

**ANALISIS PENGGUNAAN *THERMOELECTRIC GENERATOR* (TEG)
TIPE SP1848-27145 PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK
BERBASIS BIOMASSA**

(SKRIPSI)

**Oleh
APRILIA HABIBAH
2217041025**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

ABSTRAK

ANALISIS PENGGUNAAN *THERMOELECTRIC GENERATOR* (TEG) TIPE SP1848-27145 PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK BERBASIS BIOMASSA

OLEH

APRILIA HABIBAH

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penggunaan *Thermoelectric Generator* (TEG) tipe SP1848-27145 pada sistem pembangkit listrik berbasis biomassa menggunakan *rocket stove* sebagai sumber panas. Sistem terdiri dari 12 modul TEG SP1848-27145 yang disusun seri, *rocket stove*, sistem pendingin air, termokopel, dan multimeter digital. Metode penelitian meliputi perancangan alat, pengujian menggunakan biomassa kayu, kertas, dan bonggol jagung, serta analisis hubungan perbedaan suhu (ΔT) terhadap tegangan, arus, dan daya listrik yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar perbedaan suhu, maka tegangan, arus, dan daya keluaran generator termoelektrik juga meningkat. Biomassa kayu menghasilkan performa paling optimal dibandingkan kertas dan bonggol jagung karena menghasilkan panas yang lebih stabil. Pada pengujian tanpa beban, tegangan maksimum yang dihasilkan mencapai 12,36 V menggunakan biomassa kayu. Sistem pendingin air mampu menjaga perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin modul sehingga keluaran listrik menjadi lebih stabil. Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa modul TEG SP1848-27145 berpotensi digunakan sebagai pembangkit listrik skala kecil berbasis biomassa yang sederhana, efisien, dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: *Thermoelectric Generator*, biomassa, *rocket stove*, efek *Seebeck*.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE USE OF THE THERMOELECTRIC GENERATOR (TEG) TYPE SP1848-27145 IN A BIOMASS-BASED POWER GENERATION SYSTEM

BY

APRILIA HABIBAH

This study aims to analyze the use of Thermoelectric Generator (TEG) type SP1848-27145 in a biomass-based power generation system using a rocket stove as a heat source. The system consists of 12 TEG SP1848-27145 modules arranged in series, a rocket stove, a water cooling system, thermocouples, and a digital multimeter. The research method includes tool design, testing using wood biomass, paper, and corn cobs, and analyzing the relationship between temperature differences (ΔT) and the voltage, current, and electrical power produced. The results show that the greater the temperature difference, the voltage, current, and power output of the thermoelectric generator also increase. Wood biomass produces the most optimal performance compared to paper and corn cobs because it produces more stable heat. In no-load testing, the maximum voltage produced reaches 12.36 V using wood biomass. The water cooling system is able to maintain the temperature difference between the hot and cold sides of the module so that the electrical output becomes more stable. The research conclusion shows that the TEG SP1848-27145 module has the potential to be used as a simple, efficient, and environmentally friendly biomass-based small-scale power generator.

Keywords: Thermoelectric Generator, biomass, rocket stove, Seebeck effect.

**ANALISIS PENGGUNAAN *THERMOELECTRIC GENERATOR* (TEG)
TIPE SP1848-27145 PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK
BERBASIS BIOMASSA**

Oleh

Aprilia Habibah

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

Judul Skripsi : Analisis Penggunaan *Thermoelectric*
Generator (TEG) Tipe Sp1848-27145
Pada Sistem Pembangkit Listrik
Berbasis Biomassa

Nama Mahasiswa : **Aprilia Habibah**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2217041025

Jurusan : Fisika

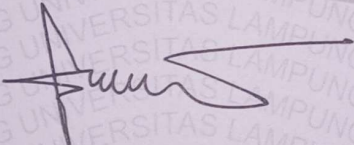
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



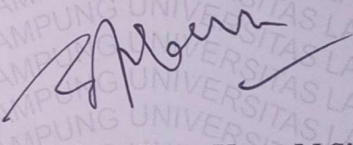
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

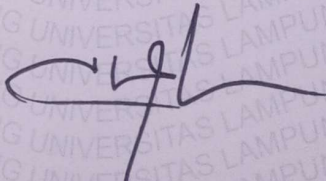

Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.

NIP. 198010102005011002


Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.

NIP. 196107231986031003

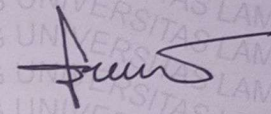
2. Ketua Jurusan Fisika


Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.
NIP. 199011252019032018

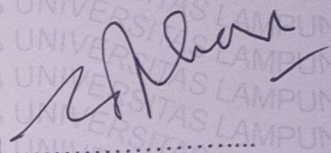
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

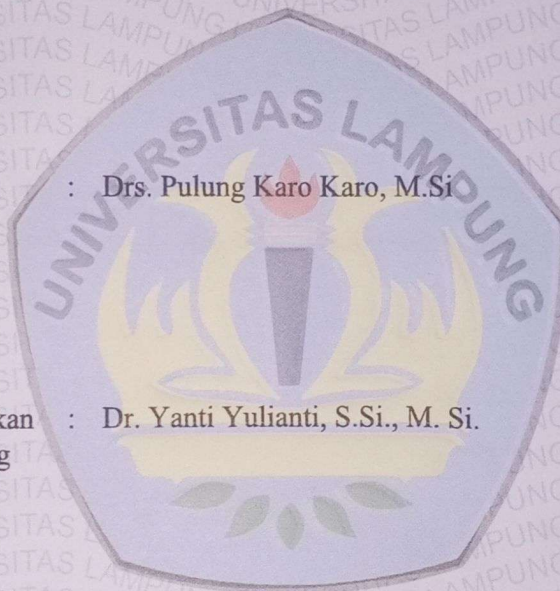
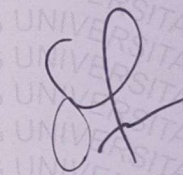
Ketua : Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.



Sekretaris : Drs. Pulung Karo Karo, M.Si



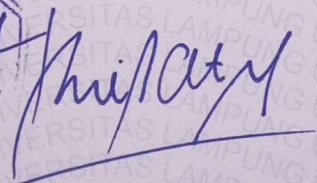
Penguji Bukan Pembimbing : Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M. Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 24 Juni 2026

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis mengacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi dan bertanggung jawab sebatas dengan pemaparan dari skripsi ini.

Bandar Lampung, 24 Juni 2026

Yang Menyatakan



Aprilia Habibah

NPM. 2217041025

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Aprilia Habibah, lahir di Pekurun Selatan, Kabupaten Lampung Utara pada tanggal 04 April 2004. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Miarno dan Ibu Sunarni. Penulis menyelesaikan Pendidikan di SDN 02 Subik pada tahun 2016, Mts Nurul Falah Subik pada tahun 2019, dan SMAN 1 Abung Tengah pada tahun 2022.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Lampung melalui SNMPTN tahun 2022. Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, penulis tergabung di Himpunan Mahasiswa Fisika sebagai anggota Sains dan Teknologi pada periode 2022-2024, penulis juga tergabung di Badan Eksekutif Mahasiswa sebagai Staf Ahli Dinas Pemberdayaan Wanita pada periode 2023-2024 dan menjadi Wakil Ketua Bidang Advokasi Dinas Advokasi dan Kesejahteraan Mahasiswa periode 2025.

Penulis telah melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Bukit Asam Tbk. Unit Pelabuhan Tarahan pada tahun 2025 dan menyelesaikan laporan PKL dengan judul “Analisis Kinerja *Heat Exchanger (Superheater)* Pada Boiler *Circulating Fluidized Bed* di PLTU Pelabuhan Tarahan 2×8 Mw”. Penulis melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode II tahun 2025 di Kelurahan Rajabasa Jaya, Kecamatan Rajabasa, Bandar Lampung. Selain itu penulis pernah menjadi asisten Praktikum Fisika Eksperimen dan Teknologi Sel Surya tahun 2026.

MOTTO

“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Q.s Al Baqarah : 286)

“Yang pergi biarlah pergi, yang tinggal sudah semestinya dijaga”

(Tenderlova – Tulisan Sastra)

“Apa material termahal di dunia? Tangis bangga dari ayah dan ibumu”

(J.S Khairen – Dompot Ayah Sepatu Ibu)

“Tidak masalah seberapa lambat anda berjalan, Asalkan anda tidak berhenti.

Finish What You Started”

“Allah nomor satu, maka kamu tidak akan jadi yang terakhir”

- Aprilia Habibah -

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur kepada Allah SWT, skripsi ini ku persembahkan kepada

Bapak Miarno dan Ibu Sunarni

Kedua orang tuaku, terimakasih atas segala kasih dan sayang serta dukungan baik materi atau non materi yang telah diberikan kepadaku.

Adik-adikku Defira Ar Rahmah dan Defina Al Hidayah

Terimakasih atas segala do'a dan semangat yang kalian berikan kepadaku.

Bapak/Ibu dosen dan Civitas akademik

Terimakasih atas motivasi, dukungan, ilmu dan bimbingannya hingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai Sarjana.

Para Sahabat dan teman-teman seperjuangan

Fisika FMIPA Unila 2022

Terimakasih atas kebaikan, kebersamaan dan kenangan yang telah dilalui.

Serta almamater tercinta

"Universitas Lampung"

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Analisis Penggunaan *Thermoelectric* Generator (TEG) Tipe SP1848-27145 pada Sistem Pembangkit Listrik Berbasis Biomassa”** dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik generator termoelektrik berbasis biomassa menggunakan modul TEG tipe SP1848-27145 serta mengkaji pengaruh perbedaan suhu terhadap kinerja listrik yang dihasilkan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan penelitian di masa mendatang. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat serta menjadi salah satu referensi dalam pengembangan penelitian di bidang konversi energi, khususnya pemanfaatan generator termoelektrik berbasis biomassa sebagai sumber energi alternatif.

Bandar Lampung, 24 Juni 2026
Yang Menyatakan

Aprilia Habibah
NPM. 2217041025

SANWACANA

Alhamdulillahirobbilalamin. Segala puji kehadiran Allah SWT. yang telah memberikan limpahan rahmat, hidayat serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul “**Analisis Penggunaan *Thermoelectric Generator* (TEG) Tipe SP1848-27145 pada Sistem Pembangkit Listrik Berbasis Biomassa**”. Penulis menyadari penulisan skripsi ini dapat tersusun dan terselesaikan dengan adanya bantuan, motivasi dan do’a dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan semangat selama pengerjaan skripsi kepada penulis.
2. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan semangat dan dukungan penuh selama pengerjaan skripsi kepada penulis.
3. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan arahan, kritik dan saran yang membangun selama pengerjaan skripsi kepada penulis.
4. Ibu Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si., selaku ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak dan Ibu Dosen serta staff Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu, pengalaman dan motivasi kepada penulis selama perkuliahan.
7. Kedua orang tua saya Bapak Miarno dan Ibu Sunarni serta nenek saya tercinta

Almh. Umiyatun dan keluarga besar saya yang telah memberikan kasih sayang yang melimpah, dukungan, juga semangat yang tulus bagi penulis dari kecil hingga saat ini.

8. Saudara penulis, Defira Ar Rahmah dan Defina Al Hidayah yang telah memberikan doa dan semangat selama pengerjaan skripsi kepada penulis.
9. Teman - teman “Sekawan Limo”, yaitu Kharisma Khusnul fadila, Nola Maro’atus Sholeha, Isnaini Putri dan Milatul Zahro yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis serta menjadi sahabat terbaik dari masa putih biru sampai sekarang.
10. Teman – teman “Kost BudePri”, yaitu Tuti Herdian Lestari, Sella Monica, dan Salwa Ghina Mufida yang selalu menemani proses dan menjadi tempat berkeluh kesah ternyaman penulis selama perkuliahan.
11. Teman – teman dekat penulis, yaitu Aulia Dwi Andini, Tuti Herdian Lestari, almh. Siska Loviani, ‘Tipen genk’ yang selalu memberikan dukungan penuh dan menghibur penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Seluruh teman - teman Jurusan Fisika Angkatan 2022 yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terima kasih selalu memberikan semangat dan dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Demikian yang dapat penulis sampaikan, masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan dalam penyusunan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini mampu dijadikan sebagai referensi yang bermanfaat. Semoga Allah SWT. selalu memberikan rezeki serta karunia-Nya. Aamiin.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
MENGESAHKAN	vi
PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP.....	viii
MOTTO.....	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah	6
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Penelitian Terkait	7
2.2 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya.....	9
2.3 Dasar Teori.....	10
2.3.1 Termoelektrik	10
2.3.2 Prinsip Kerja Termoelektrik.....	11
2.3.3 Efek <i>Seebeck</i>	11
2.3.4 Prinsip Kerja Efek Peltier	13

2.3.5	Efek Joule – Thomson	14
2.3.6	Karakteristik TEG SP1848-27145	15
2.3.7	Sistem Konversi Energi Panas Biomassa.....	17
	Cukup besar agar efisiensi konversi energi tetap optimal.....	18
2.3.8	Sistem Konversi Energi Termoelektrik.....	18
III.	METODE PENELITIAN.....	23
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2	Alat dan Bahan.....	23
3.3	Prosedur Penelitian	24
3.3.1	Perancangan Perangkat Generator Termoelektrik dengan TEG Tipe SP1848-27145.....	26
3.3.2	Pengujian Perangkat Generator Termoelektrik TEG Tipe SP1848-27145.....	27
3.4	Rancangan Data Hasil Penelitian	28
3.5	Rancangan Analisis Data Pengamatan	31
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1	Realisasi Alat	36
4.1.1	Realisasi Sistem Termoelektrik Modul TEG SP1848-2714.....	36
4.2	Hasil Pengamatan dan Perhitungan Generator Termoelektrik Modul TEG SP1848-2714.....	36
4.2.1	Pengukuran Tegangan tanpa Beban	36
4.2.2	Pengukuran dan Analisis Hubungan ΔT terhadap Tegangan dengan Beban untuk Masing-Masing Biomassa.....	40
4.2.3	Pengukuran dan Analisis Hubungan ΔT terhadap Arus untuk Masing-Masing Biomassa.....	42
4.2.4	Pengukuran dan Analisis Hubungan ΔT terhadap Daya untuk Masing-Masing Biomassa	45
4.3	Karakteristik Kestabilan Keluaran Listrik Generator Termoelektrik	47
4.3.1	Karakteristik Tegangan terhadap Waktu	47
4.3.2	Karakteristik Arus terhadap Waktu	51
4.3.3	Karakteristik Daya terhadap Waktu	54
V.	SIMPULAN DAN SARAN	58
5.1	Simpulan.....	58
5.2	Saran	58
	DAFTAR PUSTAKA.....	60
	LAMPIRAN	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sosialisasi pembakaran sampah menggunakan <i>rocket stove</i>	8
Gambar 2.2 Susunan <i>Thermoelectric Generator</i>	11
Gambar 2.3 Termokopel Sempel	12
Gambar 2.4 Sistem Peltier.....	14
Gambar 2.5 Sistem suhu TEG.....	16
Gambar 2.6 Proses konversi energi termoelektrik.....	19
Gambar 3.1 Diagram Alir.....	25
Gambar 3.2 Diagram blok sistem termoelektrik	26
Gambar 3.3 Desain alat termoelektrik.....	27
Gambar 3.4 Grafik hubungan tegangan tanpa beban terhadap perbedaan suhu pada Modul TEG tanpa Beban (Kayu)	31
Gambar 3.5 Grafik hubungan tegangan tanpa beban terhadap perbedaan suhu pada Modul TEG tanpa Beban (Kertas).....	31
Gambar 3.6 Grafik hubungan tegangan tanpa beban terhadap perbedaan suhu pada Modul TEG tanpa Beban (Bonggol Jagung).	32
Gambar 3.7 Grafik hubungan Daya terhadap perbedaan suhu pada TEG dengan beban (Kayu).....	32
Gambar 3.8 Grafik hubungan Daya terhadap perbedaan suhu pada TEG dengan beban (Kertas).....	33
Gambar 3.9 Grafik hubungan Daya terhadap perbedaan suhu pada TEG dengan beban (Bonggol Jagung).	33
Gambar 4.1 Realisasi Alat (a) <i>Rocket Stove</i> (b) Pemasangan modul di Rocket.....	35
Gambar 4.2 Pengukuran tegangan tanpa beban terhadap perbedaan suhu pada pembakaran 1 Kg untuk masing-masing Biomassa.....	37
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara ΔT terhadap tegangan keluaran generator termoelektrik dengan beban untuk masing-masing Biomassa.....	41

Gambar 4.4 Grafik hubungan antara ΔT terhadap arus untuk masing-masing Biomassa	43
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara ΔT terhadap Daya untuk Masing-Masing Biomassa	45
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara Tegangan terhadap Waktu	48
Gambar 4.7 Grafik hubungan antara Arus terhadap Waktu	51
Gambar 4.8 Grafik hubungan antara Daya terhadap Waktu	54

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Alat Penelitian	23
Tabel 3.2 Bahan Penelitian.....	24
Tabel 3.3 Data Modul TEG tanpa Beban (Kayu).....	29
Tabel 3.4 Data Modul TEG tanpa Beban (Kertas)	29
Tabel 3.5 Data Modul TEG tanpa Beban (Bonggol Jagung)	29
Tabel 3.6 Data Modul TEG dengan Beban (Kayu).....	30
Tabel 3.7 Data Modul TEG dengan Beban (Kertas)	30
Tabel 3.8 Data Modul TEG dengan Beban (Bonggol Jagung)	30

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan energi yang stabil, berkelanjutan, dan mudah diakses merupakan prasyarat fundamental bagi pembangunan sosial, ekonomi, dan teknologi suatu negara. Dalam beberapa dekade terakhir, kebutuhan energi Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk, urbanisasi, perkembangan industri, serta meningkatnya aktivitas transportasi dan rumah tangga. Ketergantungan yang masih dominan pada energi fosil menghadirkan tantangan serius, baik dari aspek keterbatasan cadangan, volatilitas harga global, maupun dampak lingkungan yang ditimbulkan. Untuk menjawab permasalahan tersebut, pemerintah telah menetapkan arah transisi energi melalui Kebijakan Energi Nasional (KEN) dan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), yang menargetkan peningkatan porsi energi terbarukan dalam bauran energi nasional (Setyono & Kiono, 2021). Namun, perkembangan energi terbarukan di Indonesia masih relatif lambat sehingga diperlukan pendekatan yang lebih menyeluruh, tidak hanya bergantung pada teknologi skala besar, tetapi juga melalui pemanfaatan potensi energi alternatif yang sederhana, terjangkau, dan dapat diterapkan pada tingkat masyarakat. Salah satu potensi yang masih belum dimaksimalkan adalah pemanfaatan energi panas buangan (*waste heat*) dari berbagai proses pembakaran. Teknologi termoelektrik menawarkan solusi untuk memanfaatkan panas buangan tersebut, karena mampu mengonversi energi panas menjadi listrik secara langsung dengan memanfaatkan gradien suhu antara sisi panas dan sisi dingin modul (Rebillion *et al.*, 2024). Optimalisasi pemanfaatan panas buangan ini menjadi peluang strategis dalam

meningkatkan efisiensi energi sekaligus memperluas kontribusi energi terbarukan dalam bauran energi nasional.

Salah satu sumber *waste heat* yang tersedia melimpah dan mudah dijumpai di tingkat rumah tangga maupun industri kecil adalah proses pembakaran biomassa. Biomassa, seperti kayu, ranting, serbuk gergaji, dan limbah pertanian, merupakan sumber energi terbarukan yang secara alami dapat diperbarui dan telah lama digunakan sebagai bahan bakar tradisional. Studi teoritis menunjukkan bahwa karakteristik termal pembakaran kayu energi, seperti Gamal dan Sengon, sangat dipengaruhi oleh rasio udara dan kondisi tungku adiabatik, sehingga menentukan distribusi panas dan kualitas pembakaran (Mawardi *et al.*, 2024). Hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa variasi suplai udara dan jenis kayu memengaruhi intensitas panas buangan, yang dapat menjadi sumber energi potensial untuk konversi listrik. Pemanfaatan panas buangan ini dapat dilakukan melalui perangkat termoelektrik, yang bekerja berdasarkan perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin. Penelitian eksperimental juga menunjukkan bahwa integrasi TEG pada boiler biomassa dapat dipengaruhi oleh faktor teknis seperti deposisi abu dan distribusi aliran panas, sehingga desain tungku yang efisien dan pengaturan aliran panas menjadi penting untuk memperoleh *output* listrik yang stabil (Royo & Canalís, 2023). Dengan demikian, pengembangan sistem pembangkit listrik berbasis biomassa yang memaksimalkan pemanfaatan panas buangan tetap menjadi peluang penelitian yang penting, terutama pada skala kecil dan dengan desain tungku yang hemat biaya serta mudah diterapkan.

Pengembangan teknologi tungku biomassa efisiensi tinggi semakin mendapat perhatian, terutama sebagai solusi energi alternatif di rumah tangga dan komunitas pedesaan. *Rocket stove*, salah satu desain tungku yang populer di negara berkembang, menawarkan pembakaran yang lebih stabil melalui ruang bakar terisolasi, jalur aliran udara terarah, dan efek cerobong, sehingga temperatur ruang bakar bisa tinggi dan relatif konstan. Desain ini memungkinkan pemanfaatan panas secara lebih efektif, sekaligus mengurangi emisi gas yang

dihasilkan selama pembakaran. Integrasi modul termoelektrik (TEG) pada *rocket stove* terbukti meningkatkan efisiensi pembakaran sekaligus menghasilkan listrik dari panas buangan. *Rocket stove* mampu menghasilkan daya listrik 3,5–5 W dengan perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin TEG sekitar 72–122 °C, cukup untuk menyalakan lampu LED, kipas kecil, atau mengisi perangkat elektronik portabel (Elias & Dino, 2024). Hasil ini sejalan dengan penelitian pada *cook stove* biomassa yang dilengkapi TEG, yang juga menunjukkan konversi panas buangan menjadi listrik yang dapat digunakan untuk beban listrik kecil, serta menekankan pentingnya desain tungku dan pengaturan aliran panas untuk memperoleh output listrik yang stabil (Reddy, 2014). Dengan demikian, *rocket stove* dan *cook stove* biomassa yang dioptimalkan dengan TEG menunjukkan potensi signifikan sebagai sumber energi listrik terbarukan yang sederhana, hemat biaya, dan dapat diterapkan di area dengan akses listrik terbatas, sekaligus memperkuat peran pemanfaatan panas buangan sebagai bagian dari strategi peningkatan efisiensi energi di skala rumah tangga.

Konversi panas buangan menjadi energi listrik pada sistem berbasis tungku biomassa dapat dilakukan secara langsung melalui teknologi termoelektrik yang bekerja berdasarkan *efek Seebeck*. Perbedaan suhu antara sisi panas (T_h) dan sisi dingin (T_c) dari modul semikonduktor menghasilkan beda potensial listrik, sehingga memungkinkan proses konversi energi tanpa mekanisme kerja mekanik. Kinerja sistem TEG sangat dipengaruhi oleh koefisien *Seebeck*, tahanan listrik internal, konduktansi termal modul, serta kestabilan distribusi panas. Keberhasilan konversi juga membutuhkan pengaturan sisi panas dan sisi dingin serta penggunaan *heatsink* untuk mempertahankan ΔT (Sari *et al.*, 2024). Selain gradien suhu, penelitian eksperimental menunjukkan bahwa performa TEG sangat dipengaruhi oleh jumlah modul, susunan layout, dan aliran panas. Optimasi konfigurasi modul dapat meningkatkan daya listrik dari panas buangan sekaligus meminimalkan kerugian panas, sehingga output listrik lebih stabil dan efisien. Temuan ini menekankan pentingnya desain modul dan distribusi panas yang tepat untuk sistem TEG pada tungku atau boiler biomassa skala kecil yang

Yang dapat diterapkan di kehidupan masyarakat dengan sumber daya yang melimpah karena yang dimanfaatkan berupa limbah panas dari pembakaran biomassa yang sering dilakukan masyarakat (Ma *et al.*, 2024).

Sejumlah penelitian mengungkapkan bahwa modul TEG dan TEC memiliki karakteristik keluaran yang berbeda, terutama dalam hal efisiensi dan kestabilan tegangan, sehingga pemilihan modul yang tepat sangat bergantung pada kondisi sumber panas yang digunakan (Almunir & Rifky, 2023). Perbedaan karakteristik ini berkaitan dengan koefisien *Seebeck*, resistansi internal, serta kemampuan modul dalam mempertahankan performa saat terjadi perubahan temperatur. Namun, sebagian besar penelitian terdahulu menggunakan sumber panas stabil seperti pemanas listrik atau air panas, sehingga belum menggambarkan kondisi nyata ketika modul termoelektrik bekerja pada panas biomassa yang fluktuatif. Penelitian eksperimental pada *cookstove* biomassa menunjukkan bahwa optimasi desain, termasuk jumlah modul, layout, *heatsink*, dan insulasi, sangat memengaruhi kestabilan tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan. Hasil ini menekankan bahwa performa TEG di kondisi nyata dapat berbeda signifikan dibanding pengujian laboratorium, sehingga pemilihan konfigurasi modul dan pengelolaan aliran panas menjadi faktor krusial (Kumar & Purushothama, 2024).

Kesenjangan penelitian tersebut menunjukkan perlunya kajian yang dapat memberikan gambaran lebih menyeluruh mengenai performa termoelektrik pada kondisi sumber panas nyata. Analisis hubungan antara perbedaan suhu dan keluaran listrik, serta evaluasi kestabilan output modul ketika digunakan pada pembakaran biomassa, sangat penting untuk menentukan kelayakan teknologi ini sebagai pembangkit listrik skala kecil yang dapat diimplementasikan secara praktis dan berbiaya rendah. Biomassa merupakan sumber energi yang melimpah di banyak daerah, sehingga pemanfaatannya melalui konversi termoelektrik dapat menjadi alternatif energi yang efisien dan sederhana.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan membandingkan keluaran listrik dari modul TEG SP1848-27145 pada

sistem pembangkit berbasis biomassa menggunakan *rocket stove*. Penelitian ini mencakup pengukuran hubungan antara perbedaan suhu (ΔT) dengan tegangan, arus, dan daya listrik pada modul dalam kondisi panas biomassa yang tidak stabil. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengembangan teknologi pembangkit listrik termoelektrik skala kecil dan memberikan kontribusi bagi pemanfaatan energi panas buangan biomassa secara lebih efektif, efisien, dan ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana hubungan perbedaan suhu (ΔT) terhadap tegangan, arus, dan daya listrik pada modul TEG SP1848-27145 ketika digunakan pada sumber panas biomassa menggunakan *rocket stove*?
2. Bagaimana perbandingan performa keluaran listrik (tegangan, arus, dan daya) modul TEG SP1848-27145 ketika dioperasikan pada kondisi panas biomassa yang berbeda?
3. Bagaimana karakteristik kestabilan keluaran listrik generator termoelektrik selama proses pembakaran biomassa pada *rocket stove*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui hubungan antara perbedaan suhu (ΔT) dengan tegangan, arus, dan daya listrik yang dihasilkan modul TEG SP1848-27145 pada sumber panas biomassa.
2. Membandingkan performa keluaran listrik modul tersebut (tegangan, arus, dan daya) ketika dioperasikan pada kondisi panas biomassa yang berbeda.
3. Menganalisis karakteristik kestabilan keluaran listrik generator termoelektrik selama proses pembakaran biomassa pada *rocket stove*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian adalah sebagai berikut.

1. Memberikan informasi mengenai pemanfaatan panas biomassa untuk menghasilkan listrik menggunakan modul termoelektrik.
2. Menjadi referensi dalam pemilihan modul termoelektrik yang sesuai untuk pembangkit listrik sederhana berbahan bakar biomassa.
3. Menjadi dasar pengembangan teknologi pembangkit listrik termoelektrik skala kecil yang mudah diterapkan masyarakat.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Modul termoelektrik yang digunakan hanya TEG SP1848-27145.
2. Sumber panas yang digunakan hanya berasal dari *rocket stove* berbahan bakar biomassa.
3. Parameter yang diamati terbatas pada perbedaan suhu (ΔT), tegangan, arus, dan daya listrik.
4. Sistem pendinginan modul menggunakan metode pengaliran air secara langsung.
5. Penelitian tidak membahas umur pakai modul, struktur material, maupun analisis ekonomi sistem.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian yang dilakukan oleh Isa *et al.*, (2025) meneliti pemanfaatan limbah batang padi sebagai sumber energi listrik melalui sistem termoelektrik generator. Penelitian ini menekankan desain tungku yang dapat menyalurkan panas secara optimal ke modul TEG, termasuk pengaturan ruang bakar, aliran udara, dan isolasi termal. Hasil pengukuran temperatur menunjukkan variasi panas signifikan di berbagai titik tungku, yang memengaruhi perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin modul TEG. Perbedaan suhu ini selanjutnya menentukan besarnya tegangan, arus, dan daya listrik yang dihasilkan. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa penggunaan isolasi tambahan pada sisi panas modul mampu meningkatkan ΔT hingga 15–20%, sehingga daya listrik yang dihasilkan menjadi lebih stabil dan efisien. Dengan demikian, penelitian ini memberikan wawasan tentang pentingnya desain tungku yang mampu mengarahkan dan menahan panas untuk memaksimalkan kinerja.

Penelitian yang dilakukan oleh Ramadhan *et al.*, (2025) fokus pada penggunaan *rocket stove* untuk pembakaran sampah rumah tangga secara efisien dan ramah lingkungan. *Rocket stove* dipilih karena memiliki ruang bakar terisolasi, jalur aliran udara terarah, dan efek cerobong yang memungkinkan temperatur ruang bakar tinggi dan stabil, sehingga emisi gas dapat dikurangi. Penelitian ini melibatkan sosialisasi penggunaan *rocket stove* di masyarakat

Desa Mekarwangi dan pengamatan performa tungku selama pembakaran sampah seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.1**. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa *rocket stove* mampu membakar sampah lebih cepat, panas tersebar merata, dan penggunaan bahan bakar lebih sedikit dibanding tungku tradisional. Penelitian berfokus pada efisiensi pembakaran dan dampak lingkungan yang memberikan dasar kuat bahwa *rocket stove* adalah solusi tungku efisien untuk pemanfaatan panas, yang relevan jika dikombinasikan dengan modul TEG di penelitian lain.



Gambar 2.1 Sosialisasi pembakaran sampah menggunakan *rocket stove* (Ramadhan *et al.*, 2025)

Penelitian skripsi yang dilakukan oleh Pasaribu, (2023) meneliti pemanfaatan panas dari tungku pembakaran sate untuk menghasilkan energi listrik melalui modul termoelektrik. Penelitian ini menekankan analisis distribusi temperatur di berbagai titik dalam tungku serta posisi optimal modul TEG untuk memperoleh *output* listrik yang maksimal. Eksperimen dilakukan dengan memasang TEG pada sisi dinding tungku yang menerima panas langsung dari pembakaran arang, sementara temperatur diukur pada beberapa titik strategis untuk menentukan gradien suhu (ΔT) yang paling efektif. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa ΔT yang terbentuk di sisi panas dan sisi dingin modul menghasilkan tegangan dan arus yang cukup stabil untuk menyalakan beban listrik kecil, seperti lampu LED dan kipas portabel. Penelitian ini juga mencatat bahwa distribusi panas di tungku tidak merata, sehingga penempatan TEG yang tepat dan penggunaan isolasi

termal sangat penting untuk memaksimalkan kinerja konversi energi. Temuan ini memberikan panduan praktis untuk desain tungku sederhana yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber listrik alternatif dari panas buangan pembakaran makanan.

Penelitian yang dilakukan oleh Oktabiansyah & Rifky (2023) menganalisis pengaruh variasi tegangan dan arus listrik terhadap performa modul termoelektrik, khususnya TEC-12706, dalam aplikasi pendinginan dan konversi energi panas menjadi listrik. Penelitian ini dilakukan dengan memberikan gradien temperatur yang dikontrol pada modul dan mengamati perubahan tegangan, arus, serta daya keluaran yang dihasilkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan tegangan input dan pengaturan arus secara tepat dapat meningkatkan efisiensi modul, tetapi jika tidak disesuaikan, dapat menurunkan stabilitas tegangan dan arus akibat peningkatan resistansi internal. Studi ini menekankan pentingnya pengaturan kondisi operasional modul dan penggunaan *heatsink* atau pendingin tambahan untuk menjaga ΔT tetap optimal. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa performa TEG atau TEC sangat tergantung pada pengelolaan listrik dan distribusi panas, dan bahwa optimasi konfigurasi modul menjadi langkah krusial untuk aplikasi nyata di sistem berbasis panas biomassa.

2.2 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

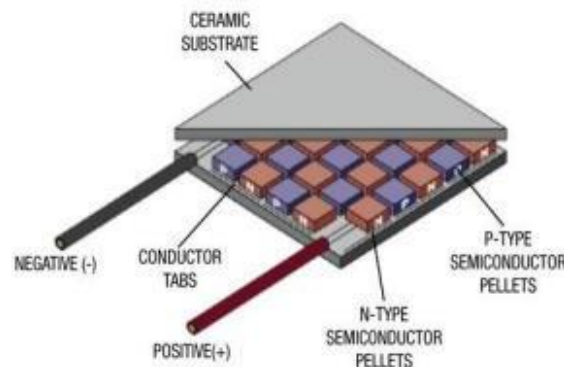
Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya terletak pada penggunaan modul dan sumber panas yang dipakai, yaitu TEG SP1848-27145 pada sistem pembangkit listrik berbasis biomassa dengan sumber panas *rocket stove*. Penelitian sebelumnya umumnya hanya dilakukan dalam kondisi sumber panas yang terkontrol, sehingga hasilnya lebih mencerminkan situasi ideal dan belum tentu dapat langsung diterapkan pada kondisi nyata di lapangan. Penelitian ini dilakukan pada *rocket stove* berbahan bakar biomassa, di mana panas yang dihasilkan bersifat fluktuatif dan bervariasi, sesuai dengan kondisi nyata di masyarakat. Pengujian dilakukan dengan memasang modul pada sisi *rocket stove* untuk memaksimalkan konversi panas menjadi listrik. Pengukuran tegangan, arus,

dan daya listrik dilakukan pada beberapa siklus pembakaran untuk menangkap variasi *output* akibat perubahan suhu. Dengan pendekatan ini, penelitian ini memberikan gambaran yang lebih lengkap dan relevan untuk aplikasi skala kecil di masyarakat, terutama dalam pemanfaatan energi panas buangan biomassa secara efisien dan ramah lingkungan.

2.3 Dasar Teori

2.3.1 Termoelektrik

Termoelektrik generator merupakan sebuah piranti yang mampu mengkonversi energi panas menjadi energi listrik secara langsung berdasarkan efek *Seebeck* yang akan membangkitkan listrik DC, termoelektrik juga memiliki biaya perawatan yang murah dan tidak ada biaya pengoperasian dan teknologi pembangkit listrik yang menggunakan efek *Seebeck* dimana dapat mengubah perbedaan temperatur pada material semikonduktor menjadi listrik. Prinsip kerja dari Termoelektrik generator yaitu membutuhkan perbedaan temperatur yang tinggi agar menghasilkan tegangan, arus dan daya yang besar termoelektrik generator mampu menghasilkan daya $12 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ hanya dengan selisih temperatur 5°C . Termoelektrik generator (TEG) menggunakan sistem *efek Seebeck*, *efek Seebeck* membuktikan adanya medan magnet yang menggerakkan jarum kompas ketika dipasangkan diantara rangkaian logam besi dan tembaga salah satu sisinya dipanaskan, medan magnet timbul karena adanya listrik akibat logam yang dipanaskan. Bahan termoelektrik yang baik seharusnya memiliki karakteristik, konduktivitas listrik yang tinggi meminimalkan kenaikan temperatur dari hambatan ke arus listrik yang mengalir, koefisien *Seebeck* yang besar pada perubahan maksimal dari panas ke daya listrik, dan konduktivitas panas yang rendah dapat mencegah konduksi panas melalui bahan seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.2** (Manab & Fikri, 2020).



Gambar 2.2 Susunan Thermoelectric Generator (Ginanjari & Dedy Suryadi, 2019)

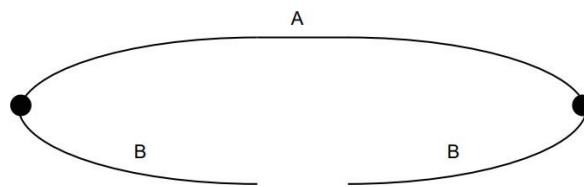
2.3.2 Prinsip Kerja Termoelektrik

Elemen termoelektrik terdiri dari semikonduktor tipe N dan tipe P yang bagian atas dan bawah dilapisi dengan konduktor tembaga sebagai penghubung satu sama lain antara tipe N dan tipe P. Konduktor tembaga pada termoelektrik membantu perpindahan elektron-elektron untuk dapat bergerak bebas. Apabila batang logam dipanaskan dan didinginkan pada dua kutub batang logam tersebut, elektron pada sisi panas logam akan bergerak aktif dan memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi dibandingkan pada sisi bagian dingin logam. Proses perpindahan panas yang dapat mempengaruhi perpindahan elektron. Sebuah termoelektrik diwakili oleh rangkaian termo-listrik dimana generator termoelektrik diletakkan diantara 2 *reservoir* suhu yaitu sisi panas dan sisi dingin. Panas masuk pada salah satu sisi dan dibuang dari sisi lainnya. Transfer panas tersebut menghasilkan suatu tegangan yang melewati sambungan termoelektrik dan besarnya tegangan listrik yang dihasilkan sebanding dengan gradien suhu (Ryanguargo *et al.*, 2013).

2.3.3 Efek Seebeck

prinsip kerja generator termoelektrik di mana dua logam dihubungkan lalu pada ujung sisi logam dipanas dan satu sisi logam didinginkan maka akan menggerakkan elektron pada batang sisi panas yang memiliki suhu tinggi dengan material logam

(material yang kelebihan elektron) menuju sisi dingin dengan suhu yang lebih rendah (material yang kekurangan elektron) melalui *metal connection*. Sehingga akan timbul arus listrik dari pergerakan elektron tersebut. Koefisien *Seebeck* menjelaskan bahwa pada saat termokopel dipanaskan, kondisi semikonduktor yang terisi banyak elektron koefisien *seebecknya* bertanda negatif. Sedangkan semikonduktor yang kekurangan elektron koefisien *Seebecknya* bertanda positif jadi koefisien *Seebecknya* setiap logam ada yang bernilai positif dan ada yang bernilai negatif seperti pada **Gambar 2.3** (Ginanjari, Hiendro, 2019).



Gambar 2.3 Termokopel Sempel (Goldsmid, 2009)

Pada **Gambar 2.3** menunjukkan skema dasar rangkaian termokopel yang digunakan untuk menjelaskan prinsip konversi energi panas menjadi energi listrik melalui efek termoelektrik. Termokopel tersusun dari dua jenis konduktor berbeda yang disambungkan pada kedua ujungnya, di mana pada skema ini konduktor A dihubungkan dengan konduktor B, sedangkan kedua ujung konduktor B dihubungkan dengan voltmeter untuk mengukur tegangan yang dihasilkan. Konduktor yang digunakan diasumsikan bersifat isotropis. Apabila terdapat perbedaan temperatur sebesar ΔT antara sambungan termokopel dan kedua ujung konduktor B, maka akan timbul beda potensial listrik sebesar V di antara kedua ujung konduktor B. Koefisien *Seebeck* diferensialnya (α_{AB}) dapat didefinisikan sebagai rasio antara V terhadap ΔT seperti dalam persamaan:

$$\alpha_{AB} = \frac{v}{\Delta T} \quad (2.1)$$

Pada persamaan (2.1), α_{AB} menyatakan koefisien *Seebeck* pasangan konduktor A dan B yang memiliki satuan Volt per kelvin (V/K). Besaran V merupakan beda

potensial listrik yang dihasilkan akibat adanya perbedaan temperatur, dengan satuan Volt (V), sedangkan ΔT adalah perbedaan temperatur antara dua titik pengukuran yang dinyatakan dalam satuan kelvin (K).

Dengan menggunakan termokopel yang sama, koefisien Peltier (π_{AB}) dapat didefinisikan sebagai rasio dari kecepatan pemanasan atau pendinginan pada sambungan terhadap arus listrik sesuai dengan persamaan berikut:

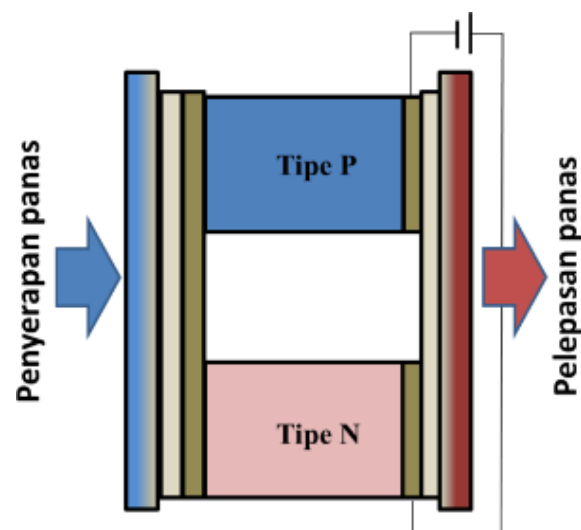
$$\pi_{AB} = \frac{q}{I} \quad (2.2)$$

Pada persamaan (2.2), π_{AB} menyatakan koefisien Peltier pasangan konduktor A dan B yang menunjukkan kemampuan material dalam menghasilkan atau menyerap kalor ketika dialiri arus listrik, dengan satuan Volt (V). Besaran q merupakan laju aliran kalor yang terjadi pada sambungan konduktor akibat efek Peltier dengan satuan Watt (W), sedangkan I adalah arus listrik yang mengalir dalam rangkaian dengan satuan Ampere (A) (Goldsmid, 2009).

2.3.4 Prinsip Kerja Efek Peltier

Efek peltier merupakan termoelektrik yang prinsip kerjanya merupakan kebalikan dari efek *seeback*. Efek peltier, di temukan oleh Jean Peltier pada tahun 1834, adalah fenomena dimana energi panas dapat diserap pada salah satu sambungan konduktor dan dilepaskan pada sambungan konduktor lainnya ketika arus listrik dialirkan pada suatu rangkaian tertutup. Atau dengan kata lain efek peltier mengkonversikan energi listrik menjadi perubahan suhu. Prinsip kerja peltier diperlihatkan pada **Gambar 2.4**. Pada sistem peltier, dua jenis semikonduktor (tipe n dan tipe p) disusun berdampingan. Apabila bahan semikonduktor tersebut dihubungkan dengan sumber tegangan, perbedaan energi fermi diantara kedua semikonduktor tersebut menyebabkan elektron akan mengalir dari semikonduktor tipe n ke tipe p dengan melewati *junction*. Elektron yang sampai pada tipe p akan berekombinasi dengan *hole* dengan melepaskan energi dalam bentuk panas. Sebaliknya, pada bagian n, elektron akan melepaskan diri dari ikatan valensinya

dengan menyerap energi panas. Dengan demikian, arus yang melewati *junction*, baik arah maju ataupun mundur, akan menghasilkan perbedaan suhu. Suhu *junction* panas tersebut dijaga agar tetap rendah dengan mengurangi atau menghilangkan panas yang dihasilkan dengan menggunakan *heat sink*, sedangkan suhu bagian dingin dipertahankan sesuai dengan yang diinginkan seperti pada **Gambar 2.4** (Purwiyanti *et al.*, 2017).



Gambar 2.4 Sistem Peltier (Purwiyanti *et al.*, 2017).

2.3.5 Efek Joule – Thomson

Efek thomson merupakan suatu fenomena penyerapan dan pembuangan kalor ketika arus listrik mengalir melewatisebuah sirkuit, pada bahan yang memiliki suhu berbeda dan efek joule merupakan fenomena dimana arus listrik mengalir pada konduktor yag memiliki hambatan. Kalor tersebut akan terbawa mengalir sepanjang jalur dari sirkuit, kalor yang terbawa memiliki aliran sesuai dengan aliran arus yang melewati bahan. Kalor yang dialirkan juga akan menyebabkan semakin tingginya resistansi pada bahan konduktor yang menyebabkan semakin panasnya bahan. Ketika kedua bahan memiliki jarak yang menyebabkan semakin panasnya bahan. Ketika kedua bahan memiliki jarak yang berdekatan, maka kalor akan diserap secara langsung dari konduktor oleh bahan yang memiliki suhu lebih rendah

(Ginanjari, Hiendro, 2019). Rumus hambatan termal dapat ditulis pada Persamaan (2.1).
Rumus hambatan termal dapat ditulis pada Persamaan (2.1).

$$Q = \frac{k.A.\Delta T}{L} \quad (2.3)$$

$$R_{th} = \frac{\Delta T}{Q} \quad (2.4)$$

$$R_{th} = \frac{\Delta T}{\frac{k.A.\Delta T}{L}} \quad (2.5)$$

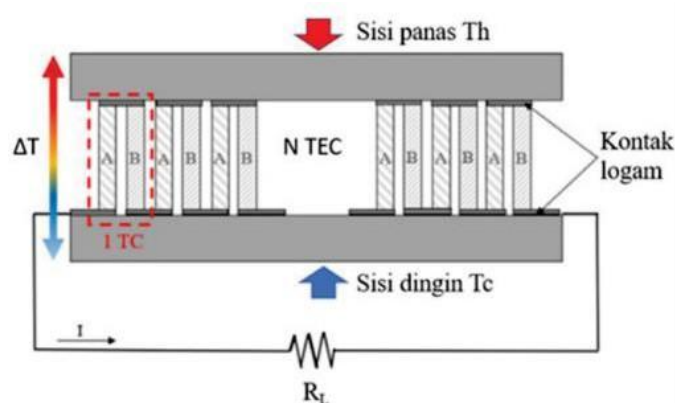
$$R_{th} = \frac{L}{K.A} \quad (2.6)$$

Persamaan (2.3) menyatakan laju perpindahan kalor konduksi Q yang mengalir melalui suatu material, yang dipengaruhi oleh konduktivitas termal material K , luas penampang A , perbedaan temperatur ΔT , serta tebal material L . Selanjutnya, hambatan termal R_{th} didefinisikan sebagai perbandingan antara perbedaan temperatur terhadap laju aliran kalor sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (2.4). Dengan mensubstitusikan persamaan (2.3) ke dalam persamaan (2.4), diperoleh bentuk hambatan termal seperti pada persamaan (2.5), yang kemudian disederhanakan sehingga menghasilkan hubungan akhir hambatan termal terhadap sifat material dan dimensinya sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (2.6).

2.3.6 Karakteristik TEG SP1848-27145

Modul TEG SP1848-27145 SA merupakan salah satu jenis generator termoelektrik yang paling banyak digunakan dalam aplikasi pembangkit listrik berbasis energi panas. Prinsip kerjanya didasarkan pada efek *Seebeck*, yaitu proses konversi energi panas menjadi energi listrik saat terdapat perbedaan suhu antara dua sisi modul, di mana sisi panas (*hot side*) dikenai sumber panas dan sisi dingin (*cold side*) didinginkan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.5**. Karakteristik modul ini dievaluasi secara eksperimental dengan variasi suhu pemanas dan aliran pendingin

air. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa tegangan output TEG SP1848-27145 SA berkisar antara 0,54–1,03 V pada suhu pemanas 86°C dan perbedaan suhu (ΔT) sekitar 70,5–75°C. Koefisien *Seebeck* yang diperoleh berada pada rentang 1.551,7–2.998,5 μV , sedangkan daya output maksimum mencapai 43,5–67,7 mW (Puspa *et al.*, 2024).



Gambar 2.5 Sistem suhu TEG (Puspa *et al.*, 2024).

Penelitian juga menunjukkan bahwa output tegangan dan daya TEG sangat dipengaruhi oleh perbedaan suhu antara sisi panas dan dingin. Semakin besar ΔT , semakin tinggi tegangan dan daya yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan prinsip dasar efek *Seebeck*, di mana tegangan output sebanding dengan ΔT dan koefisien *Seebeck* modul. Konfigurasi rangkaian (seri atau paralel) juga memengaruhi kinerja modul. Dalam konfigurasi seri, tegangan output akan meningkat, sedangkan konfigurasi paralel meningkatkan arus output, sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi.

Analisis statistik menunjukkan adanya korelasi yang sangat kuat antara variabel suhu dan output tegangan, dengan nilai *adjusted r square* mencapai 89,2% pada aliran air nol dan meningkat hingga 95,8% pada aliran air maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa kontrol suhu pada sisi panas dan dingin sangat penting untuk memaksimalkan efisiensi konversi energi. Selain itu, hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi konversi energi panas menjadi listrik pada modul ini masih relatif rendah, dengan efisiensi maksimum hanya mencapai sekitar 3,4% pada konfigurasi

seri. Dari segi spesifikasi teknis, modul TEG SP1848-27145 SA memiliki dimensi $40 \times 40 \times 3,4$ mm dan biasanya dilengkapi dengan kabel sepanjang 300–350 mm. Rentang suhu operasi yang direkomendasikan adalah $0\text{--}120^\circ\text{C}$, dengan suhu maksimum hingga 125°C . Modul ini cocok digunakan dalam aplikasi pembangkit listrik skala kecil, seperti pemanfaatan panas cerobong asap boiler, karena dapat menghasilkan output listrik yang stabil dan dapat diandalkan pada kondisi perbedaan suhu yang cukup besar (Haripuddin & Suhardi, 2023).

2.3.7 Sistem Konversi Energi Panas Biomassa

Konversi energi panas biomassa menggunakan generator termoelektrik dilakukan dengan memanfaatkan panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar organik pada kompor biomassa. Panas dari dinding kompor dialirkan ke sisi panas modul termoelektrik generator (TEG), sedangkan sisi dingin modul didinginkan menggunakan *heatsink* atau media pendingin lainnya. Perbedaan suhu antara sisi panas dan dingin ini menyebabkan terjadinya aliran elektron dari sisi panas ke sisi dingin, sehingga menghasilkan tegangan listrik melalui efek *Seebeck*. Semakin besar perbedaan suhu antara kedua sisi modul, semakin tinggi tegangan dan daya listrik yang dihasilkan. Modul TEG biasanya dipasang pada permukaan dinding kompor, sehingga panas dari pembakaran biomassa secara langsung dialirkan ke modul, dan energi panas buang yang biasanya terbuang dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik (Karmal *et al.*, 2022).

Desain sistem ini memungkinkan penggunaan berbagai jenis bahan bakar biomassa, seperti cangkang sawit, kayu meranti, dan kayu karet, dengan efisiensi konversi energi yang bervariasi tergantung pada jenis bahan bakar dan desain sistem Pendingin. Efisiensi termal kompor biomassa dengan TEG dapat mencapai 3–4% tergantung bahan bakar yang digunakan, dan tegangan *output* yang dihasilkan sebanding dengan perbedaan suhu antara sisi panas dan dingin. Sistem ini sangat efisien untuk aplikasi skala kecil seperti penerangan atau pengisian baterai, karena tidak membutuhkan bagian bergerak dan ramah lingkungan. Desain sistem pendingin dan konduksi panas sangat penting untuk menjaga perbedaan suhu yang

Cukup besar agar efisiensi konversi energi tetap optimal (Ananda *et al.*, 2020).

2.3.8 Sistem Konversi Energi Termoelektrik

Elemen peltier adalah merupakan bagian penting generator termoelektrik, kedua sisi yang terbuat dari keramik memiliki fungsi sebagai sisi panas dan sisi dingin yang kemudian menghasilkan arus positif dan negatif. Faktor dari perbedaan suhu inilah yang dapat mempengaruhi besarnya tegangan yang dihasilkan. Pada Termoelektrik, jika terdapat perbedaan temperatur antar dua sambungan, maka akan dihasilkan tegangan listrik atau efek *Seebeck*, dimana pemanasan (atau pendinginan) dari sambungan dua bahan yang berbeda menghasilkan potensial listrik dapat ditulis pada Persamaan (2.7).

$$V = \alpha \Delta T \quad (2.7)$$

Persamaan (2.7) menyatakan hubungan linier antara tegangan listrik V yang dihasilkan dan perbedaan suhu ΔT pada material termoelektrik akibat efek *Seebeck*. Besarnya tegangan yang timbul sebanding dengan perbedaan suhu yang diberikan, dengan α sebagai koefisien *Seebeck* yang menyatakan kemampuan material dalam mengonversi perbedaan suhu menjadi tegangan listrik.

Peristiwa sebaliknya, perbedaan temperatur akan dihasilkan jika ada arus yang mengalir, yaitu efek Peltier yang dapat ditulis pada Persamaan (2.8).

$$Q = \alpha IT \quad (2.8)$$

Persamaan (2.8) menyatakan besarnya laju aliran kalor Q yang dihasilkan akibat efek Peltier ketika arus listrik I mengalir melalui material termoelektrik pada suhu T . Besarnya kalor yang muncul dipengaruhi oleh koefisien *Seebeck* α dari material yang digunakan, besar arus listrik yang mengalir, serta suhu operasi sistem. Kemudian, karena adanya perbedaan temperatur, maka terjadi perpindahan kalor.

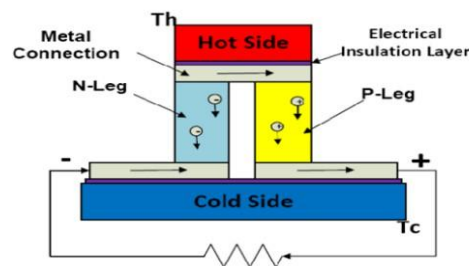
Karena perpindahan kalor secara konduksi merupakan mekanisme utama pada modul termoelektrik, maka pada modul termoelektrik diasumsikan rugi kalor konveksi dan radiasi diabaikan. Oleh karenanya dapat ditulis pada Persamaan (2.9).

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{th}}, \text{ dengan } R_{th} = \frac{L}{K.A} \quad (2.9)$$

Persamaan (2.9) menyatakan bahwa besarnya laju perpindahan kalor konduksi Q berbanding lurus dengan perbedaan temperatur ΔT antara kedua sisi modul termoelektrik dan berbanding terbalik dengan hambatan termal R_{th} dari material. Hambatan termal tersebut dipengaruhi oleh konduktivitas termal material K , luas penampang perpindahan kalor A , serta tebal material L , sehingga semakin kecil nilai R_{th} , semakin besar laju perpindahan kalor yang dapat mengalir melalui modul termoelektrik. Selain itu ketika arus listrik melalui suatu bahan, maka selalu ada kalor yang dihasilkan yang dinamakan joule heating yang ditulis pada Persamaan (2.10).

$$Q = I^2 R \quad (2.10)$$

Persamaan (2.10) menyatakan laju kalor (daya panas) yang dihasilkan akibat pemanasan Joule ketika arus listrik I mengalir melalui suatu hambatan listrik R . Daya panas yang timbul sebanding dengan kuadrat arus listrik yang mengalir dan nilai hambatan listrik material, sehingga semakin besar arus atau hambatan, semakin besar pula kalor yang dihasilkan dalam sistem.



Gambar 2.6 Proses konversi energi termoelektrik (Lineykin & Ben-yaakov, 2007).

Untuk menghitung besarnya kalor yang di absorpsi (di sisi panas) dan kalor yang di emisikan (di sisi dingin) maka semua energi (termal) yang di sebutkan di atas harus diperhitungkan. Oleh karena itu Persamaan kesetimbangan energi pada penyerapan kalor atau penyerapan kalor pada logam yang memiliki temperatur panas dengan Persamaan yang ditulis pada (2.11).

$$q_{panas} = \alpha IT_{panas} + \frac{\Delta T}{RTh} - \frac{IR^2}{2} \quad (2.11)$$

Persamaan (2.11) digunakan untuk menentukan besarnya laju kalor pada sisi panas modul termoelektrik. Perhitungan dilakukan dengan memasukkan nilai koefisien Seebeck α modul, arus listrik I yang mengalir pada rangkaian, suhu sisi panas T_{panas} , serta perbedaan temperatur ΔT antara sisi panas dan sisi dingin modul. Nilai hambatan termal R_{th} dan hambatan listrik R diperoleh dari karakteristik material dan parameter geometrik modul sebagaimana dijelaskan pada persamaan sebelumnya. Dengan demikian, persamaan ini menggabungkan pengaruh efek Peltier, konduksi panas, dan pemanasan Joule dalam menentukan laju kalor pada sisi panas modul termoelektrik.

Dapat dilihat pada persamaan di atas Suku konduksi bernilai positif karena menunjukkan perpindahan kalor dari sisi panas menuju sisi dingin akibat adanya gradien temperatur. *Joule heating* juga berkurang ini karena joule heating melepas kalor dan melepas kalor ke sisi dingin dengan Persamaan yang ditulis pada (2.12).

Pada bagian *joule heating* besarnya dibagi dua karena dianggap total hambatan pada modul termoelektrik adalah R , sedangkan pada termoelektrik terdapat dua sisi sehingga $\frac{1}{2}R$ berada pada sisi panas dan $\frac{1}{2}R$ berada pada sisi dingin. Untuk persamaan energi di sisi yang dingin atau di emisikan, energi yang di emisikan dapat dituliskan pada persamaan (2.12).

$$q_{dingin} = \alpha I T_{dingin} + \frac{\Delta T}{R_{th}} - \frac{I^2 R}{2} \quad (2.12)$$

Persamaan (2.12) digunakan untuk menentukan besarnya laju kalor pada sisi dingin modul termoelektrik. Perhitungan dilakukan dengan memasukkan nilai koefisien *Seebeck* α , arus listrik I yang mengalir pada rangkaian, suhu sisi dingin T_{dingin} , serta perbedaan temperatur ΔT antara sisi panas dan sisi dingin modul. Nilai hambatan termal R_{th} dan hambatan listrik R diperoleh dari karakteristik material dan parameter geometrik modul sebagaimana dijelaskan pada persamaan sebelumnya. Persamaan ini merupakan kelanjutan dari persamaan sisi panas dan digunakan untuk menganalisis aliran kalor pada sisi dingin modul termoelektrik.

Dapat dilihat pada persamaan di atas efek peltier bernilai yang positif karena inilah menyerap kalor dari sisi panas dan konduksi bernilai positif karena menyerap kalor sisi panas. Joule heating juga bertambah ini karena *joule heating* menerima kalor dari sisi panas dengan Persamaan yang ditulis pada (2.12).

Persamaan (2.11) dan Persamaan (2.12) menunjukkan laju perpindahan kalor pada sisi panas dan sisi dingin modul termoelektrik. hubungan antara daya listrik yang dihasilkan modul termoelektrik dapat dinyatakan pada persamaan 2.13 sebagai berikut.

$$IV = \alpha I (T_{panas} - T_{dingin}) + I^2 R \quad (2.13)$$

Persamaan (2.13) menyatakan hubungan antara daya listrik keluaran modul termoelektrik dengan perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin modul serta rugi-rugi akibat hambatan listrik.

Dengan membagi kedua ruas Persamaan (2.13) terhadap arus listrik (I), diperoleh hubungan antara tegangan keluaran modul termoelektrik dan beda temperatur sebagai berikut.

$$V = \alpha \Delta T - IR \quad (2.14)$$

Persamaan (2.14) menyatakan tegangan listrik V yang dihasilkan pada modul termoelektrik sebagai penjumlahan antara tegangan akibat efek Seebeck yang dipengaruhi oleh perbedaan suhu ΔT dan penurunan tegangan akibat adanya hambatan listrik internal modul yang dinyatakan oleh suku IR . Persamaan ini merupakan bentuk penyederhanaan dari persamaan (2.13) dengan membagi kedua ruas terhadap arus listrik I (Lineykin & Ben-yaakov, 2007).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari 2026 sampai Mei 2026. Perancangan, pembuatan alat dan pengambilan data dilakukan di Ruang *Workshop* Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Dalam pembuatan perangkat pada penelitian ini terdapat alat dan bahan yang digunakan untuk mendukung berjalannya pembuatan perangkat. Alat yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada **Tabel 3.1**

Tabel 3.1 Alat Penelitian

No	Nama Alat	Fungsi
1.	Termokopel	Mengukur besaran suhu
2.	Multimeter	Mengukur besaran listrik
3.	Gerinda	Memotong batang logam
4.	Bor	Membuat lubang pada Hollow
5.	Las	Menyambung dan Menyatukan Komponen komponen (terutama logam)

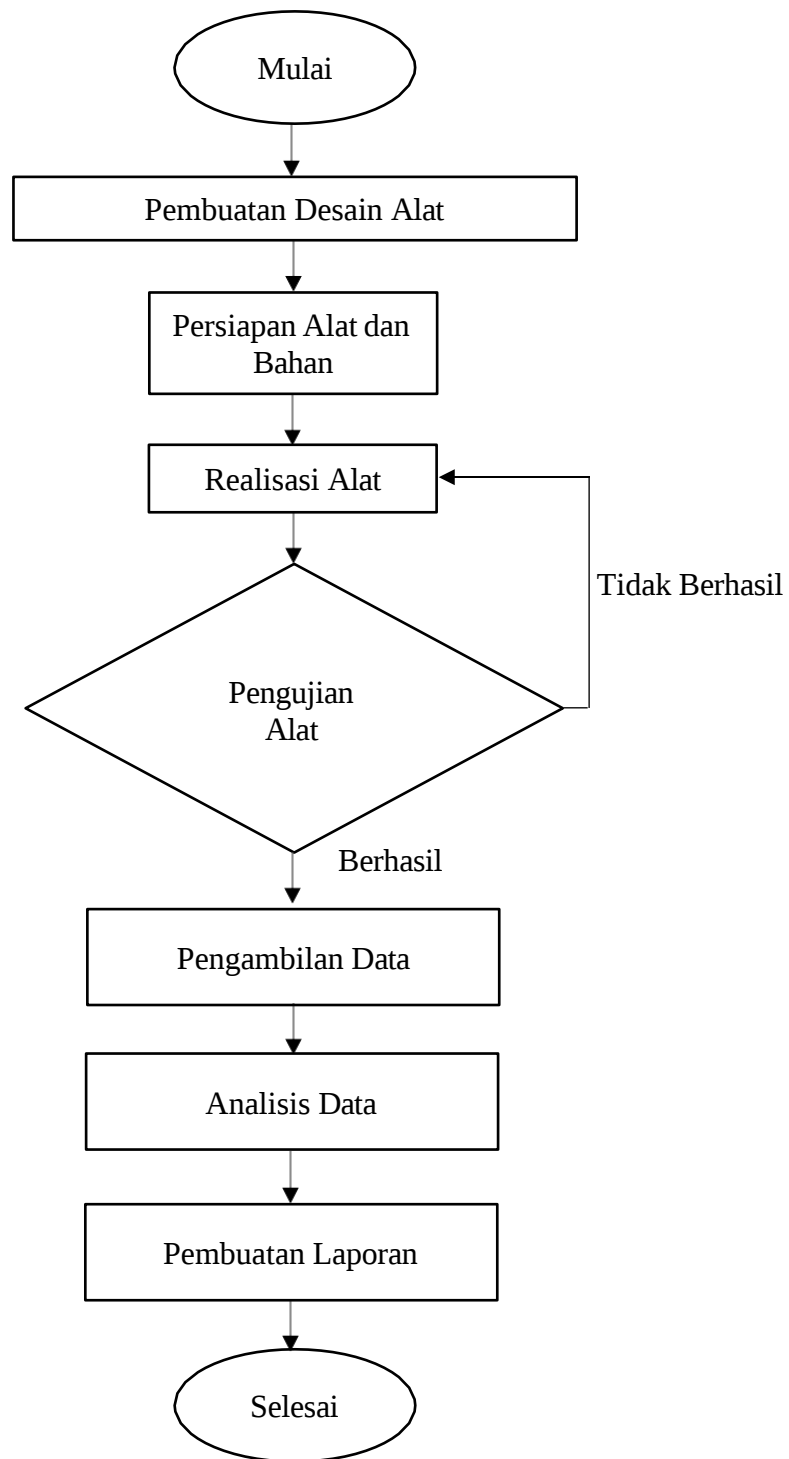
Selanjutnya, bahan yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada **Tabel 3.2**

Tabel 3.2 Bahan Penelitian

No	Nama Bahan	Fungsi
1.	Modul TEG Tipe SP1848- 27145	Menghasilkan besaran listrik ketika diberi perbedaan suhu
2.	Pipa Alumunium	Tempat mengalirnya air dari tempat air ke dalam hollow dan penopang komponen
3.	Hollow Alumunium	Tempat mengalirnya kalor dan penopang komponen
4.	Plat alumunium	Tempat penampungan air
5.	Thermostart	Sistem Kontrol Air
6.	Rocket Stove	Sumber panas
7.	Lampu DC 12 Volt	Sebagai beban
8.	Pipa Alumunium	Tempat mengalirnya air dari tempat air ke dalam hollow dan penopang komponen
9.	Hollow Alumunium	Tempat mengalirnya kalor dan penopang komponen

3.3 Prosedur Penelitian

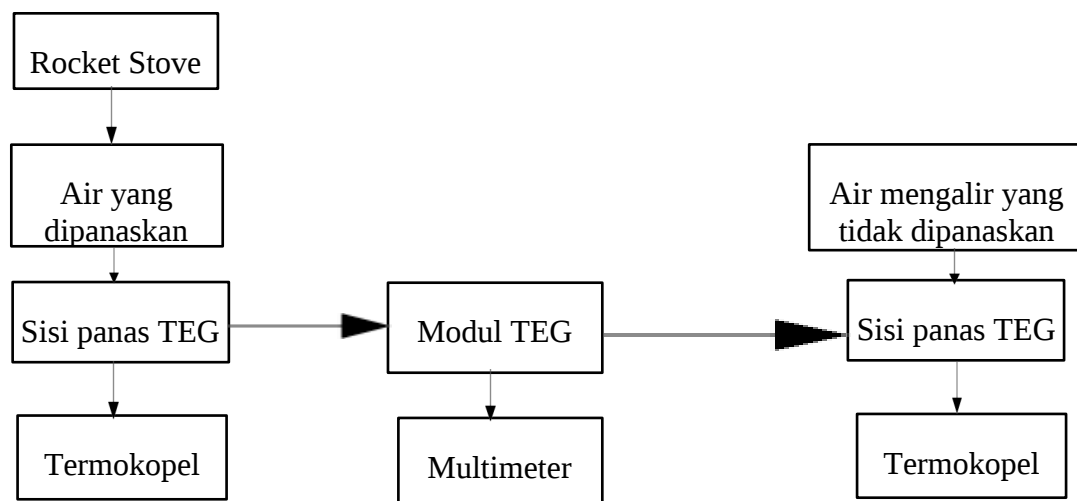
Penelitian ini terbagi menjadi tiga tahap yaitu perancangan alat, pengujian sistem, pengamatan data dan analisis hasil. Ketiga tahapan tersebut dilakukan secara berurutan untuk memastikan proses penelitian berjalan secara sistematis serta menghasilkan data yang sesuai dengan tujuan penelitian. Data yang diperoleh pada tahap pengujian kemudian digunakan sebagai dasar dalam melakukan analisis terhadap kinerja generator termoelektrik yang digunakan. Secara umum prosedur penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.3.1 Perancangan Perangkat Generator Termoelektrik dengan TEG Tipe SP1848-27145

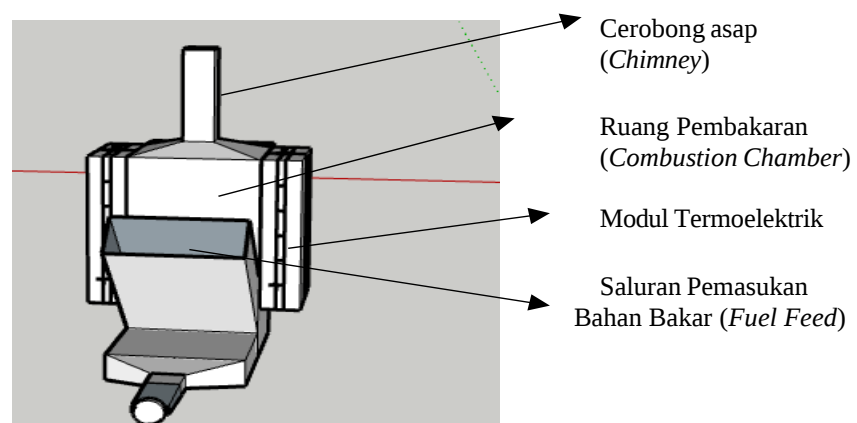
Pada penelitian ini generator termoelektrik dibangun dengan menggunakan modul TEG Tipe SP1848-27145 dengan memanfaatkan pemanasan air dari pembakaran biomassa pada *rocket stove*, pada bagian ini perangkat yang dibuat dengan menggunakan modul TEG Tipe SP1848-27145 dengan dimensi 4 cm × 4 cm sebagai media untuk menghasilkan listrik dari perbedaan suhu sisi panas dari air yang dipanaskan lewat pembakaran biomassa pada *rocket stove* dan sisi dingin dengan air yang tidak dipanaskan. Listrik yang dihasilkan dari modul peltier akan diukur dengan alat ukur multimeter mengukur besaran listrik dan diberi beban berupa lampu DC 12 Volt. Diagram blok dari sistem ini dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Diagram blok sistem termoelektrik

Pada perangkat termoelektrik dengan modul TEG Tipe SP1848-27145 menggunakan bahan hollow dan pipa alumunium sebagai kerangka sisi panas dan dingin termoelektrik. Pada bagian depan alat termoelektrik, modul- modul termoelektrik disusun secara seri sebanyak 12 buah hingga membentuk ukuran

total 20 cm × 8 cm. Modul ini tidak menerima panas secara langsung dari pembakaran pada *rocket stove*, melainkan memperoleh panas melalui ruang hollow berisi air yang berfungsi sebagai media penghantar panas. Air pada ruang tersebut dipanaskan oleh *rocket stove*, sehingga sisi panas modul meningkat secara tidak langsung. Sementara itu, pada sisi dingin termoelektrik disediakan ruang berisi air dingin yang tidak dipanaskan. Perbedaan suhu antara air panas pada sisi depan dan air dingin pada sisi belakang inilah yang dimanfaatkan untuk menghasilkan tegangan listrik pada modul termoelektrik. Tahap selanjutnya mengukur perbedaan suhu dan keluaran besaran listrik sebelum diberi beban dan diberi beban berupa lampu DC 12 Volt yang akan diukur dengan *thermocouple* dan multimeter. Desain alat ini dapat dilihat pada gambar **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Desain alat termoelektrik

3.3.2 Pengujian Perangkat Generator Termoelektrik TEG Tipe SP1848-27145

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan secara manual menggunakan multimeter digital yang terhubung dengan rangkaian generator termoelektrik, sedangkan pengukuran temperatur dilakukan menggunakan termokopel pada sisi panas dan dingin modul. Proses pengujian memanfaatkan air sebagai media

penghantar panas sekaligus pendingin guna menghasilkan perbedaan temperatur pada modul termoelektrik. Sumber panas diperoleh dari proses pembakaran tiga jenis biomassa yang masing-masing digunakan dengan massa yang sama, yaitu 1 kg pada setiap pengujian.

Pengambilan data dilakukan pada dua kondisi pengujian, yaitu tanpa beban dan dengan beban menggunakan lampu DC 12 Volt. Parameter yang diamati meliputi temperatur sisi panas dan sisi dingin, tegangan keluaran, serta arus listrik yang dihasilkan selama proses pembakaran berlangsung. Pada pengujian tanpa beban, data yang dicatat berupa perbedaan temperatur (ΔT) dan tegangan keluaran, sedangkan pada pengujian berbeban dilakukan pencatatan perbedaan temperatur (ΔT), tegangan (V), dan arus (A). Data pengukuran dicatat secara berkala selama proses pembakaran hingga diperoleh sekitar 190 data untuk setiap jenis biomassa, baik pada kondisi tanpa beban maupun dengan beban.

3.4 Rancangan Data Hasil Penelitian

Pada **Tabel 3.3, Tabel 3.4, dan Tabel 3.5** merupakan rancangan data generator termoelektrik TEG Tipe SP1848-27145 pada keadaan tanpa beban, sedangkan pada **Tabel 3.6, Tabel 3.7 dan Tabel 3.8** merupakan rancangan data generator termoelektrik TEG Tipe SP1848-27145 pada keadaan diberi beban. Pengambilan data dilakukan pada dua kondisi pengujian, yaitu tanpa beban dan dengan beban menggunakan lampu DC 12 Volt. Parameter yang diamati meliputi temperatur sisi panas dan sisi dingin, tegangan keluaran, serta arus listrik yang dihasilkan selama proses pembakaran berlangsung. Pada pengujian tanpa beban, data yang dicatat berupa perbedaan temperatur (ΔT) dan tegangan keluaran, sedangkan pada pengujian berbeban dilakukan pencatatan perbedaan temperatur (ΔT), tegangan (V), dan arus (A). Data pengukuran dicatat secara berkala selama proses pembakaran hingga diperoleh sekitar 190 data untuk setiap jenis biomassa. Rancangan data hasil penelitian tanpa beban disajikan pada **Tabel 3.3, Tabel 3.4, dan Tabel 3.5**, Sedangkan Rancangan data hasil penelitian diberi beban disajikan pada **Tabel 3.6, Tabel 3.7, dan Tabel 3.8**.

Tabel 3.3 Data Modul TEG tanpa Beban (Kayu)

No	Waktu (s)	T_h (°C)	T_c (°C)	Perbedaan Suhu (ΔT)	Tegangan (V)
1.					
2.					
....					
190.					

Tabel 3.4 Data Modul TEG tanpa Beban (Kertas)

No	Waktu (s)	T_h (°C)	T_c (°C)	Perbedaan Suhu (ΔT)	Tegangan (V)
1.					
2.					
....					
190.					

Tabel 3.5 Data Modul TEG tanpa Beban (Bonggol Jagung)

No	Waktu (s)	T_h (°C)	T_c (°C)	Perbedaan Suhu (ΔT)	Tegangan (V)
1.					
2.					
....					
190.					

Tabel 3.6 Data Modul TEG dengan Beban (Kayu)

No	ΔT ($^{\circ}C$)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (watt)
1.				
2.				
....				
190.				

Tabel 3.7 Data Modul TEG dengan Beban (Kertas)

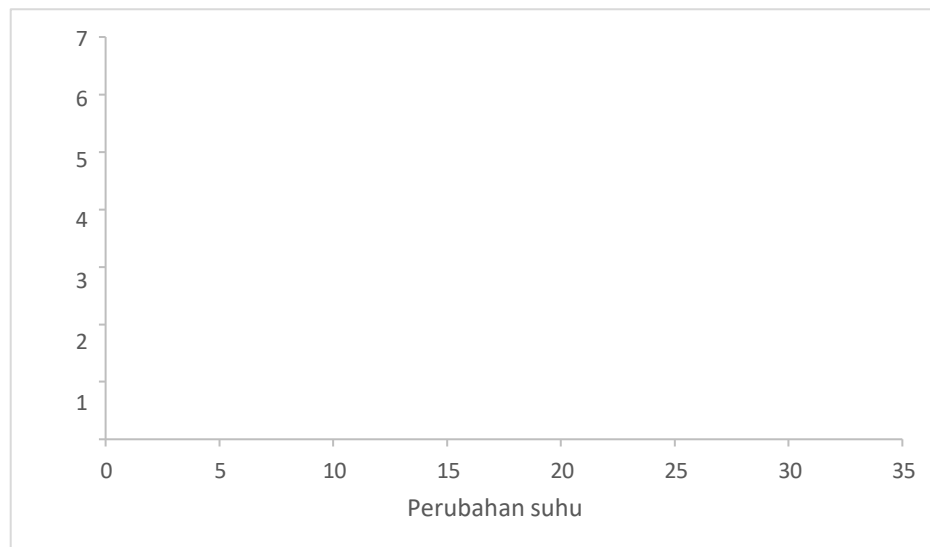
No	ΔT ($^{\circ}C$)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (watt)
1.				
2.				
....				
190.				

Tabel 3.8 Data Modul TEG dengan Beban (Bonggol Jagung)

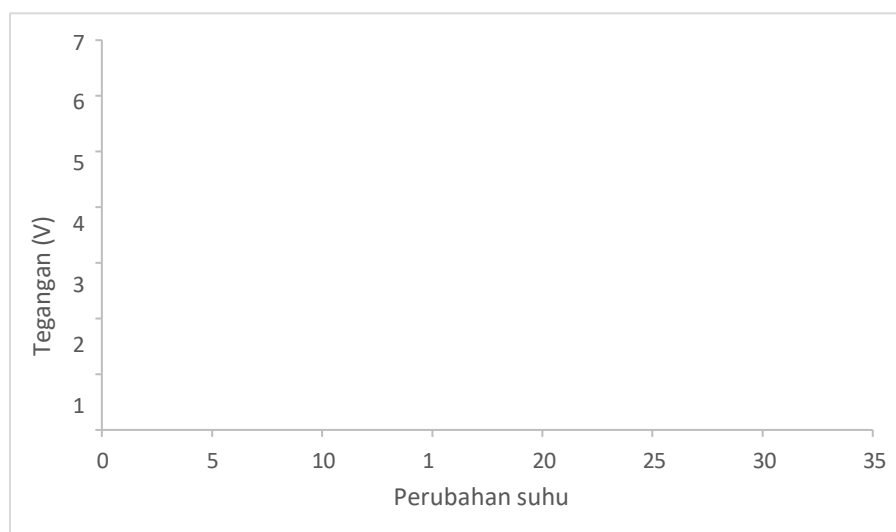
No	ΔT ($^{\circ}C$)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (watt)
1.				
2.				
....				
190.				

3.5 Rancangan Analisis Data Pengamatan

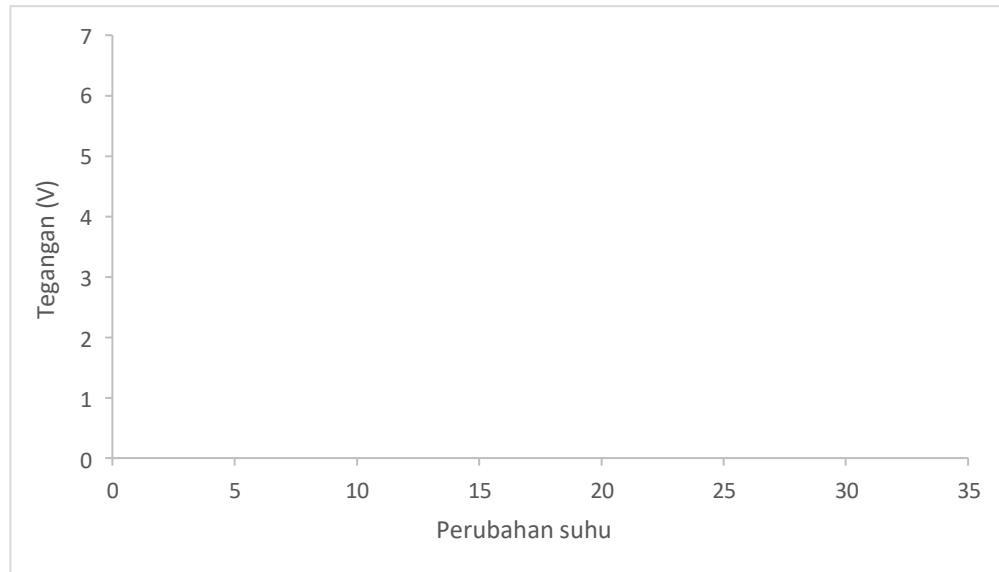
Data hasil penelitian dari generator termoelektrik yaitu nilai dari perbedaan suhu, tegangan, arus dan daya yang dihasilkan dapat mempengaruhi efisiensi waktu. Analisis data diplot dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.4**, **Gambar 3.5**, **Gambar 3.6**, **Gambar 3.7** dan **Gambar 3.8**.



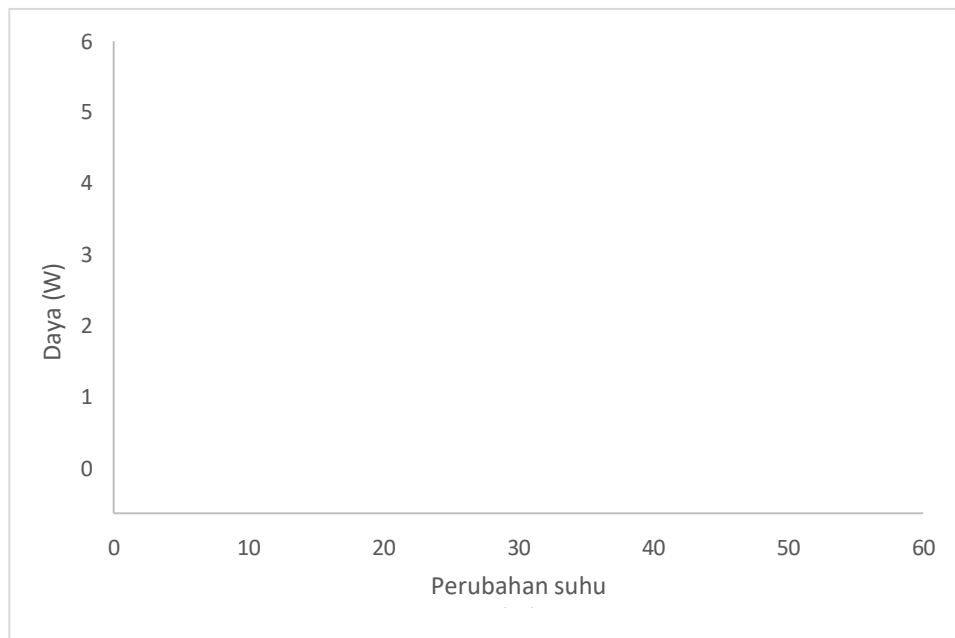
Gambar 3.4 Grafik hubungan tegangan tanpa beban terhadap perbedaan suhu pada Modul TEG tanpa Beban (Kayu)



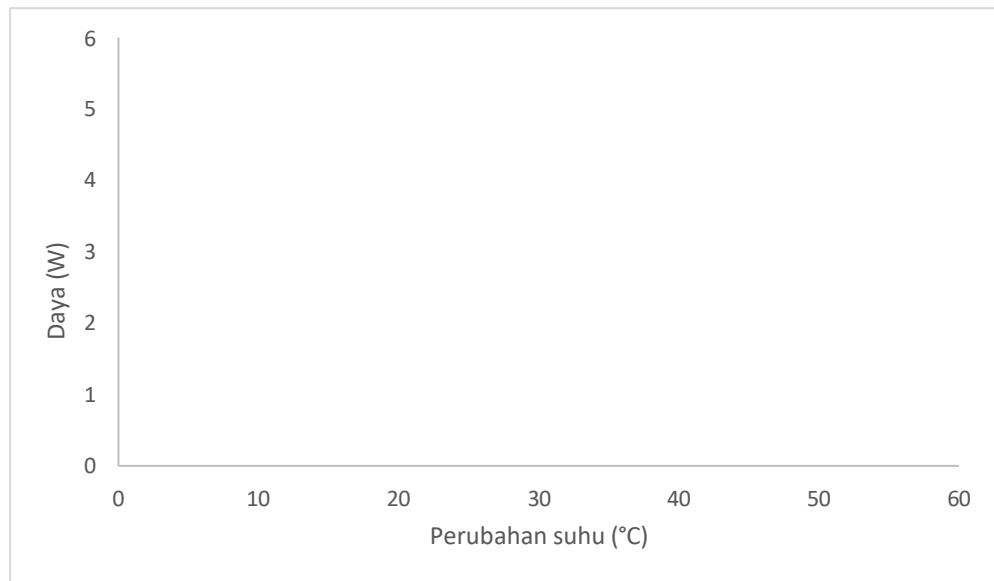
Gambar 3.5 Grafik hubungan tegangan tanpa beban terhadap perbedaan suhu pada Modul TEG tanpa Beban (Kertas).



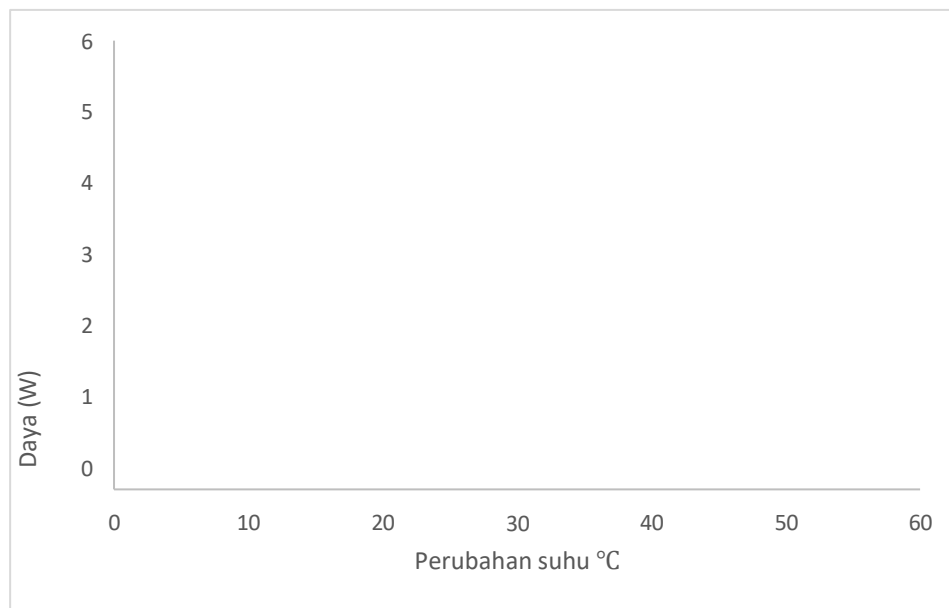
Gambar 3.6 Grafik hubungan tegangan tanpa beban terhadap perbedaan suhu pada Modul TEG tanpa Beban (Bonggol Jagung).



Gambar 3.7 Grafik hubungan Daya terhadap perbedaan suhu pada TEG dengan beban (Kayu).



Gambar 3.8 Grafik hubungan Daya terhadap perbedaan suhu pada TEG dengan beban (Kertas).



Gambar 3.9 Grafik hubungan Daya terhadap perbedaan suhu pada TEG dengan beban (Bonggol Jagung).

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai generator termoelektrik menggunakan modul TEG SP1848-27145 dengan sumber panas biomassa pada *rocket stove*, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbedaan suhu (ΔT) yang lebih besar menghasilkan tegangan, arus, dan daya listrik yang lebih tinggi pada generator termoelektrik.
2. Biomassa kayu memberikan performa keluaran listrik terbaik yaitu sebesar 12,36 V pada kondisi tanpa beban serta daya sebesar 4,908 pada kondisi dengan beban jika dibandingkan dengan biomassa kertas dan bonggol jagung pada sistem yang dikembangkan.
3. Keluaran listrik generator termoelektrik dipengaruhi kestabilan pembakaran biomassa yang menentukan kemampuan sistem mempertahankan perbedaan suhu.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut:

1. Gunakan sistem pendinginan yang lebih optimal, seperti heatsink atau sirkulasi air yang lebih stabil, agar perbedaan suhu (ΔT) pada modul termoelektrik dapat dipertahankan lebih lama sehingga keluaran listrik yang dihasilkan menjadi lebih stabil.

2. Perbanyak jumlah susunan modul agar dapat menghasilkan keluaran yang maksimal.
3. Variasi jumlah dan konfigurasi modul termoelektrik, seperti rangkaian seri-paralel, untuk mengetahui pengaruhnya terhadap peningkatan tegangan, arus, dan daya listrik yang dihasilkan.
4. Jenis biomassa yang digunakan dapat divariasikan dengan karakteristik pembakaran yang berbeda, seperti pelet biomassa atau arang biomassa, sehingga dapat diperoleh sumber panas yang lebih stabil dan mampu menghasilkan keluaran listrik yang lebih optimal.
5. Pada sistem pengkabelan gunakan pelindung panas agar kabel terlindungi dari suhu tinggi dan gunakan sistem pendingin yang bersirkulasi agar menghasilkan keluaran yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Almunir, M., & Rifky. (2023). Experimentation of Two Types of Thermoelectric Modules for Converting Thermal Energy to Electricity. *Metalik : Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik*, 2(1), 1–8.
- Ananda, J. A., Rahono, S., & Rachmanita, R. E. (2020). Studi Sistem Konversi Panas Buang Konduksi Berbasis Termoelektrik Generator. *Jurnal Teknologi Terpadu*, 2, 1-8.
- Elias, T., & Dino, K. (2024). Experimental evaluation of low-cost thermoelectric integrated rocket stove. *Cleaner Energy Systems*, 7, Article 100112.
- Ginanjari, G., Hiendro, A., & Sari, S. (2019). Perancangan dan pengujian sistem pembangkit listrik berbasis termoelektrik dengan menggunakan kompor surya sebagai media pemusat panas, *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 1-8.
- Goldsmid, H. J. (2009). *Introduction to Thermoelectricity*. Springer.
- Haripuddin, M. I., & Suhardi, I. (2023). Analysis Of Thermoelectric Potential Sp1848-27145 Sa As A Power Plant With Utilizing The Heat Energy Of Combustion. *Journal of Electrical Engineering & Informatics*, 1(1), 16–25.
- Isa, P. C., Arbie, A., Gede, D., Setiawan, E., Demulawa, M., Kurniasari, S., & Yunus, M. (2025). Analisis Pemanfaatan Biomassa Limbah Batang Padi Menjadi Energi Listrik Menggunakan Sistem Termoelektrik Generator. *Biochephy : Journal of Science Education*. 5(1), 296–301.

- Kumar, L. K., & Purushothama, K. M. (2024). Performance Optimization of Biomass-Fuelled Thermoelectric Cookstoves for Off-Grid Rural Electrification – Analysed. *Journal of Information Systems Engineering and Management*, 9, 1972–1987.
- Kandar, M. (2021). Karakteristik Peltier pada Elemen Termoelektrik TEC1-12706 sebagai Efek Seebeck untuk Konversi Energi Alternatif Penghasil Listrik. *SNETO*, 373–383.
- Karmal, F., Hiendro, A., & Wicaksono, R. A. (2022). Kompor Biomassa-Generator Termoelektrik Sebagai Pembangkit Energi Listrik Untuk Penerangan. *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, 3(2), 1–8.
- Lineykin, S., & Ben-yaakov, S. (2007). *Modeling and Analysis of Thermoelectric Modules*, 43(2), 505–512.
- Ma, X., Hu, S., & Hu, W. (2024). Case Studies in Thermal Engineering Experimental study of optimization of thermoelectric modules ' number and layout for waste heat recovery. *Case Studies in Thermal Engineering*, 57, Article 104322.
- Manab, M. A., & Fikri, A. (2020). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Alternatif Menggunakan Termoelektrik dengan Memanfaatkan pada Tungku Pemanas. *Journal of Electrical Power Control and Automation*, 3(2), 53–58.
- Mawardi, H., Hartulistiyoso, E., & Yulianto, M. (2024). Studi Teoritis Karakteristik Termal Pembakaran Biomassa Tanaman Energi pada Berbagai Kondisi Udara dalam Tungku Adiabatik. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 12(2), 254–271.
- Oktabiansyah, T., & Rifky. (2023). Pengaruh Tegangan Listrik dan Arus Listrik terhadap Kinerja Termoelektrik Sebagai Pendingin Termoelektrik. *Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik*, 2, 9–19.
- Pasaribu, B. P. (2023). Analisis Perpindahan Panas Dari Tungku Pembakaran Sate Untuk Generator Thermoelectric. *Skripsi*, Universitas Medan Area.
- Purwiyanti, S., Setyawan, F. X. A., Selviana, W., & Purnamasari, D. (2017). Aplikasi Efek Peltier Sebagai Kotak Penghangat dan Pendingin Berbasis Mikroprocessor Arduino Uno. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 16.

- Puspa F, S. D., Dharna, I. P. B., Novianto, S., Supriyadi, & Ginanjar M. A. (2024). Study Characteristic Thermal Electric Generator (TEG) Type SP1848 27145 SA. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi*, 6, 77-88.
- Ramadhan, D., Tirtoaji, M. O., Ferdinansyah, R., Firdaus, S., Abdul, R., Adi, S., Fadilah, D. N., Sunendang, N. F., Jamila, M., Sari, W. D., Kartini, T., & Subang, U. (2025). Penerapan Rocket Stove Sebagai Solusi Ramah Lingkungan. *Indonesian Journal of Community Services*, 5(2), 841–852.
- Rebllon, H. E., Henao, O. F. P., Gutierrez-velasquez, E. I., Amell, A. A., & Colorado, H. A. (2024). Thermoelectric Modules : Applications and Opportunities in Building Environments for Sustainable Energy Generation from Biomass , Municipal Waste , and Other Sources. *Engineered Science*, 1– 21.
- Reddy, D. D. (2014). Thermoelectric Power Generation from Biomass Cook Stove : A Waste Heat to Energy Conversion. *International Journal Of Engineering Technology And Sciences*, 2(1), 43–47.
- Royo, J., & Canalís, P. (2023). Integration of thermoelectric generators in a biomass boiler : Experimental tests and study of ash deposition effect. *Renewable Energy*, 214, 395–406.
- Ryanuargo, Anwar, S., & Sari, S. P. (2013). Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensor pada Sistem Pendingin. *Jurnal Rekayasa Elekrika*, 10(4), 180–185.
- Sari, N., Sugriwan, I., & Sari, N. D. (2024). Rancang Bangun Generator Termoelektrik Dengan Metode Efek Seebeck Sebagai Alternatif Pembangkit Energi Listrik. *Jurnal Natural Scientiae*, 4(1), 5–17.
- Setyono, A. E., & Kiono, B. F. T. (2021). Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(3), 154–162.