

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK
TERMOELEKTRIK MENGGUNAKAN PEMANFAATAN
CANGKANG SAWIT SEBAGAI SUMBER PANAS
BERBASIS PELTIER**

SKRIPSI

Oleh :

Marhaban Hadi Putratama Lubis

21.81.20004



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 22/1/26

Access From (repositori.uma.ac.id)22/1/26

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK
TERMOELEKTRIK MENGGUNAKAN PEMANFAATAN
CANGKANG SAWIT SEBAGAI SUMBER PANAS
BERBASIS PELTIER**

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

Oleh :

Marhaban Hadi Putratama Lubis

218120004

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

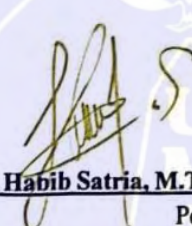
Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Termoelektrik
Menggunakan Pemanfaatan Cangkang Sawit Sebagai Sumber
Panas Berbasis Peltier

Nama : Marhaban Hadi Putratama Lubis


NPM : 21.812.0004

Prodi : Teknik Elektro


Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


Ir. Habib Satria, M.T, M. Kom, IPM, ASEAN Eng
Pembimbing




Dr. Supriatno, S.T, M.T
Dekan




Ir. Habib Satria, M.T, M. Kom, IPM, ASEAN Eng
Ka. Program Studi

Tanggal lulus: 2 September 2025

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 2 September 2025



Marhaban Hadi Putratama Lubis
NPM. 21.812.0004

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Marhaban Hadi Putratama Lubis
NPM : 21.812.0004
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir

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

“RANCANG BANGUN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TERMOELEKTRIK MENGGUNAKAN PEMANFAATAN CANGKANG SAWIT SEBAGAI SUMBER PANAS BERBASIS PELTIER”.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Medan
Pada tanggal: 2 September 2025
Yang menyatakan :



(Marhaban Hadi Putratama Lubis)

v

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji rancang bangun sistem pembangkit listrik termoelektrik yang memanfaatkan cangkang sawit sebagai sumber panas utama. Potensi termoelektrik dari limbah biomassa seperti cangkang sawit, yang melimpah di wilayah penghasil kelapa sawit, menjadi fokus untuk konversi energi termal menjadi energi listrik. Sistem ini mengintegrasikan modul Peltier sebagai komponen kunci dalam mengubah perbedaan suhu menjadi tegangan listrik melalui efek Seebeck. Metodologi penelitian meliputi perancangan dan konstruksi prototipe sistem yang terdiri dari tungku pembakaran cangkang sawit, penukar panas untuk optimalisasi transfer kalor ke modul Peltier, serta sistem pendingin pada sisi dingin modul Peltier untuk menciptakan gradien suhu yang signifikan. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem, termasuk efisiensi konversi energi, daya keluaran, dan stabilitas operasional pada berbagai variasi laju pembakaran cangkang sawit.

Kata kunci: Termoelektrik, Briket Cangkang Sawit, Energi Terbarukan

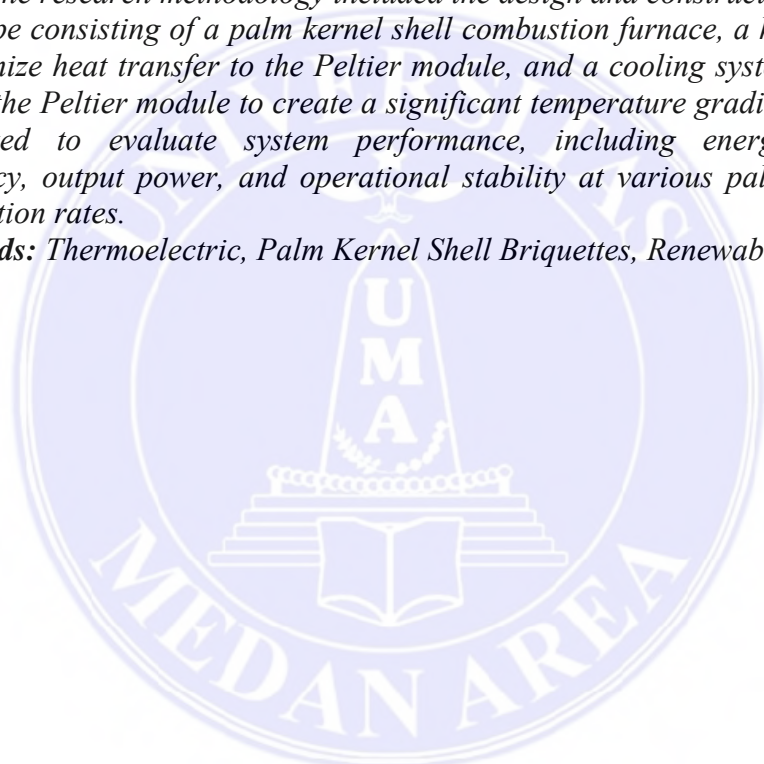


ABSTRACT

Marhaban Hadi Putratama Lubis, 218120004. “Design and Construction of Thermoelectric Power Generation System Using Palm Kernel Shell Utilization as Peltier-Based Heat Source”. Supervised by Ir. Habib Satria, M.T, M.Kom, IPM, ASEAN Eng.

This research examines the design of a thermoelectric power generation system that utilizes palm kernel shells as the primary heat source. The thermoelectric potential of biomass waste such as palm kernel shells, which are abundant in palm oil-producing regions, is the focus for converting thermal energy into electricity. This system integrates a Peltier module as a key component, converting temperature differences into electrical voltage through the Seebeck effect. The research methodology included the design and construction of a system prototype consisting of a palm kernel shell combustion furnace, a heat exchanger to optimize heat transfer to the Peltier module, and a cooling system on the cold side of the Peltier module to create a significant temperature gradient. Tests were conducted to evaluate system performance, including energy conversion efficiency, output power, and operational stability at various palm kernel shell combustion rates.

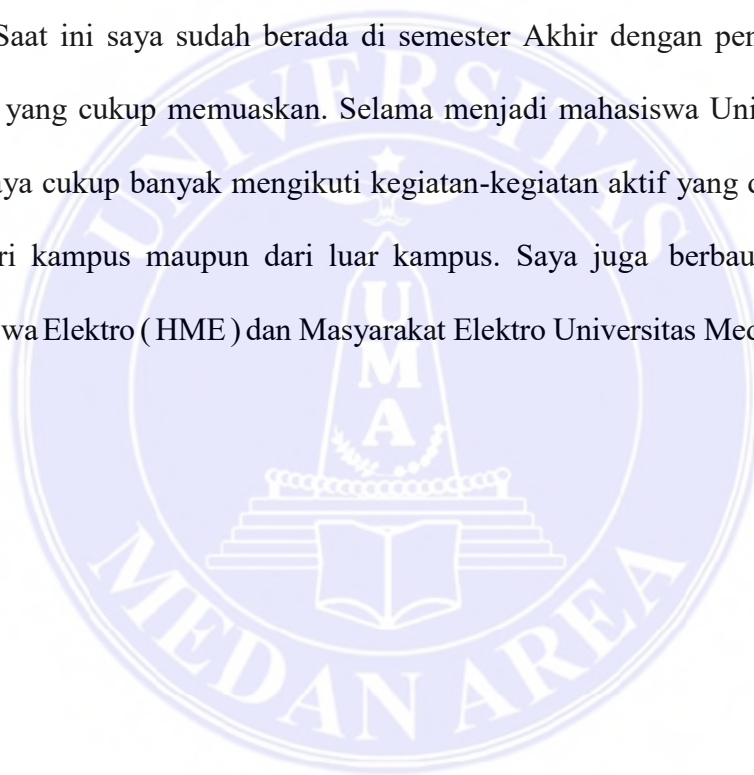
Keywords: Thermoelectric, Palm Kernel Shell Briquettes, Renewable Energy



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Barus Pada Tanggal 2 Mei 2003 dari ayah saya yang bernama YUNAN HARIS LUBIS dan Ibu saya RAULI TIURMIDA PANGGABEAN. Penulis merupakan anak Pertama dari 1 bersaudara. Tahun 2021 Penulis lulus dari SMKS PBD MEDAN dan pada tahun 2021 juga penulis mendaftarkan diri sebagai calon mahasiswa baru Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro di Universitas Medan Area.

Saat ini saya sudah berada di semester Akhir dengan pencapaian indeks prestasi yang cukup memuaskan. Selama menjadi mahasiswa Universitas Medan Area, saya cukup banyak mengikuti kegiatan-kegiatan aktif yang diselenggarakan baik dari kampus maupun dari luar kampus. Saya juga berbaur di Himpunan Mahasiswa Elektro (HME) dan Masyarakat Elektro Universitas Medan Area.



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji Syukur kehadiran tuhan yang Maha Esa yang telah memberikan Rahmat serta karunia-Nya kepada penulis sehingga Skripsi ini telah berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah rancangan bangun teknologi dengan judul **“RANCANG BANGUN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TERMOELEKTRIK MENGGUNAKAN PEMANFAATAN CANGKANG SAWIT SEBAGAI SUMBER PANAS BERBASIS PELTIER”**.

Pada penulisan Skripsi ini, penulis mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, baik berupa material, moral dan spritual, selayaknya penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ucapan Terima Kasih Saya yang sebesar - besarnya kepada kedua orang tua tercinta, yang telah memberikan perhatian dan kasih sayang yang luar biasa dalam mendukung Saya untuk menempuh pendidikan
2. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc, selaku Rektor Universitas Medan Area
3. Bapak Dr. Eng. Supriatno, S.T, M.T, Selaku Dekan Fakultas Teknik.
4. Bapak Ir. Habib Satria, M.T, M.Kom, IPM, ASEAN Eng, Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Medan Area
5. Bapak Ir. Habib Satria, M.T, M.Kom, IPM, ASEAN Eng, Selaku Dosen Pembimbing Untuk Tugas Akhir Ini Yang Memberikan Saran Dan Kritik Yang Membangun Dalam Penyusunan Tugas Akhir Ini.
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro dan Staff pegawai civitas akademis Fakultas Teknik Elektro Universitas Medan Area

**7. Seluruh teman seperjuangan angkatan stambuk 2021 Fakultas Teknik Elektro
Universitas Medan Area**

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritikan dan juga saran yang bersifat membangun sangatlah penulis harapkan demi menunjang kesepakatan tugas akhir ini. Penulis juga berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun kepada masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Medan, 2 September 2025

Penulis



(Marhaban Hadi Putratama Lubis)



x

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS	
AKHIR/SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	4
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Sistem Pembangkit Listrik Dengan Memanfaatkan Panas	7
2.1.1 Faktor Yang Mempengaruhi Efisiensi Briket.....	8
2.1.2 Penggunaan Cangkang Sawit	11
2.1.3 Pengaplikasian Cangkang Sawit Sebagai Bahan Bakar	13
2.1.4 Biomassa Sebagai Sumber Energi	14
2.2 Energi Terbarukan	15
2.3 Konsep Termoelektrik	16
2.4 Modul Peltier	17

2.4.1 Efek Seebeck.....	17
2.4.2 Spesifikasi Modul Peltier TEC1-12706	18
2.4.3 Kinerja Modul.....	19
2.5 Sistem Pendingin Pada Termoelektrik.....	19
2.5.1 Alasan menggunakan kipas pendingin (<i>Fan Cooler</i>)	20
2.5.2 Alasan Memilih Es Batu	21
2.6 Penggunaan Modul Step Up dan Plat Aluminium 1mm	22
2.7 Plat Tembaga.....	24
2.8 Plat Kuningan	25
2.9 Studi Terdahulu	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.1.1 Tempat Penelitian.....	27
3.1.2 Waktu Penelitian	27
3.2 Metode Penelitian	28
3.3 Alat dan Bahan.....	29
3.4 Spesifikasi Perancangan Alat	30
3.4.1 Tabung Pembakaran Arang.....	30
3.5 Alat penghancur arang	31
3.6 Tahapan Penelitian	31
3.7 Flowchart Penelitian.....	33
3.8 Prosedur Kerja	35
3.9 Perancangan perancangan sistem	36
3.10 Rangkaian Jalur Kabel	38
3.11 Desain Sederhana Alat.....	39
3.12 Proses Pembuatan Briket Cangkang Sawit	39
3.12.1 Cangkang Sawit	39
3.12.2. Cangkang Sawit Menjadi Arang	40

3.12.3 Penghalusan Arang Cangkang Sawit.....	42
3.12.4 Tepung Tapioka.....	42
3.12.5 Pencampuran Arang Dan Tepung Dengan Air Panas	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Hasil Perancangan Hardware.....	45
4.2 Pembahasan	51
4.2.1 Karakteristik Fisik Briket Cangkang sawit.....	51
4.2.2 Analisis Briket Cangkang Sawit.....	52
4.2.3 Nilai Kalor Briket Cangkang Sawit.....	53
4.2.4 Pengujian Pembakaran Briket Cangkang Sawit	53
4.2.5 Penggunaan Es Batu Sebagai Suhu Dingin	54
4.2.6 Pengujian Plat Aluminium Ketebalan 1mm Tanpa Beban	54
4.2.7 Pengujian percobaan menggunakan plat Aluminium 1mm Menggunakan beban.....	58
4.2.8 Pengujian Percobaan Menggunakan Plat Tembaga 1mm Tanpa Beban.....	61
4.2.9 Pengujian Percobaan Menggunakan Plat Tembaga 1mm Menggunakan Beban	64
4.2.10 Pengujian percobaan menggunakan plat kuningan 1mm tanpa beban.....	65
4.2.11 Pengujian Percobaan Menggunakan Plat Kuningan 1mm Menggunakan Beban.	67
4.2.12 Perbandingan Cangkang Sawit Dan Batok Kelapa	71
4.2.13 Analisis Perbedaan Tegangan Dengan dan Tanpa Beban Pada Saat Percobaan Semua Plat Konduktor	72
4.2.14 Peran Media Pendingin Es Batu dan Kipas Pendingin.....	74

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kipas Pendingin (<i>Fan Cooler</i>).....	20
Gambar 2.2	Es Batu	21
Gambar 2.3	Step up DC.....	22
Gambar 2.4	Plat Aluminium	24
Gambar 2.5	Plat Tembaga	25
Gambar 2.6	Plat Kuningan	25
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Kegiatan Penelitian	33
Gambar 3.2	Blok Diagram Perencanaan Perancang Alat	36
Gambar 3.3	Rangkaian Jalur Kabel Sistem	38
Gambar 3.4	Desain Sederhana Alat	39
Gambar 3.5	Cangkang Sawit.....	40
Gambar 3.6	pembuatan Arang	41
Gambar 3.7	Arang Cangkang Sawit	41
Gambar 3.8	Penghalusan Arang.....	42
Gambar 3.9	Tepung Tapioka.....	43
Gambar 3.10	Proses Pencampuran Arang Dan Tepung	43
Gambar 3.11	Penjemuran Arang.....	44
Gambar 4.1	Keseluruhan Alat Dan Hardware.....	45

Gambar 4.2	Proses Pengujian Alat Tanpa Beban	47
Gambar 4.3	Proses Pengujian Alat Menggunakan Beban	48
Gambar 4.4	Isi Dari Dalam Rangkaian Box.....	49
Gambar 4.5	Tabung/Tempat Pembakaran.....	50
Gambar 4.6	Bentuk Briket.....	52
Gambar 4.7	Grafik Perhitungan Plat Aluminium Tanpa Beban.....	55
Gambar 4.8	Grafik Perhitungan Plat Aluminium Ada beban.....	59
Gambar 4.9	Grafik Perhitungan Plat Tembaga Tanpa Beban	62
Gambar 4.10	Grafik Perhitungan Plat Tembaga Ada Beban.....	65
Gambar 4.11	Grafik Perhitungan Plat Kuningan Tanpa Beban	65
Gambar 4.12	Grafik Perhitungan Plat Kuningan Ada Beban.....	68
Gambar 4.13	Perbandingan Hasil Cangkang Sawit Dan Batok Kelapa.....	71

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Waktu Penelitian.....	27
Tabel 3.2 Alat Yang Dibutuhkan.....	29
Tabel 3.3 Tabung Pembarakaran Arang	30
Tabel 4.1 Perhitungan Menggunakan Plat Aluminium Tanpa Beban.....	55
Tabel 4.2 Perhitungan Menggunakan Plat Aluminium Ada Beban	58
Tabel 4.3 Perhitungan Menggunakan Plat Tembaga Tanpa Beban.....	61
Tabel 4.4 Perhitungan Menggunakan Plat Tembaga Ada Beban.....	64
Tabel 4.5 Perhitungan Menggunakan Plat Kuningan Tanpa Beban.....	65
Tabel 4.6 Perhitungan Menggunakan Plat Kuningan Ada Beban	67
Tabel 4.7 Perbandingan Hasil Cangkang Sawit Dan Batok Kelapa.....	71

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan pertumbuhan jumlah penduduk. Di tambah lagi, sumber energi fosil yang menjadi andalan utama dalam pembangkitan listrik semakin menipis dan berdampak buruk terhadap lingkungan. Oleh karena itu, pengembangan sumber energi terbarukan menjadi hal yang sangat penting untuk mendukung keberlanjutan sistem energi. Efek Seebeck terjadi ketika ada perbedaan suhu di antara dua sambungan material konduktor atau semikonduktor yang berbeda, perbedaan suhu ini akan menghasilkan beda potensial listrik, atau tegangan. Sebaliknya, Efek Peltier memungkinkan perangkat termoelektrik bertindak sebagai pendingin atau pemanas: ketika arus listrik dialirkan melalui sambungan dua material berbeda, panas akan diserap di satu sisi dan dilepaskan di sisi lainnya, menciptakan perbedaan suhu. Perangkat termoelektrik modern umumnya menggunakan material semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang disusun secara seri untuk memaksimalkan efek ini. Keunggulan utama teknologi ini adalah sifatnya yang padat (solid-state) sehingga tidak memiliki bagian bergerak, menjadikannya sangat andal, bebas perawatan, dan senyap. Meskipun efisiensinya relatif lebih rendah dibandingkan pembangkit listrik konvensional, kemampuannya untuk memanfaatkan panas sisa (waste heat) dari berbagai sumber, seperti knalpot kendaraan atau proses industri, menjadikannya solusi menarik untuk pemulihan energi dan aplikasi khusus seperti pendinginan elektronik atau pendingin portabel. (Siregar, 2022)

Bioarang merupakan sumber energi biomassa yang ramah lingkungan dan biodegradable. Briket arang berfungsi sebagai pengganti bahan bakar minyak, baik itu minyak tanah, maupun elpiji. Biomassa ini merupakan sumber energi masa depan yang tidak akan pernah habis, bahkan jumlahnya bertambah, sehingga sangat cocok sebagai sumber bahan bakar rumah tangga. Teknik pembuatan briket arang terdiri dari dua tahap yang berbeda prinsipnya, yaitu proses pengarangan/karbonisasi limbah kayu menjadi serbuk arang dan proses pencetakan serbuk arang menjadi briket arang dengan cara dikempa. Pembuatan briket arang dari limbah pertanian dapat dilakukan dengan menambah bahan perekat, dimana bahan baku diarangkan terlebih dahulu kemudian ditumbuk, dicampur perekat, dicetak dengan sistem hidrolik maupun manual dan selanjutnya dikeringkan (Kurniawan et al., 2022).

Termoelektrik generator merupakan konversi langsung dari energi panas menjadi energi listrik. Termoelektrik didasarkan pada sebuah efek yang disebut efek Seebeck, yang pertama kali ditemukan pada tahun 1821 oleh Thomas Johan Seebeck. Prinsip kerja dari efek Seebeck yang bekerja pada pembangkit termoelektrik adalah jika ada dua buah material atau lempeng logam yang tersambung berada pada lingkungan dengan suhu yang berbeda maka di dalam material atau lempeng logam tersebut akan mengalir arus listrik. (Saputra et al., 2023).

Termoelektrik dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit tenaga listrik. Pada penelitian ini dilakukan perancangan purwarupa pembangkit listrik berbasis termoelektrik yang dapat dipergunakan sebagai media pembelajaran konversi energi terbarukan. (Bagus Pradana et al., 2021).

Salah satu alternatif yang dapat dikembangkan adalah sistem pembangkit listrik termoelektrik, yaitu sistem yang mengubah energi panas menjadi energi listrik dengan memanfaatkan efek Seebeck. Teknologi ini memiliki keunggulan karena tidak memerlukan bagian bergerak, tidak menghasilkan emisi gas buang, dan dapat memanfaatkan panas dari berbagai sumber.

Indonesia, khususnya wilayah penghasil kelapa sawit, memiliki potensi biomassa yang melimpah. Cangkang sawit yang selama ini hanya menjadi limbah dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas. Melalui proses pembakaran cangkang sawit, energi panas yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengaktifkan modul termoelektrik tipe Peltier, sehingga menghasilkan energi listrik (Umut & Akal, 2023). Menjaga tetap stabilnya kerja modul Peltier, dibutuhkan sistem pendinginan yang mampu menjaga sisi dingin tetap berada pada suhu rendah. Dalam hal ini, digunakan *fan cooler* (kipas pendingin) dan es batu yang berfungsi untuk membuang panas dari sisi dingin secara berkala, sehingga perbedaan suhu antara sisi panas dan dingin dapat dipertahankan. Panas yang dihasilkan dari memanfaatkan pembakaran cangkang sawit ini digunakan untuk menghidupkan lampu LED DC 12 V. Sama dengan halnya sisa limbah cangkang sawit ini dapat di manfaatkan sebagai energi terbarukan baik saat ini bahkan di masa yang akan datang.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari proposal ini berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan diatas yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem pembangkit listrik termoelektrik dengan memanfaatkan cangkang sawit sebagai sumber panas?
2. Bagaimana efisiensi konversi energi panas ke energi listrik menggunakan modul Peltier?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan kipas pendingin terhadap modul Peltier?
4. Berapa besar energi listrik yang dapat dihasilkan oleh sistem tersebut?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sumber panas yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan hasil pembakaran cangkang sawit.
2. Pengujian kinerja sistem hanya dilakukan pada beban berupa lampu LED DC12V dan pengukuran tegangan serta arus keluaran sistem.
3. Sistem termoelektrik yang dirancang hanya menggunakan modul Peltier tipe TEC-12706, tanpa melibatkan jenis modul lain.
4. Penelitian hanya membandingkan dari beberapa jenis plat aluminium, tembaga dan kuningan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menguji kinerja dari panas cangkang sawit sebagai sumber panas dalam sistem termoelektrik.

2. Merancang dan membuat sistem pembangkit energi listrik termoelektrik berbasis modul Peltier.
3. Menganalisis berapa besarnya energi listrik yang dihasilkan.
4. Menganalisis peran kipas pendingin dan es batu dalam menjaga kestabilan pendinginan pada sisi dingin modul Peltier.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan efisiensi dan penghemat bahan bakar energi listrik.
2. Mengurangi ketergantungan pada energi fosil.
3. Memberikan solusi alternatif dalam pemanfaatan limbah biomassa sebagai sumber energi kepada masyarakat.
4. Menambah wawasan tentang penerapan modul termoelektrik dalam skala kecil.
5. Mendorong penggunaan energi bersih dan ramah lingkungan melalui pengembangan sistem pembangkit listrik portabel.
6. Membuktikan potensi teknologi termoelektrik dalam skala kecil dengan sistem yang sederhana.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, terdapat beberapa sistematika penulisan yang di uraikan berdasarkan beberapa pembagian dalam bab-bab yang akan dibahas, yaitu sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisikan terkait latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian serta sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan tentang pokok pembahasan landasan teori atau materi yang mendasar dalam pelaksanaan penelitian ini.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan tentang waktu dan pelaksanaan kegiatan penelitian serta metode yang digunakan atau diterapkan dalam tugas akhir ini.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang penyajian hasil pengujian alat serta pembahasan.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan tentang simpulan dan saran dari pembuatan alat dan laporan sebagai upaya untuk perbaikan kedepan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Pembangkit Listrik Dengan Memanfaatkan Panas

Teknologi termoelektrik merupakan teknologi yang relatif efisien, ramah lingkungan, tahan lama, serta mampu menghasilkan energi dalam skala kecil hingga skala besar jika dikembangkan dengan lebih lanjut dapat menjadi solusi sumber energi listrik alternatif. Untuk menghasilkan arus dan tegangan, sebuah modul termoelektrik cukup diletakkan pada dua daerah (sisi panas dan dingin), sehingga ketika terjadi perbedaan suhu antara kedua permukaan termoelektrik tersebut maka akan timbul tegangan listrik (Patra et al., 2020)

Proses pemanfaatan cangkang sawit diawali dengan mengubahnya menjadi briket. Karena cangkang sawit merupakan limbah padat yang melimpah dari pabrik kelapa sawit, terutama di wilayah daerah Provinsi Sumatera Utara, di mana perkebunan kelapa sawit sangat banyak. Dengan mengubahnya menjadi briket, kualitas pembakaran dapat distabilkan dan dikontrol lebih baik dibandingkan dengan pembakaran cangkang sawit mentah. Briket memiliki unsur energi yang lebih tinggi dan profil pembakaran yang lebih tunggal, memungkinkan terbuatnya suhu yang optimal dan konsisten pada modul Peltier.(Carnella & Sari, 2016)

Energi panas yang dihasilkan dari pembakaran briket cangkang sawit inilah yang akan disalurkan ke sisi panas modul Peltier. Sementara itu, sisi dingin modul akan didinginkan secara efektif untuk menciptakan perbedaan suhu yang signifikan. (Patra et al., 2020)

Semakin besar dan stabil perbedaan suhu yang berhasil diciptakan di kedua sisi modul Peltier, semakin besar pula daya listrik yang dapat dihasilkan oleh sistem. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada pengembangan teknologi energi terbarukan yang inovatif dan efisien, tetapi juga menawarkan solusi yang baik untuk pengelolaan limbah bekas buah sawit dengan mengubahnya menjadi sumber daya energi bernilai tinggi, sekaligus berpotensi besar untuk menyediakan akses listrik berkelanjutan, terutama bagi daerah-daerah yang masih belum terjangkau oleh infrastruktur kelistrikan konvensional. (*Optimization Of a Peltier Influence Cooling System For Photovoltaic Cells*, 2022)

2.1.1 Faktor Yang Mempengaruhi Efisiensi Briket

Efisiensi dalam proses pembuatan briket sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor penting, di antaranya:

1. Jenis Air

Kadar air yang rendah pada briket sangat penting, karena kadar air yang tinggi akan menurunkan nilai kalor dan menyulitkan penyalaan pada saat hendak pembakaran. karakteristiknya dapat bervariasi dan berpotensi memengaruhi sifat fisik briket. Sebagai contoh, air sadah yang mengandung konsentrasi mineral tinggi seperti kalsium dan magnesium, dapat berinteraksi dengan bahan baku atau perekat. Interaksi ini dapat memengaruhi kemampuan perekat untuk menempel secara optimal atau bahkan mengubah struktur briket, yang pada akhirnya dapat memengaruhi densitas, kekuatan mekanis, dan yang terpenting, efisiensi pembakaran. Sebaliknya, penggunaan teknologi lunak atau air dengan kemurnian lebih tinggi menghasilkan

interaksi yang lebih konsisten dengan bahan baku dan perekat, berpotensi menghasilkan briket dengan kualitas pembakaran yang lebih baik.

2. Ukuran

Setelah pembakaran maka cangkang akan berubah menjadi arang, ukuran serbuk arang yang halus akan mempengaruhi ketahanan dan kerapatan pada briket. Ukuran ideal dapat meningkatkan daya rekat yang optimal pada briket.

3. Kadar abu

Kadar abu ini merujuk pada jumlah material anorganik atau residu padat yang tertinggal setelah briket dibakar sempurna pada suhu tinggi, dengan kata lain, ini adalah bagian dari briket yang tidak terbakar. Tingginya kadar abu dalam briket dapat secara signifikan mengurangi efisiensi pembakaran karena semakin banyak abu, semakin rendah pula kandungan bahan mudah terbakar seperti zat volatil dan karbon terikat. Hal ini akan berdampak pada beberapa aspek penting, yaitu penurunan nilai kalor briket karena abu tidak menghasilkan panas, peningkatan jumlah residu yang perlu dibuang sehingga menambah biaya operasional dan potensi masalah lingkungan, serta gangguan pada proses pembakaran. Abu dapat membentuk kerak atau aglomerasi di dalam tungku, menghambat aliran udara, dan mengurangi kontak antara bahan bakar dan oksigen, yang akhirnya menurunkan efisiensi pembakaran dan bahkan menyebabkan pembakaran tidak sempurna. Selain itu, briket dengan kadar abu tinggi juga berpotensi menghasilkan emisi partikulat yang lebih banyak ke atmosfer. (Yung, 2022)

4. Suhu

Suhu dalam pengeringan briket juga berperan dalam efisiensi reaksi. Biasanya, peningkatan suhu akan meningkatkan efek rekat yang baik dan bagus, meskipun harus menunggu sedikit waktu untuk pengeringan.

5. Jenis Cangkang Sawit

Cangkang sawit, yang merupakan limbah padat dari proses pengolahan buah kelapa sawit, sebenarnya dapat dikategorikan berdasarkan jenis induk pohon kelapa sawitnya. Secara umum, ada tiga jenis utama cangkang sawit yang dikenal, yaitu Dura, Tenera, dan Pisifera, yang masing-masing berasal dari jenis kelapa sawit yang berbeda.

Cangkang sawit dari jenis Dura dikenal memiliki karakteristik yang lebih tebal dan keras. Buah kelapa sawit Dura memiliki cangkang yang cukup tebal, berkisar antara 2-8 mm, dan seringkali tidak memiliki serabut pada bagian luar cangkangnya. Karena ketebalan ini, cangkang Dura cenderung memiliki nilai kalor yang lebih tinggi saat dibakar, menjadikannya pilihan yang baik sebagai bahan bakar biomassa, terutama untuk aplikasi seperti boiler industri. (Yung, 2022)

Sementara itu, cangkang dari jenis Tenera merupakan hasil persilangan antara Dura dan Pisifera. Cangkang Tenera memiliki ketebalan menengah, biasanya antara 0.5-4 mm, dan ditandai dengan adanya lapisan serabut yang menyelimuti cangkang. Jenis Tenera ini sangat populer dalam budidaya kelapa sawit karena mampu menghasilkan minyak yang melimpah dan memiliki cangkang yang relatif tipis dibandingkan Dura, membuatnya lebih mudah diproses dan juga masih sangat baik sebagai bahan bakar.

Jenis ketiga adalah cangkang dari jenis Pisifera. Cangkang Pisifera sangat tipis, bahkan bisa dibilang tidak memiliki cangkang sama sekali atau hanya berupa lapisan yang sangat rapuh. Buah kelapa sawit Pisifera umumnya memiliki inti yang kecil dan kandungan minyak yang rendah, sehingga varietas ini tidak umum dibudidayakan untuk produksi minyak secara komersial, melainkan sering digunakan sebagai tetua jantan dalam program pemuliaan untuk menghasilkan varietas Tenera.

Selain pengelompokan berdasarkan jenis, cangkang sawit juga sering diklasifikasikan berdasarkan proses pemilahannya di pabrik, yaitu cangkang sawit *screening* dan *non-screening*. Cangkang *screening* adalah cangkang yang telah melalui proses penyaringan untuk mendapatkan ukuran yang lebih seragam dan umumnya lebih kecil, sehingga lebih mudah digunakan untuk aplikasi tertentu seperti pembuatan briket. Sebaliknya, cangkang *non-screening* adalah cangkang yang belum disaring, sehingga ukurannya lebih bervariasi dan tidak beraturan. Pemahaman akan jenis-jenis cangkang sawit ini penting karena karakteristik fisik dan termalnya dapat berbeda, memengaruhi bagaimana mereka dapat dimanfaatkan secara optimal, terutama sebagai sumber energi biomassa. (Yuan et al., 2020)

2.1.2 Penggunaan Cangkang Sawit

Penelitian ini memiliki beberapa keuntungan yang signifikan. Pertama, dari sisi lingkungan, briket biomassa adalah sumber energi terbarukan yang membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Dengan mengoptimalkan jadi briket, bertambahnya kontribusi pada penurunan emisi gas rumah kaca dan pemanfaatan limbah yang lebih baik. Kedua, dari perspektif

ekonomi, briket yang efisien menawarkan alternatif energi yang lebih terjangkau, terutama bagi masyarakat dan industri kecil yang sulit mengakses bahan bakar konvensional. Peningkatan efisiensi berarti briket dapat menghasilkan energi lebih banyak dengan biaya lebih rendah, meningkatkan nilai jual dan daya saingnya di pasar. Ketiga, penelitian ini juga memiliki manfaat sosial karena dapat membuka peluang bagi komunitas lokal untuk mengelola limbah biomassa mereka sendiri, menciptakan lapangan kerja, dan meningkatkan kemandirian energi. Terakhir, penelitian ini dapat menghasilkan data dan rekomendasi yang kuat untuk pengembangan teknologi briket yang lebih baik, mulai dari pemilihan bahan baku hingga proses produksi, yang pada akhirnya akan menghasilkan produk yang lebih berkualitas dan efisien.(Obi et al., 2022)

Pada sisi lain, ada beberapa kerugian atau tantangan yang akan dihadapi dalam penelitian ini. Pertama, biaya awal untuk penelitian dan pengembangan briket cukup tinggi. Ini termasuk pengadaan bahan baku, perekat, peralatan pengujian yang presisi, dan biaya operasional eksperimen. Keterbatasan anggaran bisa membatasi cakupan dan kedalaman analisis. Kedua, variasi bahan baku merupakan kerugian intrinsik yang sering ditemui. Kualitas cangkang sawit, misalnya, bisa berbeda tergantung dari lokasi pabrik, musim, atau bahkan proses pengeringan awal. Perbedaan ini dapat mempersulit hasil standart dan daya eksperimen, harus selalu ada pantauan yang ketat dan pengujian yang berulang. Ketiga, kompleksitas proses produksi briket juga bisa menjadi kerugian. Mengoptimalkan efisiensi melibatkan banyak variabel yang saling berinteraksi (suhu, tekanan, jenis perekat, ukuran partikel), yang memerlukan eksperimen yang

rumit untuk menemukan kombinasi terbaik. Terakhir, meskipun briket efisien secara energi, aspek lingkungan dari proses produksinya sendiri (misalnya, emisi dari pengeringan bahan baku atau residu pembakaran dari perekat tertentu) perlu diperhatikan. Jika tidak dianalisis secara menyeluruh, penelitian Anda mungkin hanya memindahkan masalah lingkungan dari satu titik ke titik lain. (Pane et al., 2015)

2.1.3 Pengaplikasian Cangkang Sawit Sebagai Bahan Bakar

Cangkang sawit memiliki berbagai aplikasi sebagai bahan bakar energi listrik, antara lain:

a. Lampu LED DC 12V

Cangkang sawit dibakar dalam wadah atau tempat khusus. Panas yang timbul dari pembakaran ini akan dipindahkan ke satu sisi modul peltier (TEG), sementara sisi lainnya dijaga tetap dingin, misalnya dengan menggunakan heat sink atau pendingin udara/cair. Perbedaan suhu antara sisi panas dan dingin modul inilah yang menciptakan aliran listrik.. (luqman idji 2020)

b. Pembangkit Listrik

Cangkang Sawit dapat digunakan dalam sel bahan bakar untuk menghasilkan listrik secara efisien dan portabel. Sistem ini masih mengandalkan pembakaran cangkang sawit sebagai sumber panas. Panas dari pembakaran disalurkan ke sejumlah modul TEG, dan listrik yang terkumpul kemudian dapat digunakan untuk mengoperasikan perangkat elektronik berdaya rendah lainnya. Meskipun belum mampu menyaingi pembangkit listrik konvensional dalam skala besar, teknologi ini sangat

menjanjikan untuk kebutuhan daya di lokasi terpencil, pemantauan sensor, atau sebagai sumber listrik cadangan yang ramah lingkungan.

c. Baterai HP

Pengguna dapat mengisi daya ponsel mereka hanya dengan membakar cangkang sawit. Ini adalah solusi praktis untuk daerah tanpa akses listrik permanen, atau bagi mereka yang membutuhkan sumber daya portabel saat bepergian. Beberapa prototipe bahkan mengintegrasikan kompor biomassa kecil dengan modul termoelektrik, memungkinkan pengguna untuk memasak sambil menghasilkan listrik untuk mengisi daya perangkat mereka. (Sihombing, 2024)

2.1.4 Biomassa sebagai sumber energi

Biomassa merupakan bahan organik yang dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi. Biomassa bisa berasal dari limbah pertanian, kehutanan, peternakan, hingga limbah industri agro. Di Indonesia, kelapa sawit menjadi salah satu komoditas utama, dan menghasilkan limbah biomassa dalam jumlah besar, termasuk cangkang sawit.

Cangkang sawit adalah bagian keras dari biji sawit yang biasanya dibuang atau dibakar tanpa pemanfaatan optimal. Padahal, nilai kalor cangkang sawit cukup tinggi, berkisar antara 4000–4500 kkal/kg. Ini menjadikannya bahan bakar alternatif yang potensial, terutama untuk sistem pembangkit energi skala kecil. Pemanfaatan cangkang sawit sebagai sumber panas tidak hanya membantu mengurangi limbah. Biomassa yang digunakan adalah cangkang sawit yang dibakar untuk menghasilkan suhu tinggi. Panas tersebut digunakan sebagai sumber energi untuk menciptakan perbedaan suhu pada modul Peltier. Hal ini

membuktikan bahwa biomassa tidak hanya berguna sebagai bahan bakar langsung.(Utarina et al., 2020)

2.2 Energi Terbarukan

Energi terbarukan merupakan energi yang berasal dari proses-proses alam yang berkelanjutan dan tidak akan habis meskipun digunakan secara terus-menerus. Beberapa sumber energi terbarukan yang umum dikenal adalah energi surya, angin, air, panas bumi, dan biomassa. Berbeda dengan energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam yang terbentuk selama jutaan tahun dan akan habis jika dieksploitasi terus-menerus, energi terbarukan bersifat ramah lingkungan dan dapat diperbarui secara alami. Seiring meningkatnya kebutuhan energi global, ketergantungan terhadap energi fosil menimbulkan berbagai permasalahan serius, seperti pencemaran udara, emisi gas rumah kaca, pemanasan global, dan krisis energi. Oleh karena itu, pengembangan teknologi berbasis energi terbarukan menjadi salah satu solusi yang sangat penting untuk mencapai ketahanan dan kemandirian energi di masa depan.

Salah satu jenis energi terbarukan yang mulai banyak dikembangkan adalah biomassa. Biomassa memiliki potensi besar karena dapat diperoleh dari limbah pertanian, limbah organik, dan sisa hasil perkebunan. Selain membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, pemanfaatan biomassa juga berkontribusi dalam mengurangi volume limbah yang mencemari lingkungan.(*Renewable Energy from Biomassa*, 2022). Dalam konteks penelitian ini, biomassa yang digunakan adalah cangkang kelapa sawit. Indonesia sebagai negara penghasil kelapa sawit terbesar di dunia memiliki potensi biomassa yang sangat besar. Pemanfaatan cangkang sawit sebagai sumber energi terbarukan tidak

hanya mendukung program energi bersih, tetapi juga meningkatkan nilai guna limbah pertanian secara ekonomis dan teknis.

2.3 Konsep Termoelektrik

Sistem termoelektrik adalah suatu teknologi konversi langsung energi panas menjadi energi listrik menggunakan prinsip efek Seebeck. Teknologi ini tidak memerlukan proses mekanis atau sistem konversi kompleks seperti pada mesin uap atau turbin gas, sehingga memiliki keunggulan dalam hal kesederhanaan desain, minim perawatan, dan bebas dari polusi suara maupun emisi berbahaya.

Prinsip kerja sistem termoelektrik didasarkan pada perbedaan suhu (ΔT) antara dua sisi suatu bahan semikonduktor. Ketika satu sisi bahan dipanaskan dan sisi lainnya dijaga tetap dingin, akan terjadi pergerakan pembawa muatan (elektron dan hole) dari sisi panas ke sisi dingin. Gerakan ini menciptakan perbedaan potensial atau tegangan listrik di antara kedua ujung bahan. Semakin besar selisih suhu yang terjadi, semakin besar pula tegangan yang dapat dihasilkan. Teknologi ini memiliki beberapa kelebihan, yaitu:

1. Tidak memiliki bagian bergerak, sehingga kecil kemungkinan mengalami kerusakan mekanis.
2. Ukurannya kompak dan mudah diaplikasikan di berbagai kondisi.
3. Tidak menimbulkan suara atau getaran saat beroperasi.
4. Dapat memanfaatkan limbah panas (*waste heat*) dari berbagai sumber, termasuk pembakaran biomassa.

Kelemahan utama sistem ini adalah efisiensi konversinya yang masih relatif rendah jika dibandingkan dengan sistem konversi energi lainnya. Rata-rata efisiensi termoelektrik komersial hanya berkisar antara 3–8%, tergantung dari

jenis material, desain sistem, dan manajemen suhu yang baik. Pada konteks penelitian ini, sistem termoelektrik dirancang untuk mengubah energi panas hasil pembakaran cangkang sawit menjadi energi listrik menggunakan modul Peltier. Pemanfaatan teknologi ini sangat relevan untuk daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik, karena sistemnya tidak memerlukan bahan bakar fosil, mudah dipasang, dan memanfaatkan sumber daya lokal berupa limbah biomassa.

2.4 Modul Peltier

Modul ini terdiri dari susunan elemen semikonduktor tipe-n dan tipe-p yang dihubungkan secara elektrik secara seri dan secara termal secara paralel, kemudian dijepit di antara dua lapisan keramik. Pada umumnya, modul Peltier digunakan untuk pendinginan aktif (*cooling*) dengan prinsip efek Peltier, yaitu ketika diberi arus listrik, satu sisi modul menjadi dingin dan sisi lainnya menjadi panas. Namun, jika arah kerja modul dibalik—yaitu dengan memberikan perbedaan suhu antara dua sisi modul tanpa arus eksternal modul ini akan menghasilkan tegangan listrik. Inilah yang disebut sebagai efek Seebeck, dan digunakan dalam penelitian ini.

2.4.1 Efek Seebeck

Efek Seebeck adalah fenomena di mana tegangan listrik muncul akibat adanya perbedaan suhu antara dua titik pada suatu bahan konduktor atau semikonduktor yang berbeda. Ditemukan oleh Thomas Johann Seebeck pada tahun 1821, efek ini menjadi dasar dari teknologi pembangkit listrik termoelektrik. Besarnya tegangan yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan:

$$V = S \times \Delta T$$

Yang di mana:

V = Tegangan yang dihasilkan (volt)

S = Koefisien Seebeck (volt/Kelvin)

ΔT = Perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin (Kelvin)

Koefisien Seebeck merupakan karakteristik dari material semikonduktor yang digunakan. Nilai ini menentukan seberapa besar tegangan yang dapat dihasilkan untuk setiap derajat perbedaan suhu.

2.4.2 Spesifikasi Modul Peltier TEC1-12706

Pada penelitian ini digunakan modul termoelektrik tipe TEC1-12706. Modul ini banyak digunakan karena murah, mudah didapat, dan cukup stabil untuk keperluan eksperimen. Beberapa spesifikasi utamanya antara lain:

- a. Tegangan maksimal : 12 Volt
- b. Arus maksimum : 6 Ampere
- c. Dimensi : 40 mm × 40 mm × 3.6 mm
- d. Suhu operasi Max : sekitar 150°C (sisi panas)
- e. Material utama : semikonduktor tipe-n dan tipe-p

Modul ini bekerja optimal jika terdapat perbedaan suhu yang signifikan antara kedua sisinya. Untuk menghasilkan listrik, sisi panas harus diberi panas yang stabil (misalnya dari pembakaran cangkang sawit), sementara sisi lainnya harus didinginkan menggunakan heatsink atau kipas untuk menjaga ΔT tetap besar.

2.4.3 Kinerja Modul

Kinerja modul Peltier sebagai pembangkit sangat bergantung pada 3 point, yaitu:

1. ΔT (selisih suhu): semakin besar ΔT , semakin besar tegangan yang dihasilkan.
2. Kualitas pembuangan panas di sisi dingin: sistem pendinginan yang buruk akan mengurangi efisiensi.
3. Beban listrik: jika beban terlalu besar, tegangan bisa turun drastis.

Pada sistem yang dirancang pada penelitian ini, beberapa buah modul TEC-12706 disusun secara seri untuk meningkatkan tegangan output agar dapat menyalakan beban ringan seperti lampu LED. Dengan memahami prinsip kerja dan karakteristik modul Peltier, sistem pembangkit termoelektrik dapat dirancang secara efektif untuk mengonversi panas dari biomassa menjadi listrik, bahkan dalam kondisi sumber daya yang terbatas.

2.5 Sistem Pendingin Pada Termoelektrik

Pada sistem termoelektrik, perbedaan suhu (ΔT) antara sisi panas dan sisi dingin modul sangat berpengaruh terhadap besarnya tegangan listrik yang dihasilkan. Agar efek Seebeck dapat bekerja secara optimal, dibutuhkan suhu tinggi pada satu sisi (*hot side*) dan suhu rendah pada sisi lainnya (*cold side*). Oleh karena itu, keberadaan sistem pendinginan sangat penting untuk menjaga suhu sisi dingin tetap rendah selama sistem bekerja. Secara umum, metode pendinginan pada modul termoelektrik dapat dilakukan melalui berbagai cara, seperti:

- a. Penggunaan kipas pendingin
- b. Pendingin berbasis air (*water cooling*)

Pada percobaan sistem pendinginannya saya menggunakan es batu, yang berfungsi sebagai media penarik panas dari sisi dingin modul Peltier. Es batu dipilih karena mudah diperoleh, murah, dan sangat efektif dalam menurunkan suhu permukaan modul. Ketika es batu menyentuh permukaan sisi dingin modul, terjadi perpindahan panas dari modul ke es, sehingga menjaga suhu sisi tersebut tetap rendah.

2.5.1 Alasan menggunakan kipas pendingin (Fan Cooler)

Pendinginan merupakan bagian penting dari sistem termoelektrik, karena menjaga suhu sisi dingin tetap rendah sangat memengaruhi performa modul. Fan cooler atau kipas pendingin digunakan untuk mempercepat proses pembuangan panas pada sisi dingin modul Peltier. Fan cooler memiliki keunggulan dalam hal kemudahan penggunaan, biaya rendah, serta kemampuan bekerja secara terus-menerus tanpa penggantian seperti es batu. Berikut dibawah ini terdapat gambar dari kipas pendingin.



Gambar 2.1 Kipas pendingin (*Fan Cooler*)

2.5.2 Alasan Memilih Es Batu

Adapun beberapa alasan sebab pemilihan es batu sebagai pendingin, yaitu:

1. Efektif Menjaga ΔT

Es memiliki suhu mendekati 0°C . Dengan suhu pembakaran cangkang sawit yang bisa mencapai lebih dari 100°C , maka akan tercipta perbedaan suhu yang cukup besar ($\Delta T > 100^{\circ}\text{C}$), kondisi ini ideal untuk menghasilkan tegangan termoelektrik maksimal.

2. Sederhana dan Praktis

Jika dibandingkan sistem pendingin aktif seperti kipas atau cairan pendingin, es batu tidak memerlukan listrik tambahan dan dapat langsung digunakan pada eksperimen skala kecil.

3. Stabil pada Kondisi Tertentu

Selama es batu belum semua mencair menjadi air, suhunya akan tetap berada di kisaran 0°C , membuat suhu sisi dingin lebih stabil dalam waktu tertentu. Berikut gambaran dari es batu.



Gambar 2.2 Es Batu

2.6 Penggunaan Modul Step Up dan Plat Aluminium 1mm

Pada sistem pembangkit listrik termoelektrik berbasis modul Peltier, terdapat beberapa komponen penting yang berperan dalam mengoptimalkan proses konversi panas menjadi energi listrik. Dua di antaranya adalah modul step up DC dan plat aluminium yang digunakan sebagai media penghantar panas. Keduanya memiliki fungsi krusial dalam menjembatani keterbatasan teknis dari modul Peltier itu sendiri. Berikut terdapat gambar dari step up DC.



Gambar 2.3 Step Up DC

Modul step up merupakan rangkaian konversi DC to DC yang dirancang untuk menaikkan tegangan input menjadi tegangan output yang lebih tinggi. Pada sistem ini, output tegangan dari modul Peltier yang cenderung rendah (kurang dari 2 volt per unit) tidak cukup untuk langsung digunakan sebagai sumber daya perangkat elektronik. maka diperlukan modul step up untuk meningkatkan tegangan tersebut agar sesuai dengan kebutuhan beban, seperti lampu LED atau pengisian baterai. Cara kerja modul ini melibatkan komponen seperti induktor, dioda, kapasitor, dan IC kontrol, yang bersama-sama memungkinkan penyimpanan dan pelepasan energi untuk menghasilkan tegangan output yang

lebih tinggi dan stabil. Selain meningkatkan tegangan, modul ini juga menjaga kestabilan output agar tetap konstan dan tidak mudah fluktuatif. Dengan efisiensi konversi yang cukup tinggi, yakni sekitar 70% hingga 90%, energi listrik dari Peltier dapat dimanfaatkan secara maksimal meskipun sumber panasnya terbatas.

Pada sisi lain, proses penyaluran panas dari sumber api ke permukaan modul Peltier memerlukan media konduktor panas yang efektif. Dalam penelitian ini digunakan plat aluminium dengan ketebalan 1 mm sebagai penghubung antara nyala api hasil pembakaran cangkang sawit dan sisi panas dari modul Peltier. Aluminium dipilih karena memiliki konduktivitas termal yang tinggi, sekitar 205 W/m·K, yang memungkinkan panas dapat mengalir dengan cepat dan merata. Selain itu, aluminium juga ringan, tahan korosi, dan mudah dibentuk, menjadikannya material ideal untuk sistem pemanas bersuhu tinggi. Ketebalan 1 mm dinilai cukup tipis untuk mempercepat penyaluran panas, namun tetap kokoh untuk menahan tekanan dan suhu yang tinggi. Plat aluminium ini diposisikan langsung di atas nyala api dan bersentuhan dengan sisi panas Peltier, sehingga panas dari pembakaran dapat ditransfer secara efisien untuk menghasilkan perbedaan suhu yang signifikan antara kedua sisi Peltier. Perbedaan suhu inilah yang menjadi dasar kerja dari efek Seebeck dalam menghasilkan tegangan listrik.



Gambar 2.4 Plat Aluminium

Kombinasi antara penggunaan modul step up sebagai penguat tegangan dan plat aluminium sebagai penghantar panas menjadikan sistem pembangkit termoelektrik ini lebih optimal dalam memanfaatkan sumber panas biomassa, khususnya dari pembakaran cangkang sawit. Dengan desain yang tepat, sistem ini dapat menjadi solusi alternatif dalam penyediaan energi listrik sederhana dan ramah lingkungan, terutama di daerah-daerah yang belum terjangkau jaringan listrik PLN.

2.7 Plat Tembaga

Plat tembaga (Cu) adalah material yang dikenal sebagai salah satu konduktor panas terbaik yang tersedia secara umum di kalangan masyarakat. Karena sifat penghantar yang baik ini, tembaga juga pilihan yang sangat menarik untuk sistem penelitian ini di mana transfer panas maksimum sangat dibutuhkan, Sama seperti pada sistem alat percobaan yang akan dicoba.



Gambar 2.5 Plat Tembaga

Keunggulan utama tembaga adalah kemampuannya untuk menghantarkan panas jauh lebih cepat dan efisien dibandingkan aluminium atau kuningan akan memastikan bahwa perbedaan suhu antara sisi panas dan dingin modul Peltier dapat dimaksimalkan. Panas dari pembakaran cangkang sawit akan disalurkan dengan sangat efektif ke modul.

2.8 Plat Kuningan

Plat Kuningan (CuZn) adalah paduan logam yang terdiri dari tembaga dan seng. Meskipun mengandung tembaga, penambahan seng secara signifikan mengubah sifat termalnya, menjadikannya konduktor panas yang kurang efisien dibandingkan tembaga murni atau bahkan aluminium. Namun akan tetap di coba.



Gambar 2.6 Plat Kuningan

Meskipun memiliki konduktivitas yang lebih rendah, plat kuningan sangat cocok dalam percobaan. Plat ini akan berfungsi sebagai penghantar yang jelas. Dengan menganalisis hasilnya, percobaan ini dapat dipahami dengan tepat seberapa besar dampak konduktivitas termal material penghantar panas terhadap performa keseluruhan sistem termoelektrik. Ini akan membantu bagaimana menentukan ambang batas minimum konduktivitas nya atau seberapa sanggup pemilihan material dengan konduktivitas tinggi sebenarnya.

2.9 Studi Terdahulu

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem termoelektrik dapat menghasilkan listrik dari sumber panas yang sederhana, seperti pembakaran Sampah, nyala api kompor dan bahkan Api lilin. Dalam beberapa studi, kombinasi antara modul Peltier dan heatsink/fan terbukti mampu meningkatkan kinerja sistem. Penelitian ini melanjutkan dan mengembangkan konsep tersebut dengan memanfaatkan limbah cangkang sawit yang di bentuk lagi menjadi briket sebagai sumber energi utama.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Adapun tempat penelitian dalam melakukan perancangan dan pengimplementasian Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Termoelektrik Menggunakan Pemanfaatan Cangkang Sawit Sebagai Sumber Panas Berbasis Peltier, yaitu:

1. Nama Tempat : CV. ANGKASA MOBIE TECH
2. Alamat : Jl. Sultan Serdang Dusun II Sena Gg. Ikhlas Batang Kuis

3.1.2 Waktu Penelitian

Proses Penelitian ini membutuhkan waktu kurang lebih 3 bulan dengan uraian seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1 dibawah ini:

Tabel 3.1 Jadwal waktu penelitian

No	Nama Kegiatan	Bulan ke											
		I				II				III			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Persiapan Alat dan Bahan	■	■										
2	Perancangan Alat			■	■	■							
3	Pembuatan Jalur Sistem					■	■	■					
4	Pemasangan Komponen rangkaian alat							■	■	■			
5	Melakukan Pengujian Alat									■	■		
6	Penyusunan Laporan										■	■	■

3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah metode eksperimen rekayasa, yang bertujuan untuk merancang dan membangun sistem termoelektrik sederhana menggunakan modul Peltier dengan memanfaatkan panas dari pembakaran cangkang sawit sebagai sumber energi. Tahapan awal dimulai dengan studi literatur untuk memahami prinsip kerja modul Peltier dan efek termoelektrik, serta potensi energi panas dari limbah biomassa seperti cangkang sawit. Setelah itu, dilakukan proses perancangan sistem, mulai dari pemilihan komponen seperti modul Peltier, heatsink, kipas pendingin, dan lampu LED DC 12 Volt sebagai indikator output. Cangkang sawit kemudian digunakan sebagai bahan bakar dalam proses pembakaran untuk menghasilkan panas. Modul Peltier ditempatkan sedemikian rupa agar satu sisi terkena panas hasil pembakaran, sementara sisi lainnya diberi pendinginan menggunakan heatsink dan kipas, sehingga tercipta perbedaan suhu yang dapat menghasilkan listrik melalui efek Seebeck.

Output listrik yang dihasilkan diukur menggunakan alat ukur digital, lalu digunakan untuk menyalakan lampu LED sebagai bukti bahwa sistem mampu mengubah panas menjadi energi listrik. Selama proses pengujian, data suhu, tegangan, dan arus dikumpulkan untuk dianalisis, sehingga dapat diketahui hubungan antara perbedaan suhu dengan besarnya tegangan yang dihasilkan, serta efektivitas sistem secara keseluruhan. Tahap akhir dari metode ini adalah evaluasi sistem untuk mengetahui sejauh mana desain yang dibangun mampu bekerja secara optimal dan efisien.

3.3 Alat dan Bahan

Perancangan dan pengimpelentasian alat ini, diperlukan beberapa alat dan bahan untuk merakit alat tersebut hingga dapat tercipta sesuai dengan apa yang diinginkan. Adapun alat dan bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini yaitu dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 3.2 Alat yang dibutuhkan

No.	Alat yang Dibutuhkan	Jumlah	Satuan
1	Plat Konduktor	3	Lembar
2	Tong pembakaran	1	Unit
3	Solder	1	Unit
4	Tepung Tapioka	1	Bungkus
5	Wadah penampung	1	Buah
6	Gunting	1	Unit
7	Kabel	6	Buah
8	Kipas pendingin	1	Unit
9	Baut	4	Buah
10	Es batu	1	Buah
11	Alat penumbuk	1	Buah
12	Cangkang Sawit	5	Kg
13	Air panas	1	ml

Langkah awal dilakukan dengan menyiapkan semua alat dan bahan yang dibutuhkan. Modul Peltier dipasang di antara dua plat aluminium, dengan thermal paste di kedua sisinya untuk memaksimalkan konduksi panas. Salah satu sisi aluminium akan diarahkan ke sumber panas (pembakaran cangkang sawit), sedangkan sisi lainnya akan ditempelkan pada wadah yang berisi es batu untuk menjaga perbedaan suhu.

3.4 Spesifikasi Perancangan Alat

3.4.1 Tabung Pembakaran Arang

Tabung pembakaran arang merupakan tempat cangkang sawit yang akan di bakar menjadi arang dan kemudian dibentuk menjadi briket.

Tabel 3.3 Tabung Pembakaran arang

No	Nama	Spesifikasi
1	Toples bekas besi	10 cm
2	Volume kapasitas pembakaran	1/2
3	Dimensi (Panjang x Lebar x Tinggi)	20 x 15 x 8 cm
4	Tekanan Uap Api	0 – 3 bar
5	Ketahanan suhu	-10°C hingga 90°C
6	Penutup	Plat percobaan
7	Ketahanan terhadap korosi/karat	Air dengan pH 7 - 14
8	Tabung	Berbentuk lingkaran

Penjelasan Spesifikasi:

- Bahan Material: Besi borosilikat tahan korosi dipilih untuk ketahanannya terhadap suhu tinggi panas yang korosif selama proses pembakaran.
- Volume Kapasitas: Tabung dapat dipilih dengan kapasitas yang sesuai dengan eksperimen atau skala produksi arang yang diinginkan.
- Tekanan Operasional: Kapasitas menahan tekanan penting untuk menjaga kestabilannya. Ketahanan Suhu: Bahan tabung yang tahan terhadap variasi suhu memungkinkan penyesuaian dalam proses yang memerlukan pemanasan atau pendinginan.

3.5 Alat penghancur arang

Pada proses persiapan bahan bakar untuk sistem pembangkit termoelektrik, arang hasil pembakaran cangkang sawit perlu dihancurkan terlebih dahulu agar ukurannya lebih seragam dan mudah digunakan dalam sistem pembakaran. Untuk keperluan ini, digunakan alat penghancur sederhana berupa penumbuk manual yang umumnya digunakan dalam aktivitas dapur seperti menumbuk sayur atau bumbu. Alat ini terdiri dari lesung (wadah penghancur) dan alu (pemukul), yang seluruhnya terbuat dari bahan logam atau kayu keras. Meskipun sederhana, alat ini cukup efektif dalam menghancurkan arang menjadi ukuran partikel yang lebih kecil, sehingga proses pembakaran dapat berlangsung lebih merata. Selain itu, penggunaan alat manual ini juga dinilai lebih hemat energi dan praktis, tanpa memerlukan daya listrik tambahan. Keberadaan alat ini sangat membantu dalam proses pengolahan cangkang sawit menjadi bahan bakar padat yang siap digunakan untuk menghasilkan panas dalam sistem termoelektrik.

3.6 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan beberapa metode diantaranya yaitu sebagai berikut:

1. Studi literatur dan pengumpulan informasi

Melakukan penelitian literatur dan mengumpulkan informasi terkait alat yang digunakan, serta penggunaan uap panas yang telah dibakar kemudian dijadikan sebagai bahan bakar energi listrik.

2. Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Termoelektrik

Menggunakan Pemanfaatan Cangkang Sawit Sebagai Sumber Panas Berbasis Peltier kemudian di jadikan sebagai bahan bakar energi listrik.

3. Perancangan sistem pembangkit energi listrik dengan menggunakan pemanfaatan cangkang sawit berbasis Peltier.

4. Pengujian Sistem Melakukan terhadap sistem kendali atau selesai pada alat sistem yang telah dibuat, seperti pengujian sumber panas dari pembakaran briket cangkang sawit.

5. Analisis data dan hasil pengujian Melakukan penelitian dengan menganalisis data dan hasil pengujian sistem fleksibilitas Peltier, dan menjelaskan hasil pengujian.

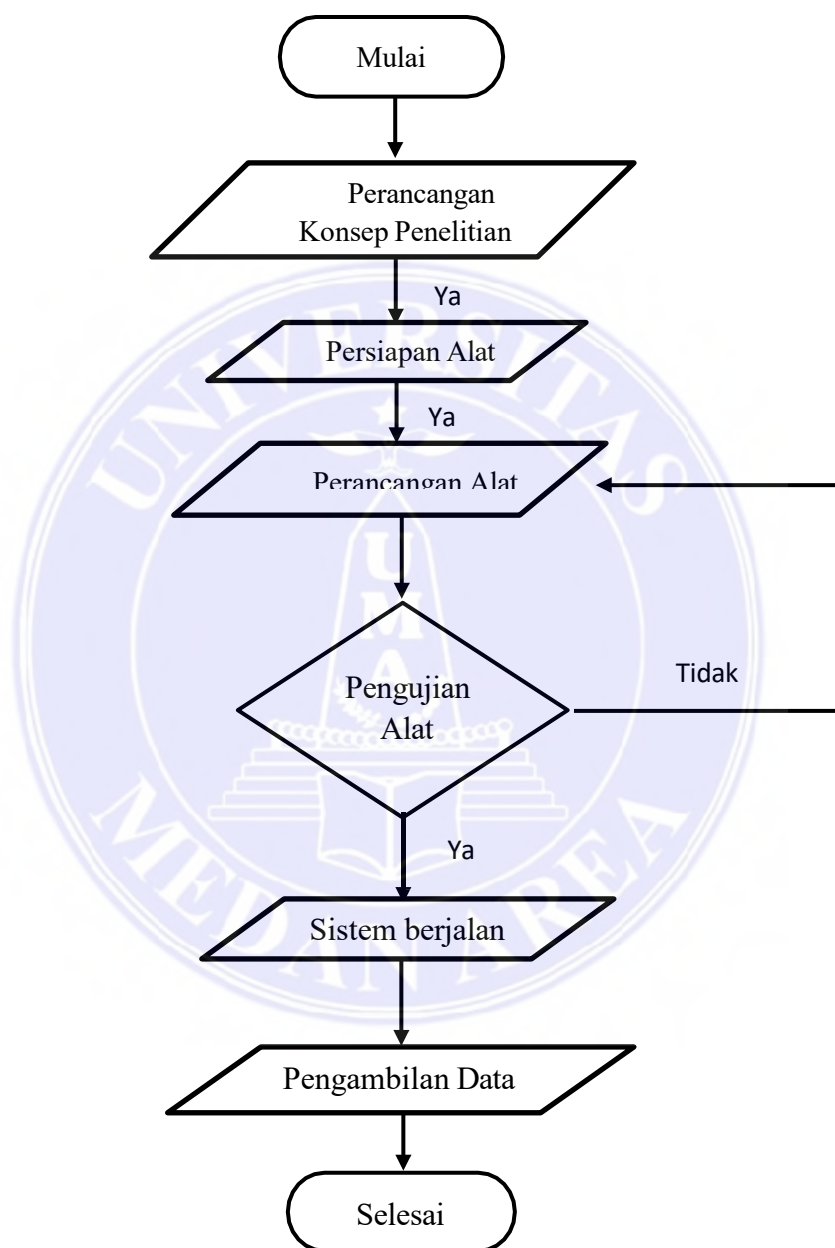
6. Tahap ini melibatkan evaluasi terhadap sistem serta melakukan perbaikan yang diperlukan agar meningkatkan performa dan efisiensi sistem.

7. Implementasi Teknologi Pada tahapan ini akan melakukan pengimplementasikan sistem Kendali pada integrasi Peltier untuk memastikan tegangan dan arus yang stabil atau sesuai.

8. Monitoring dan Evaluasi Pada tahapan ini akan melakukan monitoring dan evaluasi terhadap proses penguapan briket menjadi listrik Airuntuk mengetahui efisiensi sistem alat serta melakukan perbaikan jika diperlukan.

3.7 Flowchart Penelitian

Bentuk flowchart kegiatan penelitian yang dilakukan pada proses pelaksanaan tugas akhir ini dapat dilihat pada bagian dibawah ini:



Gambar 3.1 Flowchart Kegiatan Penelitian

Berikut penjelasan terkait *flowchart* / kerangka berfikir diatas, yaitu:

1. Mulai, untuk melakukan permulaan mencari referensi dan hal yang terkait penelitian.
2. Studi Literatur serangkaian kegiatan yang berkenaan dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat, serta mengelolah bahan penelitian.
3. Perancangan Konsep Penelitian melakukan sketsa atau desain penelitian yang akan di persiapkan.
4. Menyiapkan alat dan bahan adalah langkah penting untuk memastikan kelancaran dalam proses perancangan alat yang akan dianalisis
5. Merancang Alat konversi energi panas menjadi listrik, kegiatan yang akan mempengaruhi hasil dari pengambil data dalam penelitian ini.
6. Pengujian alat dilakukan untuk menentukan kelayakan rancangan. Jika rancangan dinyatakan sesuai, proses dilanjutkan ke tahap pengumpulan data, sedangkan jika tidak, rancangan akan diperbaiki terlebih dahulu
7. Pengumpulan data, merupakan hal yang akan dilakukan untuk melihat masukan dan keluaran nilai yang telah diambil oleh alat yang sudah baik.
8. Analisis data merupakan rangkaian kegiatan memeriksa nilai-nilai dari data yang dikumpulkan, yang dapat berbeda-beda sesuai dengan kondisi penelitian.
9. Penyusunan laporan adalah proses mendokumentasikan hasil analisis data, baik dalam bentuk teks maupun lampiran, yang kemudian dimasukkan ke dalam hasil penelitian yang telah dilaksanakan, Selesai.

3.8 Prosedur Kerja

Pada penerapan teknologi yang dirancang ini, terdapat beberapa langkah prosedur kerja yang harus dilakukan, yaitu sebagai berikut:

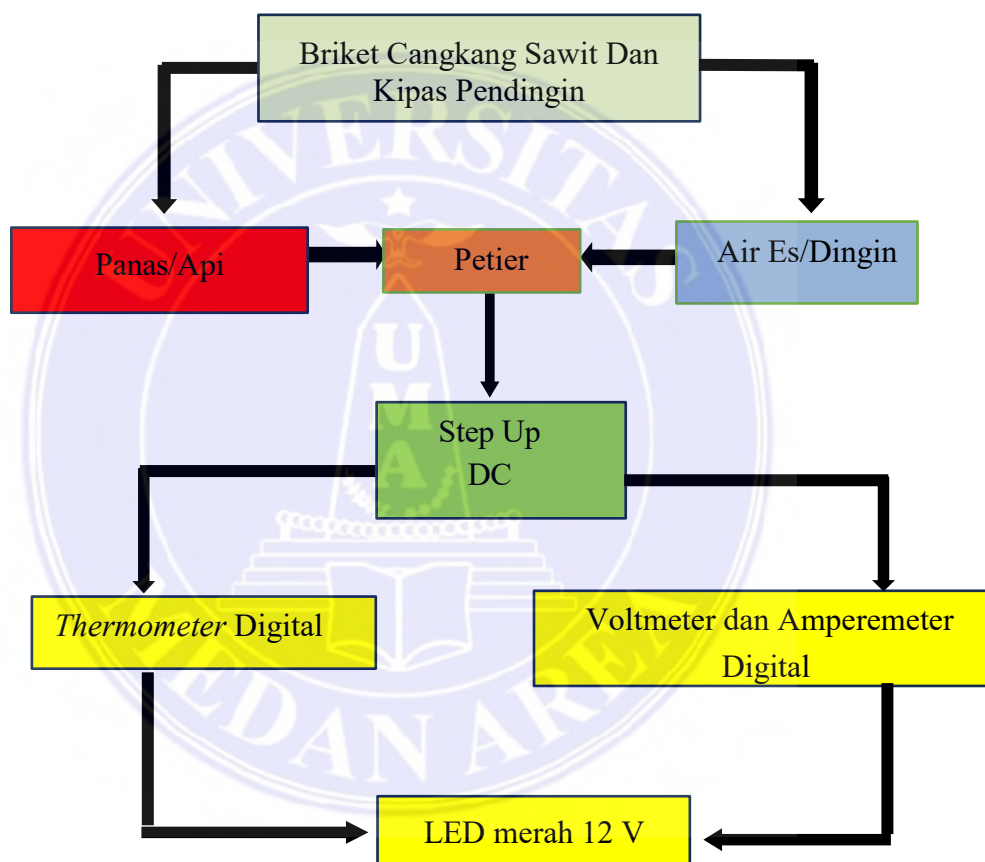
1. Identifikasi Kebutuhan: Langkah awal dalam merancang sistem adalah dengan mengidentifikasi secara rinci segala sesuatu yang dibutuhkan sistem tersebut. Mulai dari komponen-komponen yang dibutuhkan, serta bagaimana sistem ini akan dikendalikan.
2. Perancangan Sistem : Setelah melakukan pengecekan mendalam terhadap kebutuhan sistem, kemudian merancang keseluruhan struktur sistem. Proses ini melibatkan perencanaan secara detail mengenai kebutuhan
3. Pembuatan Prototipe : Tahap ini dilakukan untuk membuat prototipe yang telah dirancang. Pada tahap ini, alat dirancang dengan penuh semangat dan kegigihan.
4. Pengujian dan Evaluasi: Tahap ini dilakukan untuk menguji prototipe yang telah dibuat dan mengevaluasi kinerjanya.
5. Implementasi Sistem: Setelah prototipe telah diuji dan dievaluasi, sistem yang telah dirancang dan diuji, kemudia akan diimplementasikan pada alat termoelektrik konversi energi panas.
6. Pemeliharaan dan Perbaikan: Tahap ini dilakukan setelah sistem diimplementasikan pada output yang telah ditentukan. Kemudian, sistem akan diberikan perawatan dan pemeliharaan secara berkala untuk memastikan kinerjanya tetap optimal.

Perancangan sistem konversi panas menjadi energi listrik yang efisien dan

efektif, diperlukan tahapan perancangan yang sesuai. Penelitian ini bertujuan untuk memastikan bahwa teknologi yang dikembangkan dapat memenuhi kebutuhan energi yang semakin meningkat.

3.9 Perencanaan Perancangan Sistem

Desain gambar yang merupakan perencanaan perancangan sistem yang di buat dalam bentuk blok diagram.



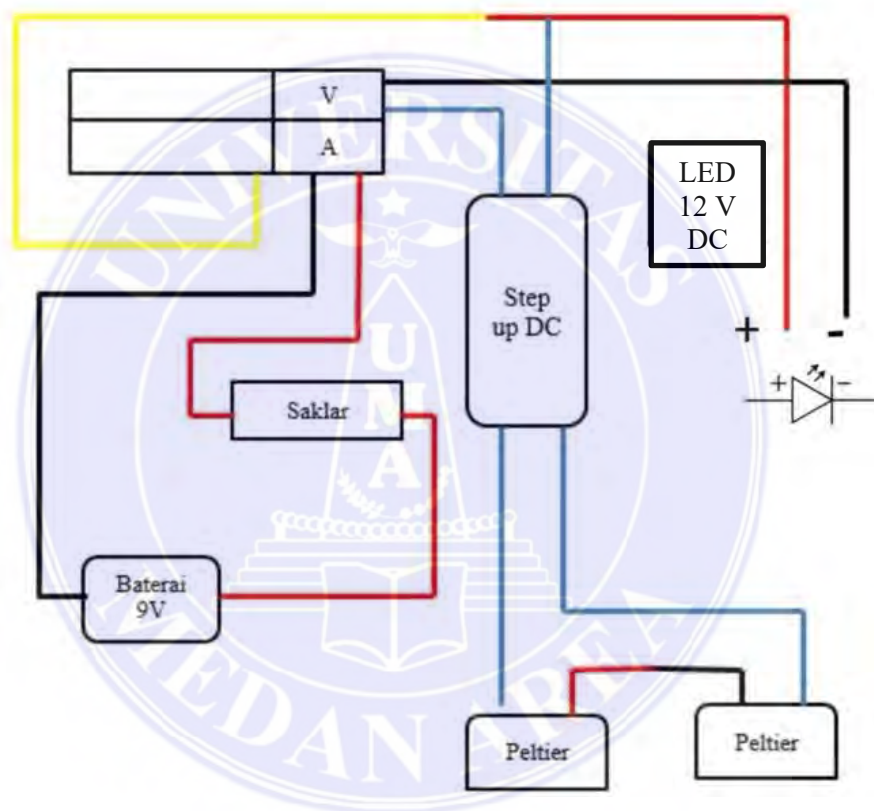
Gambar 3.2 Blok Diagram Perencanaan Perancang Alat

Blok diagram diatas merupakan Gambaran Alat yang akan di rancang, penjelesannya yaitu:

1. Sumber pertama memberikan energi panas untuk proses konversi energi. Selanjutnya sistem plat aluminium akan mulai panas.
2. Peltier kemudian menerima respon bahwasanya plat mulai memanaskan.
3. Panas akan di proses sehingga penguraian terjadi.
4. Air dingin berfungsi sebagai sistem pendingin untuk sisi dingin modul Peltier (TEG). Dengan adanya air dingin, sangat karena efisiensi konversi modul peltier sangat bergantung pada seberapa besar perbedaan suhu yang dapat dipertahankan antara sisi panas dan sisi dinginnya. Semakin dingin sisi ini, semakin besar perbedaan suhu yang tercipta, dan semakin banyak listrik yang dihasilkan.
5. Step Up DC khusus menaikkan tegangan yang dimana peltier hanya memiliki tegangan yang relatif rendah. Step Up DC adalah konverter DC-DC, yang berfungsi untuk menaikkan level tegangan listrik DC yang masuk ke tingkat yang lebih tinggi dan sesuai dengan kebutuhan perangkat selanjutnya. Misalnya, jika Peltier menghasilkan 0.5-2V, Step Up DC akan menaikkannya menjadi 5V atau 12V.
6. Kemudian terhubung dengan alat pembaca tegangan yaitu voltmeter digital dan untuk arus yaitu Amperemeter digital
7. LED DC 12 V yang akan menjadi Beban (Output).

3.10 Rangkaian Jalur Kabel

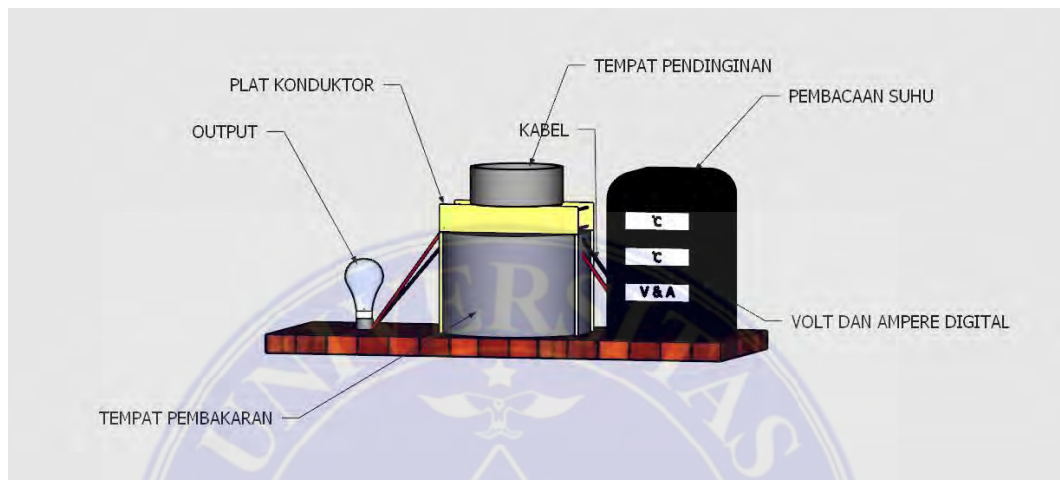
Dengan rangkaian ini, penulis maupun pembaca nantinya akan lebih mudah untuk memahami perakitan pembuatan alat ini, sebuah sistem yang mampu mengonversi energi panas terbarukan dari limbah cangkang sawit menjadi energi listrik yang dapat digunakan. Berikut gambar rangkaian nya.



Gambar 3.3 Rangkaian Jalur Kabel Sistem

3.11 Desain Sederhana Alat

Terdapat gambar desain sederhana dari alat pemanfaatan panas dari cangkang sawit yang akan disalurkan melalui metode termoelektrik pada output adalah lampu LED DC 12 V, berikut gambarnya.



Gambar 3.4 Desain sederhana alat

Pada gambar 3.3 diatas, Dapat di lihat pada gambar diatas rangkaian sistem alat disusun dari beberapa komponen penting yaitu peltier tipe TEC1-12706, Step Up DC Volt & Ampere meter digital serta sensor suhu atau Thermometer digital untuk bisa berjalannya sistem termoelektrik yang memanfaatkan panas dari briket cangkang sawit. Nanti tegangan akan di ditingkatkan oleh Step up DC yang telah di gunakan pada rangkaian.

3.12 Proses Pembuatan Briket Cangkang Sawit

3.12.1 Cangkang Sawit

Cangkang sawit adalah bahan dasar untuk dijadikan briket. Cangkang sawit adalah limbah padat yang melimpah dari sisa proses pengolahan kelapa sawit. Penting untuk memastikan cangkang sawit bersih dari kotoran seperti tanah, pasir, atau sisa-sisa buah agar kualitas briket tidak menurun dan tahan lama.

Ukuran cangkang juga harus diperhatikan, perlu dihancurkan menjadi ukuran yang lebih kecil untuk proses karbonisasi dan pencetakan yang optimal. (Azhar Basyir Rantawi, 2019)

Banyak daerah penghasil kelapa sawit, cangkang sawit sering kali tidak dimanfaatkan secara maksimal dan hanya dibuang atau dibakar tanpa pengelolaan. Dengan kandungan kalor yang tinggi, cangkang sawit sangat potensial digunakan sebagai sumber panas untuk berbagai aplikasi energi, termasuk sebagai pemanas pada sistem termoelektrik.



Gambar 3.5 Cangkang Sawit

3.12.2 Cangkang Sawit Menjadi Arang

Merupakan metode mengeringkan di mana cangkang sawit dipanaskan tanpa adanya kadar oksigen, atau dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas.

Berikut dibawah ini gambar proses pembuatan arang.



Gambar 3.6 Pembuatan Arang

Proses ini membuat cangkang sawit terurai, menyisakan karbon padat dalam bentuk arang. Berikut gambar pada saat pembuatan arang. Berikut penampakan dari cangkang sawit ketika menjadi arang.



Gambar 3.7 Arang cangkang Sawit

3.12.3 Penghalusan Arang Cangkang Sawit

Setelah proses pembakaran tuntas dan arang cangkang sawit sudah berubah warna, langkah berikutnya adalah penghalusan. Berikut gambar arang telah halus.



Gambar 3.8 Penghalusan arang

3.12.4 Tepung Tapioka

Tepung tapioka merupakan perekat yang digunakan pada penelitian. Meskipun ada yang membuat briket tanpa perekat, yaitu langsung bahan tersebut mentah-mentah di cetak, penggunaan bahan tepung tapioka sangat penting untuk memastikan partikel cangkang sawit dapat menyatu dengan kuat, membentuk briket yang padat dan tidak mudah hancur. Umumnya, tepung tapioka biasanya digunakan untuk keperluan dapur, namun pilihan yang paling efektif karena sifatnya yang mampu menciptakan ikatan kuat saat dicampur dengan air dan mengalami proses pemanasan. Beberapa bahan lain seperti tanah liat atau molase juga bisa digunakan, tapi kembali lagi kepada tujuan penelitian ini yaitu dengan cara pembakaran briket tersebut. Berikut gambarnya.



Gambar 3.9 Tepung Tapioka

3.12.5 Pencampuran Arang Dan Tepung Dengan Air Panas

Setelah arang cangkang sawit dihaluskan menjadi serbuk, langkah selanjutnya dalam pembuatan briket adalah pencampuran dengan bahan perekat. Dalam konteks ini, tepung tapioka dipilih sebagai perekat alami yang umum digunakan, dengan air panas sebagai pelarutnya. Berikut gambar dari pada saat pencampuran.



Gambar 3.10 Proses pencampuran arang dan tepung

Proses pencampuran, memastikan semua komponen tercampur rata dan adonan memiliki yang setara yang tepat sebelum dicetak menjadi briket.



Gambar 3.11 Briket di jemur

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Cangkang sawit memiliki potensi besar sebagai biomassa untuk diolah menjadi arang, yang selanjutnya dapat dibentuk menjadi briket. Karakteristik awal cangkang sawit, seperti kandungan lignoselulosa yang tinggi dan nilai kalor yang signifikan, menjadikannya pilihan yang tepat untuk bahan bakar padat terbarukan. Kemudian, karakteristik termoelektrik pada plat konduktor menunjukkan bahwa plat aluminium, tembaga, dan kuningan semuanya memiliki kemampuan untuk menghasilkan tegangan ketika dikenai perbedaan suhu. Semakin besar selisih suhu, semakin tinggi tegangan yang dihasilkan, menunjukkan adanya efek termoelektrik pada ketiga material tersebut.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan masih terdapat banyak kekurangan peneliti dalam melakukan pembuatan maupun dalam pengujian sistem. Oleh karena itu ada beberapa hal yang dijadikan saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Peneliti menyarankan perekat pada pembuatan briket menggunakan jenis potasium nitrat.
2. Peneliti menyarankan untuk mencoba sumber panas menggunakan cangkang kemiri atau batok kelapa
3. Peneliti menyarankan mencoba dengan menggunakan plat konduktor baja dan stainless steel.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfian, D. G. C., Juhensen, J., Paundra, F., & Silitonga, D. J. (2025). Pengaruh Variasi Perekat Terhadap Karakteristik Bahan Bakar Briket Cangkang Kelapa Sawit. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 11(1), 80. <https://doi.org/10.31884/jtt.v11i1.623>
- Andi, L. O., Balaka, R., & Mangalla, L. K. (2023). Sistem Konversi Energi Panas Briket Arang Menjadi Energi Listrik Sebagai Alat Charger Baterai Menggunakan Termoelektrik. *Enthalpy : Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 8(4), 128. <https://doi.org/10.55679/enthalpy.v8i4.45194>
- Bagus Pradana, A., Wisnu, A., Saputra, B. D., Subakti, G., Yusuf, M., Roza Yunita, T., & Listrik, T. (2021). Perancangan Purwarupa Pembangkit Termoelektrik sebagai Media Pembelajaran Konversi Energi. *Jurnal Edukasi Elektro*, 05(1), 14–19. <https://journal.uny.ac.id/index.php/jee>
- Carnella, C., & Sari, C. N. (2016). Pembuatan biobriket dari pelepah dan cangkang kelapa sawit: pengaruh variasi komposisi bahan baku dan waktu karbonisasi terhadap kualitas briket. <https://doi.org/10.32734/JTK.V5I3.1542>
- Idji, L., Haluti, S., & Antu, E. S. (2020). Rancang Bangun Kompor Biomassa Berbahan Bakar Kayu. *Jurnal Teknologi Pertanian Gorontalo (JTPG)*, 5(1), 17–21. <https://doi.org/10.30869/jtpg.v5i1.543>
- Kurniawan, E., Muarif, A., & Siregar, K. A. (2022). Pemanfaatan Sekam Padi dan Cangkang Sawit Sebagai Bahan Baku Briket Arang dengan Menggunakan Perekat Tepung Kanji. *Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat LPPM UMJ*, 1–9.
- Novita, L., Asih, E. R., & Arsil, Y. (2021). Efektivitas Abu Cangkang Sawit Dalam Meningkatkan Kualitas Minyak Goreng Curah Dan Minyak Goreng Kemasan. *Jurnal Kimia Riset*, 6(2), 132. <https://doi.org/10.20473/jkr.v6i2.31074>
- Obi, O. F., Pecenka, R., & Clifford, M. N. (2022). A Review of Biomass Briquette Binders and Quality Parameters. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en15072426>
- Optimization of a Peltier influence cooling system for photovoltaic cells. (2022,*

- October 26). <https://doi.org/10.1109/cistem55808.2022.10044003>
- Pane, J. P., Junary, E., & Herlina, N. (2015). PENGARUH KONSENTRASI PEREKAT TEPUNG TAPIOKA DAN PENAMBAHAN KAPUR DALAM PEMBUATAN BRIKET ARANG BERBAHAN BAKU PELEPAH AREN (*Arenga pinnata*). <https://doi.org/10.32734/JTK.V4I2.1468>
- Patra, T., Basu, S., & Barman, S. (2020). Peltier Module-Based Water Generation and Waste Heat Management System. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0829-5_49
- Renewable energy from biomass*. (2022). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818150-8.00004-6>
- Siregar, A. R. (2022). Analisis Pengaruh Karakteristik Termoelektrik Generator Seabagi Peubah Energi Panas. *Jurnal Pendidikan Sains Dan Komputer*, 2(02), 235–241. <https://doi.org/10.47709/jpsk.v2i02.1530>
- Umut, İ., & Akal, D. (2023). A novel thermoelectric CPU cooling system controlled by artificial intelligence. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 39(1), 113–124. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1150632>
- Utarina, L., Rusdianasari, R., & Kalsum, L. (2022). Characterization of Palm Shell-Derived Bio-Oil Through Pyrolysis. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*. <https://doi.org/10.55043/jaast.v6i2.69>
- Yuan, B., Song, W., Huang, Z., Sun, X., Qiao, T., Guo, Q., Miao, J., & Hu, G. (2020). Shell screening device.
- Yung, Y. L. (2022). Innovations to a Palm Biomass-Fueled Power Plant. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4847-3_8