 2.11	19
Persamaan 2.12	44
Persamaan 2.13	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Lampiran Data Prototipe *Hybrid* Panel Surya dan *Thermoelectric generator* (TEG) dengan Variasi *Heatsink*

Lampiran 1.1 Data Hasil Pengukuran Prototipe *Hybrid* Panel Surya dan *Thermoelectric generator* (TEG) tanpa *Heatsink*, dengan *Heatsink*, dan dengan *Heatsink* ditambah Kipas Hari ke-1

Lampiran 1.2 Data Hasil Pengukuran Prototipe *Hybrid* Panel Surya dan *Thermoelectric generator* (TEG) tanpa *Heatsink*, dengan *Heatsink*, dan dengan *Heatsink* ditambah Kipas Hari ke-2

Lampiran 1.3 Data Hasil Pengukuran Prototipe *Hybrid* Panel Surya dan *Thermoelectric generator* (TEG) tanpa *Heatsink*, dengan *Heatsink*, dan dengan *Heatsink* ditambah Kipas Hari ke-3

Lampiran 1.4 Data Hasil Pengukuran Prototipe *Hybrid* Panel Surya dan *Thermoelectric generator* (TEG) tanpa *Heatsink*, dengan *Heatsink*, dan dengan *Heatsink* ditambah Kipas Hari ke-4

Lampiran 1.5 Data Hasil Pengukuran Prototipe *Hybrid* Panel Surya dan *Thermoelectric generator* (TEG) tanpa *Heatsink*, dengan *Heatsink*, dan dengan *Heatsink* ditambah Kipas Hari ke-5

Lampiran 1.6 Data Hasil Pengukuran Prototipe *Hybrid* Panel Surya dan *Thermoelectric generator* (TEG) tanpa *Heatsink*, dengan *Heatsink*, dan dengan *Heatsink* ditambah Kipas Hari ke-6

Lampiran 1.7 Data Hasil Pengukuran Prototipe *Hybrid* Panel Surya dan *Thermoelectric generator* (TEG) tanpa *Heatsink*, dengan *Heatsink*, dan dengan *Heatsink* ditambah Kipas Hari ke-7

Lampiran 2. Prototipe *Hybrid* Panel Surya dan *Thermoelectric generator* (TEG) tanpa *Heatsink*, dengan *Heatsink*, dengan *Heatsink* Ditambah Kipas.

Lampiran 3. Pengambilan Data

Lampiran 3.1 Pengukuran Temperatur TEG dengan Termokopel

Lampiran 3.2 Pengukuran Suhu Permukaan Panel dengan *Thermal Gun*

Lampiran 3.3 Pengukuran Intensitas Cahaya Matahari dengan Lux Meter

Lampiran 3.4 Pengukuran Tegangan dengan Multimeter

Lampiran 3.5 Pengukuran Arus dengan Multimeter

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peningkatan permintaan terhadap energi listrik di Indonesia terjadi setiap tahunnya sejalan dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan perkembangan perekonomian. Saat ini, sebagian besar produksi energi listrik di Indonesia masih mengandalkan batu bara dan bahan bakar fosil lainnya, yang dianggap sebagai penyebab utama perubahan iklim yang kian mengkhawatirkan. Oleh karena itu, pemanfaatan sumber energi terbarukan dianggap sebagai solusi untuk mengatasi dampak buruk pemanasan global sekaligus mencapai keberlanjutan energi. Pemerintah memiliki keyakinan tinggi bahwa sasaran sebesar 23% bauran energi nasional dari Energi Baru Terbarukan (EBT) dapat tercapai di tahun 2025 [1].

Beragam sumber energi terbarukan seperti air, matahari, angin, panas bumi, dan lainnya dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Dari berbagai jenis energi terbarukan tersebut, potensi terbesar di Indonesia terletak pada energi matahari atau surya. Keadaan ini disebabkan oleh letak Indonesia yang berada di garis khatulistiwa, sehingga wilayah Indonesia memiliki potensi energi matahari rata-rata sebesar 4,8 kWh/m²/hari [2]. Oleh sebab itu, guna memenuhi kebutuhan energi listrik Indonesia, pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan salah satu alternatif terbarukan yang paling menjanjikan.

Matahari tidak hanya menghasilkan radiasi matahari, tetapi juga panas. Ketika panel surya beroperasi dan menyerap radiasi matahari untuk menghasilkan energi listrik, ini dapat menyebabkan peningkatan suhu di permukaan panel surya [3]. Peningkatan temperatur permukaan ini dapat menurunkan efisiensi daya keluaran panel surya [4]. Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu perangkat yang bisa mengolah panas tersebut agar dapat memaksimalkan daya keluaran, seperti *Thermoelectric generator* (TEG) yang dapat mengonversi perbedaan temperatur menjadi energi listrik melalui efek Seebeck [5].

Pembangkit listrik dengan gabungan (*hybrid*) antara teknologi panel surya dan generator termoelektrik menjanjikan dalam meningkatkan efisiensi dan

mendukung pengembangan energi terbarukan [6]. Namun, tantangan utamanya adalah daya keluaran yang masih perlu ditingkatkan. Sisi dingin *Thermoelectric generator* (TEG) membutuhkan sistem pendinginan yang efisien untuk memastikan perbedaan temperatur yang optimal antara sisi panas dan dinginnya.

Penelitian sebelumnya oleh Erik Deardo Purba, dkk. dengan judul “Analisis Pemanfaatan Energi Panas Pada Panel Surya Menjadi Energi Listrik Menggunakan Generator Termoelektrik” mengindikasikan bahwa efisiensi sistem *hybrid* panel surya dengan TEG secara keseluruhan dapat turun apabila selisih temperatur antara *hot side* (sisi panas) dan *cold side* (sisi dingin) pada TEG rendah. Penggunaan *heatsink* memiliki potensi besar untuk memperbaiki perbedaan suhu tersebut [3]. Dalam hal ini, penulis akan membuat prototipe *hybrid* panel surya yang dipadukan dengan generator termoelektrik dan memanfaatkan *heatsink* untuk menurunkan suhu pada sisi dinginnya, bertujuan untuk meningkatkan beda temperatur pada sisi dingin dan sisi panas TEG.

1.2. Rumusan Masalah

Mengacu pada penelitian sebelumnya yang berjudul “Analisis Pemanfaatan Energi Panas Pada Panel Surya Menjadi Energi Listrik Menggunakan Generator Termoelektrik” oleh Erik Deardo Purba, dkk., sisi panas dan sisi dingin *Thermoelectric generator* (TEG) tercatat memiliki perbedaan temperatur yang sangat kecil, rata-rata hanya sekitar $4,34^{\circ}\text{C}$. Kondisi ini menyebabkan daya keluaran panel surya yang dikombinasikan dengan TEG tidak maksimal. Permasalahan tersebut muncul karena sisi dingin TEG yang hanya menggunakan *heatsink* pasif. *Heatsink* pasif ini berbahan aluminium, sistem pendinginnya hanya mengandalkan konduksi panas melalui sirip-sirip dan aliran udara lingkungan, sehingga pembuangan panas pada sisi dingin TEG oleh *heatsink* kurang efisien [3].

Untuk itu, penulis ingin melakukan penelitian mengenai perbandingan daya keluaran dari prototipe *hybrid* panel surya dan *Thermoelectric generator* (TEG) dengan variasi *heatsink*, yaitu tanpa *heatsink*, dengan *heatsink*, dan dengan *heatsink* ditambah kipas.

1.3. Tujuan Penelitian

Dengan merumuskan masalah seperti yang disebutkan sebelumnya, tujuan-tujuan berikut hendak dicapai melalui penelitian ini:

1. Membuat prototipe *hybrid* panel surya dan *Thermoelectric generator* (TEG) dengan variasi *heatsink*, yaitu tanpa *heatsink*, dengan *heatsink*, dan dengan *heatsink* ditambah kipas.
2. Mengukur dan menganalisis suhu, tegangan, dan arus pada prototipe *hybrid* panel surya dan *Thermoelectric generator* (TEG) dengan variasi *heatsink*, yaitu tanpa *heatsink*, dengan *heatsink*, dan dengan *heatsink* ditambah kipas.
3. Menghitung dan menganalisis perbandingan daya keluaran pada prototipe *hybrid* panel surya dan *Thermoelectric generator* (TEG) dengan variasi *heatsink*, yaitu tanpa *heatsink*, dengan *heatsink*, dan dengan *heatsink* ditambah kipas.

1.4. Batasan Masalah

Beberapa aspek yang tercakup dalam batasan masalah penelitian ini meliputi:

1. Menggunakan panel surya monokristalin dengan kapasitas 2,4 Wp.
2. Menggunakan 4 buah modul termoelektrik TEG SP1848-27145 yang dirangkai seri.
3. Menggunakan *heatsink* yang terbuat dari aluminium.
4. Penelitian dilakukan dengan sudut kemiringan panel surya 0° terhadap permukaan bumi.
5. Suhu lingkungan diabaikan.
6. Pengambilan data dilakukan satu jam sekali dalam rentang waktu 9.00 WIB hingga 16.00 WIB selama periode 7 hari.
7. Sumber energi kipas berasal dari luar.

1.5. Sistematika Penulisan

Struktur laporan penelitian ini akan mengikuti format berikut guna memberikan panduan yang jelas kepada pembaca:

BAB I PENDAHULUAN

Bagian pendahuluan menjabarkan penjelasan mengenai latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, perumusan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini memuat tinjauan pustaka yang terdiri dari bahasan tentang landasan teoritis yang sesuai dengan penelitian mengenai perancangan prototipe *hybrid* panel surya dengan *Thermoelectric generator* yang dikombinasikan dengan *heatsink* berbahan aluminium dan kipas sebagai sistem pendingin.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini mencakup beberapa pembahasan seperti diagram alir penelitian, lokasi dan waktu pelaksanaan, metode penelitian, skema pengambilan data, alat dan bahan, prosedur penelitian, dan desain alat.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian hasil dan pembahasan terdiri dari beberapa bahasan tentang temuan penelitian yang mencakup data yang telah diambil, pengolahan data, hasil pengukuran, analisis hasil, dan pembahasannya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab kesimpulan dan saran, terdapat rangkuman dari kesimpulan yang didapat selama penelitian, serta saran untuk penelitian berikutnya yang didasarkan pada evaluasi selama proses penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian ESDM RI, “Pemerintah Optimistis EBT 23% Tahun 2025 Tercapai,” *Kementrian ESDM*, 2021. <https://www.esdm.go.id/id/berita-unit/direktorat-jenderal-ketenagalistrikan/pemerintah-optimistis-ebt-23-tahun-2025-tercapai> (accessed Oct. 23, 2023).
- [2] A. Kusmantoro and I. Farikhah, “PENYULUHAN IDENTIFIKASI POTENSI ENERGI MATAHARI SEBAGAI SUMBER LISTRIK DI SD NEGERI TAMBAKHARJO SEMARANG,” *J-ADIMAS (Jurnal Pengabdian Kpd. Masyarakat)*, vol. Volume 10, 2022.
- [3] E. D. Purba, M. R. Kirom, and R. F. I, “Analisis Pemanfaatan Energi Panas pada Panel Surya Menjadi Energi Listrik Menggunakan Generator Termoelektrik,” *e-Proceeding Eng.*, vol. 6, no. 2, 2019.
- [4] P. Harahap, “Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya,” *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 2, Jan. 2020.
- [5] D. Rowe and G. Min, “Peltier Devices as Generators,” in *CRC Handbook of Thermoelectrics*, 1995.
- [6] G. Li, X. Zhao, and J. Ji, “Conceptual development of a novel photovoltaic-thermoelectric system and preliminary economic analysis,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 126, 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2016.08.074.
- [7] A. R. Permadi and A. I. Agung, “Rancang Bangun Hybrid Energy Solar Cell dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Berbasis Microcontroller,” *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 1, 2020.
- [8] S. U. A and S. A. Jumaat, “The Hybrid Photovoltaic-Thermoelectric Generator Configurations for Energy Performance Improvement,” *Int. J. Integr. Eng.*, vol. 14, no. 3, Jun. 2022, doi: 10.30880/ijie.2022.14.03.001.
- [9] A. Julisman, I. D. Sara, and R. H. Siregar, “PROTOTIPE PEMANFAATAN PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER ENERGI PADA SISTEM OTOMASI ATAP STADION BOLA,” *KITEKRO*, vol. 2, no. 1, 2017.

- [10] A. Wibowo, *Instalasi Panel Listrik Surya*. 2022.
- [11] F. Salsa hayani, A. Stefanie, and I. A. Bangsa, "HYBRID GENERATOR THERMOELEKTRIK PANEL SURYA THIN FILM SF 170-S CIS 170 WATT PADA PLTS 1 MW CIRATA," *J. Tek. Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 6, no. 1, 2021, doi: 10.36277/jteuniba.v6i1.102.
- [12] H. J. Goldsmid, *Introduction to Thermoelectricity*, vol. 121. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010.
- [13] G. S. Nolas, J. Sharp, and J. Goldsmid, *Thermoelectrics: basic principles and new materials developments*, vol. 45. 2013.
- [14] I. Bayusari, Caroline, Hermawati, Rahmawati, and M. R. Baskara, "Pendingin Portable Menggunakan Thermoelectric Cooler Tipe TEC1-12706," *J. Rekayasa Elektro Sriwij.*, vol. 3, no. 2, 2022, doi: 10.36706/jres.v3i2.54.
- [15] A. E. Putra, R. Rifky, and A. Fikri, "Pemanfaatan Panas Buang Atap Seng dengan Menggunakan Generator Termoelektrik sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan," *Pros. Semin. Nas. Teknoka*, vol. 3, 2019, doi: 10.22236/teknoka.v3i0.2911.
- [16] I. Bizzy, *Buku Ajar Modul Termoelektrik Teori & Aplikasi*, 1st ed. Palembang: Noer Fikri, 2022.
- [17] H. Hadiansyah, E. Roza, and R. Rosalina, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Panas pada Knalpot Motor," *Pros. Semin. Nas. Teknoka*, vol. 3, 2018, doi: 10.22236/teknoka.v3i0.2827.
- [18] S. Lineykin and S. Ben-Yaakov, "Modeling and analysis of thermoelectric modules," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 43, no. 2, 2007, doi: 10.1109/TIA.2006.889813.
- [19] M. Gussow, *Schaum's Outline of Basic Electricity*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2009.
- [20] M. F. Zambak, *Monitoring Pemakaian Listrik Berbasis Mikrokontroler*. Medan: Umsu Press, 2022.
- [21] Y. Cengel, "Heat Transfer: A Practical Approach," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, 2013.
- [22] S. Takeuchi, H. Kondo, and H. Goto, "Heat-conductive hot-melt adhesive

- composition,” Jul. 07, 2009.
- [23] Vazri Muharom and Rifky, “Pengaruh Sifat Konduktivitas Termal Material Isolator (Kayu, Karet Dan Styrofoam) Terhadap Perpindahan Panas Dan Daya Keluaran Sistem Generator Thermoelectric,” *Met. J. Manufaktur, Energi, Mater. Tek.*, vol. 1, no. 1, 2022, doi: 10.22236/metalik.v1i1.8464.
- [24] A. Pawawoi and Z. Zulfahmi, “Penambahan Sistem Pendingin Heatsink Untuk Optimasi Penggunaan Reflektor Pada Panel Surya,” *J. Nas. Tek. ELEKTRO*, vol. 8, no. 1, 2019, doi: 10.25077/jnte.v8n1.607.2019.
- [25] R. W. Jatnika, T. A. Ajiwiguna, and ..., “Pengaruh Beban Kalor Terhadap Thermal Resistance Pada Heat Sink *Fan*,” *eProceedings ...*, vol. 5, no. 3, 2018.
- [26] N. H. Pranita, K. Azura, A. Ismardi, T. A. Ajiwiguna, and I. P. Handayani, “Implementing thermoelectric generator on CPU processor,” 2015, doi: 10.1109/ICCEREC.2015.7337026.
- [27] T. D. Sugiarto, I. P. Handayani, R. F. Iskandar, F. T. Elektro, and U. Telkom, “Analisis Dan Simulasi Distribusi Panas Pada Heat Sink Processor Cpu Dengan Comsol Multiphysics Analysis and Simulation of Heat Distribution in Heat Sink,” *J. Eproc Telkom Univ.*, no. 1, 2016.
- [28] K. T. Chiang and F. P. Chang, “Application of response surface methodology in the parametric optimization of a pin-fin type heat sink,” *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 33, no. 7, 2006, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2006.04.011.
- [29] E. S. A. Putra and W. Rhamadhani, “Pengaruh Jumlah Sirip Pendingin Heatsink dan Level Indikator Pendingin Kulkas terhadap Daya Output yang dihasilkan dari Termoelektrik Generator TEC 12706 yang menjadikan Kompresor Kulkas sebagai Sumber Energi Panas,” *Publ. Online Mhs. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 1, 2018.
- [30] Kennedy, K. Anwar, and M. Briand Anggara, “Pengaruh Laju Aliran Fluida Liquid-Cooled Heat Sink Terhadap Unjuk Kerja Sistem Pendingin Termoelektrik,” *Rekayasa Mater. Sist. manufaktur dan Energi 2016*, 2016.
- [31] D. I. Nasution, “Analisa Perpindahan Panas Konveksi Pada Pendingin Komponen Elektronik,” Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara,

2019.

- [32] I. K. Wijaya, *Material Teknik Elektro*. Denpasar, 2015.