

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PADA
OPTIMALISASI ENERGI PANAS PANEL SURYA
MENGUNAKAN METODE EKSTRAKSI
DAYA MAKSIMUM**

SKRIPSI

OLEH:

SATRIA ANANDA WINATA

218120010



**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 4/3/26

Access From (repository.uma.ac.id)4/3/26

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PADA
OPTIMALISASI ENERGI PANAS PANEL SURYA
MENGUNAKAN METODE EKSTRAKSI
DAYA MAKSIMUM**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memproleh
Gelar Sarjana Di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

Oleh :

SATRIA ANANDA WINATA

21.812.0010

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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem Monitoring Pada Optimalisasi Energi Panas Panel Surya Menggunakan Metode Ekstraksi Daya Maksimum

Nama : Satria Ananda Winata

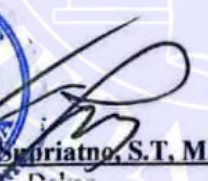
Npm : 21.812.0010

Fakultas : Teknik Elektro

Disetujui oleh
Komisi Pembimbing


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




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




Ir. Habib Satria, MT, M.Kom, IPM, ASEAN Eng
Ka.Prodi

Tanggal Lulus : 4 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 di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 4 September 2025



Satria Ananda Winata

21.812.0010

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Satria Ananda Winata

NPM : 218120010

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Tugas Akhir/Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusiveRoyalty-FreeRight) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Rancang Bangun Sistem Monitoring Pada Optimalisasi Energi Panas Panel Surya Menggunakan Metode Ekstraksi Daya Maksimum”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis 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 : 4 september 2025

Yang menyatakan

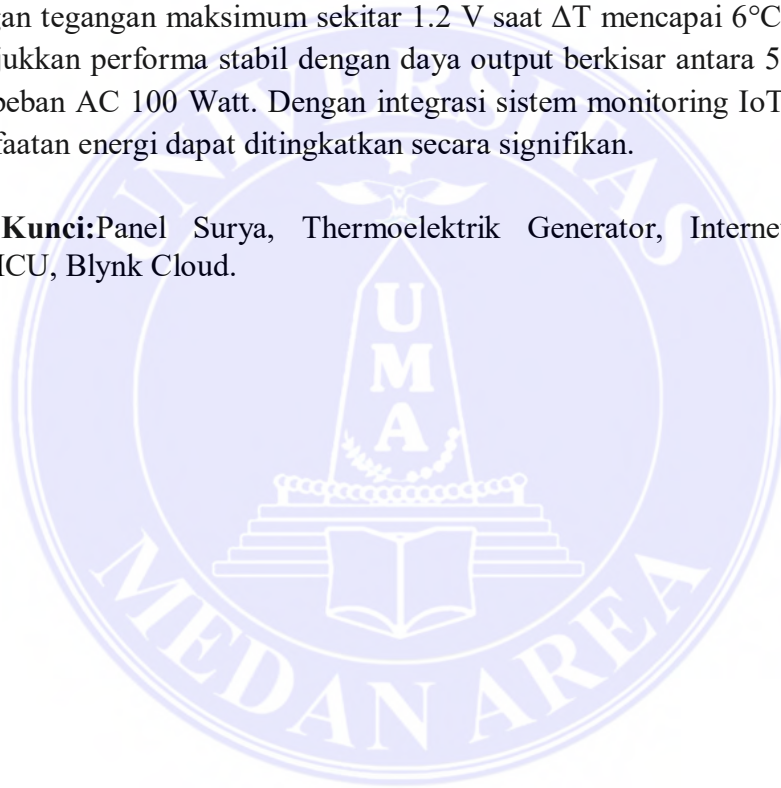


(Satria Ananda Winata)

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan juga merealisasikan sistem monitoring pada optimalisasi energi panas panel surya dengan metode ekstraksi daya maksimum. Energi panas yang terbuang dari panel surya dan inverter dimanfaatkan kembali menggunakan Thermoelektrik Generator (TEG) untuk meningkatkan efisiensi energi secara menyeluruh. Sistem ini juga dilengkapi dengan Internet of Things (IoT) berbasis NodeMCU ESP8266 yang terhubung ke platform Blynk Cloud, untuk memantau tegangan, arus, dan daya secara *real-time*. Metode yang digunakan MPPT meliputi pengukuran suhu sisi panas dan dingin pada TEG, serta pemantauan daya inverter dan panel surya terhadap beban listrik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa TEG mampu menghasilkan arus hingga 0.04 A dengan tegangan maksimum sekitar 1.2 V saat ΔT mencapai 6°C. Inverter juga menunjukkan performa stabil dengan daya output berkisar antara 58.5–60.3 Watt untuk beban AC 100 Watt. Dengan integrasi sistem monitoring IoT, efisiensi dan pemanfaatan energi dapat ditingkatkan secara signifikan.

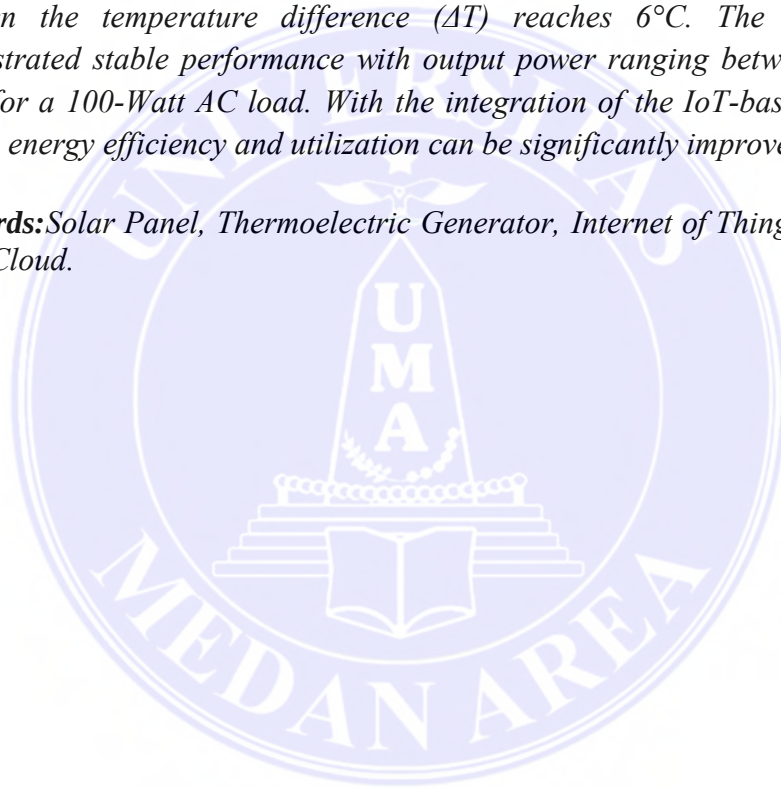
Kata Kunci: Panel Surya, Thermoelektrik Generator, Internet of Things, NodeMCU, Blynk Cloud.



ABSTRACT

This research aims to design and implement a monitoring system for optimizing solar panel heat energy using the maximum power point tracking (MPPT) method. Waste heat from the solar panel and inverter is reused through a Thermoelectric Generator (TEG) to enhance overall energy efficiency. The system is also equipped with an Internet of Things (IoT) platform based on NodeMCU ESP8266 connected to Blynk Cloud, allowing real-time monitoring of voltage, current, and power. The MPPT method includes measuring the hot and cold side temperatures on the TEG, as well as monitoring the power of the inverter and solar panel under electrical load. Test results show that the TEG is capable of generating a current of up to 0.04 A with a maximum voltage of approximately 1.2 V when the temperature difference (ΔT) reaches 6°C. The inverter also demonstrated stable performance with output power ranging between 58.5–60.3 Watts for a 100-Watt AC load. With the integration of the IoT-based monitoring system, energy efficiency and utilization can be significantly improved.

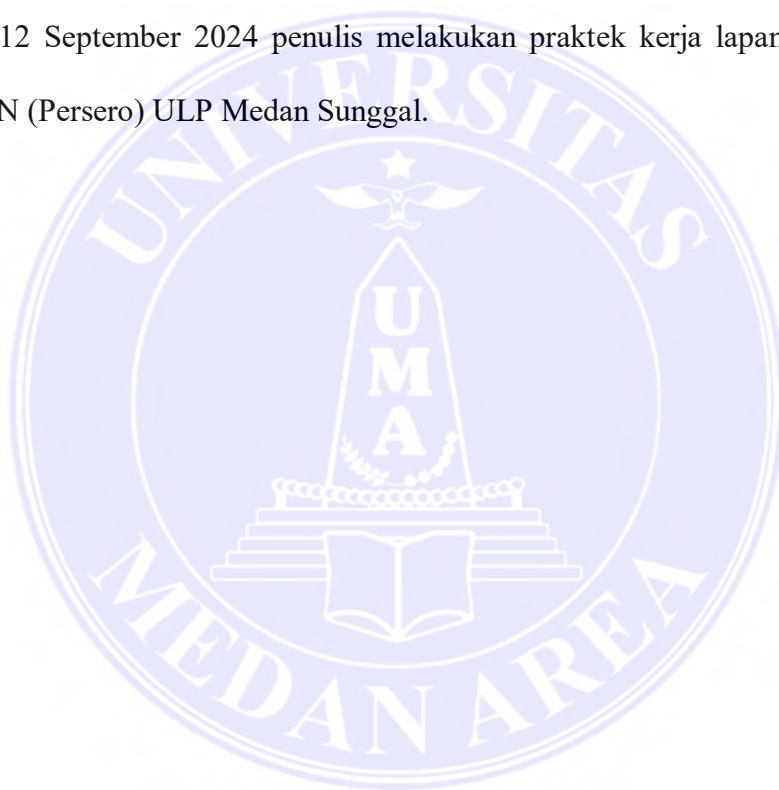
Keywords: Solar Panel, Thermoelectric Generator, Internet of Things, NodeMCU, Blynk Cloud.



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Desa Telaga Sari Dusun Iltepatnya di Kabupaten Deli Serdang pada tanggal 20 Juni 2002 dari ayah Suriadi dan ibu Siti Rohani. Penulis merupakan anak pertama (1) dari tiga (3) bersaudara.

Pada tahun 2019 Penulis lulus dari SMK NEGERI 1 KUTALIMBARU dan pada tahun 2021 terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi S-1 Teknik Elektro Universitas Medan Area. Pada tanggal 12 Agustus 2024 hingga tanggal 12 September 2024 penulis melakukan praktek kerja lapangan (PKL) di PT. PLN (Persero) ULP Medan Sunggal.



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Rancang Bangun Sistem Monitoring Pada Optimalisasi Energi Panas Panel Surya Menggunakan Metode Ekstraksi Daya Maksimum”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Sarjana Teknik Elektro di Universitas Negeri Medan Area (UMA) . Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik dan lancar berkat bantuan dari berbagai pihak baik itu berupa materil maupun spiritual yang mendukung. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya Bapak Suriadi dan Ibu Siti Rohani yang telah mengkuliahan, memberikan doa dan dukungan kasih sayang baik itu jasmani dan rohani.
2. Bapak Prof. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc, Selaku Rektor Universitas Medan Area.
3. Bapak Dr. Eng. Supriatno, ST., MT, Selaku Dekan Fakultas Teknik.
4. Bapak Ir. Habib Satria, M.T.,M.kom IPM, ASEAN selaku kaprodi dan pembimbing pada Tugas Akhir ini yang selalu memberikan saran dan kritik yang membangun dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Medan Area yang telah membagikan ilmunya selama mengajar mata kuliah dengan tulus ikhlas kepada penulis dan seluruh civitasakademika Universitas Medan Area, khususnya program studi Teknik Elektro.
6. Rekan-rekan seperjuangan saya, khususnya buat Teknik Elektro angkatan 2021 yang telah banyak memberikan dukungan dan upaya dalam membantu menyelesaikan skripsi ini.
7. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu penulis selama proses penelitian dan penulisan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Selama proses penulisan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih mempunyai banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan adanya komentar yang membangun agar skripsi ini menjadi lebih sempurna. Saya berharap skripsi ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan untuk kedepannya.

Akhirnya, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini. penulis berharap skripsi ini bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Medan, 4 September 2025

Hormat saya



Satria Ananda Winata
21.812.0010



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah	3
1.3 Batasan masalah.....	3
1.4 Tujuan Masalah.....	4
1.5 Manfaat penelitian.....	4
1.6 Sistematika penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Sejarah Perkembangan Termoelektrik	7
2.2. Termoelektrik.....	8
2.3. Efek Pada Termoelektrik	9
2.3.1 Efek Seeback	9
2.3.2 Efek Peltier	10

2.3.3 Efek Thomson	11
2.4. Prinsip Kerja Termoelektrik	12
2.5. Rangkaian Termoelektrik	14
2.6. Daya listrik	16
2.6.1 Rumus Daya.....	16
2.7. Panelsurya.....	18
2.9. Inverter	21
2.10. Batrai.....	21
2.11. ESP8266.....	22
2.13. Modul PZEM-004T	23
2.14. Sensor DS18B20.....	24
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1. Waktu Dan Tempat Penelitian	25
3.1.1 Tempat penelitian	25
3.1.2 Waktu Penelitian.....	25
3.2. Metode Penelitian.....	26
3.3. Diagram Alir Penelitian.....	26
3.4. Flowchart Sistem	31
3.5. Diagram Blok Penelitian	33
3.6. Perancangan Desain Wiring Hardware Electrical.....	34
3.6.1. Desain Komponen.....	34
3.6.1. Desain Keseluruhan Sistem.....	36
3.6.2. Desain Skema Alat.....	36
3.7. Desain Mekanis Alat	37

3.8. Analisa Data.....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Hasil Perancangan <i>Hardware</i> dan <i>Software</i>	41
4.1.1 Perancangan <i>Hardware</i> (Perangkat Keras)	41
4.1.2 Perancangan <i>Software</i> (Perangkat Lunak)	44
4.2 Analisis Pengujian Sistem.....	46
4.2.1 Pengujian TEG Terhadap Panas Inverter	48
4.2.2 Pengujian Output Panel Surya Terhadap Beban.....	52
4.2.3 Pengujian Tegangan Parameter	55
4.2.4 Pengujian Inverter Terhadap Beban Output.....	58
4.3 Analisis Efisiensi Panel Surya (%)	61
4.4 Hasil Pengujian Kode Program NodeMCU Arduino IDE	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	66
DAFTARPUSTAKA	67

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Waktu Kegiatan Penelitian	25
Tabel 3.2 Pin Wiring Desain Komponen	35
Tabel 4.1 Jalur Wiring Pin Komponen	44
Tabel 4.2 Pembacaan Daya Serial Monitor Blynk.cloud	45
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian	47
Tabel 4.4 Data Pengujian Parameter TEG terhadap Suhu	49
Tabel 4. 5 Pengujian Data Output Panel Surya Terhadap Beban	53
Tabel 4.6 Data Pengujian Tegangan	55
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Output Inverter Terhadap Beban 100 W	59
Tabel 4.8 Efisiensi Panel Surya	62



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Modul Termoelektrik	9
Gambar 2.2 Cara kerja termoelektrik.....	13
Gambar 2.3 Rangkaian Seri Termoelektrik	14
Gambar 2.4 Rangkaian paralel Termoelektrik	15
Gambar 2.5 Spesifikasi Panel Surya	20
Gambar 2.6 Solar Charge Controller	21
Gambar 2.7 Inverter	21
Gambar 2.8 Baterai	22
Gambar 2.9 ESP8266	22
Gambar 2.10 Konsep IoT	23
Gambar 2.11 PZEM-004T.....	23
Gambar 2.12 Sensor Suhu.....	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3.2 Flowchart Sistem	31
Gambar 3.3 Diagram Blok Penelitian	33
Gambar 3.4 Desain Wiring Komponen.....	35
Gambar 3.5 Desain Rangkaian Elektrikal Keseluruhan.....	36
Gambar 3.6 Skema Desain Alat.....	37
Gambar 3.7 Desain Mekanis Alat Tampak Atas	37
Gambar 3.8 Tampak Samping	38
Gambar 3.9 Posisi Pemasangan TEG.....	38
Gambar 3.10 Posisi Pemasangan Inverter.....	39
Gambar 4.1 Hasil Perancangan Keseluruhan	42
Gambar 4.2 Tampilan Software Blynk.cloud.....	45
Gambar 4.3 Pengujian TEG Terhadap Panasnya Inverter	48
Gambar 4.4 Data Grafik Arus TEG.....	50
Gambar 4.5 Grafik Tegangan TEG.....	50
Gambar 4.6 Grafik Pembacaan Daya TEG	51
Gambar 4.7 Hasil Pengujian Output Tegangan Panel Berbeban.....	53
Gambar 4.8 Data Grafik Arus Panel Surya Berbeban	54
Gambar 4.9 Grafik Tegangan Terhadap Arus dan Waktu	56

Gambar 4.10 Radiasi Matahari Terhadap Arus dan Tegangan	57
Gambar 4.11 Pengujian Monitoring Daya Output Baterai -Inverter	58
Gambar 4.12 Data Grafik Tegangan Output Inverter	59
Gambar 4.13 Grafik Daya Output Inverter	60
Gambar 4.14 Inisialisasi Library Arduino IDE	63
Gambar 4.15 Setup WiFi dan Koneksi Blynk	63
Gambar 4.16 Pembacaan Tegangan, Arus, dan Perhitungan Daya	64
Gambar 4.17 Loop Utama	64



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era digitalisasi modern banyak sekali perkembangan yang telah terjadi. Salah satu perkembangan yang sangat pesat berkembang adalah teknologi digital dan transportasi. Perkembangan ini banyak sekali manfaat yang dapat membantu dan memudahkan pekerjaan dan mempercepat kinerja dari manusia. Adapun dalam perkembangan teknologi ini tak selamanya memiliki kemudahan dan kelancaran. Sistem yang telah berkembang ini memiliki pengaruh besar terhadap pasokan pasukan energy listrik yang digunakan, semakin besar perkembangan teknologi dan makin bertambahnya jumlah penduduk maka semakin besar pula energy yang digunakan. Di tahun 2033, Indonesia dapat menjadi negara pengimpor energi karena kebutuhan listriknya mencapai 205 TWh pada tahun 2014 dan pada saat ini telah berjalan Program 35.000 MW, yang saat ini sedang dilaksanakan, diproyeksikan untuk meningkatkan infrastruktur ketenagalistrikan dengan pertumbuhan ekonomi sebesar 7% dan peningkatan kebutuhan listrik sebesar 8.7% per tahun. Sejak peluncurannya pada Mei 2015, sudah terkontrak 431 pembangkit dengan kapasitas total 34.355 MW (Johan & Ari Muliarta Ginting, 2022).

Pada saat ini energy yang digunakan dalam menjalankan suatu generator pembangkit listrik masih kebanyakan menggunakan energy yang berasal dari fosil (diesel) (Sunardiyo et al., 2022). hal ini juga menjadi tantangan, dikarenakan minyak yang berasal dari permukaan bumi yang dihasilkan dari fosil hewan dan tumbuhan lama-lama akan habis, maka dari itu perlu adanya inovasi dan ide untuk

menyambung kebangkitan energi yang dapat selalu didaur ulang. Perkembangan sumber energi listrik yang sangat populer pada saat ini adalah menggunakan panel surya. Panel surya merupakan sebuah perangkat yang dapat mengkonversi cahaya dari matahari menjadi sumber energi listrik. Pada dasarnya panel surya dapat menghasilkan energi listrik dikarenakan proton yang bergerak yang di hasilkan dari sinar matahari menggerakkan elektron-elektron yang ada di sel solar, sehingga terjadi pusaran yang dapat menghasilkan arus listrik (Usman, 2020).

Pada umumnya solar panel hanya dapat menghasilkan energi listrik (DC), maka untuk dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari perlu melakukan konversi kembali dari listrik DC menjadi listrik AC. Untuk mengkonversi tegangan DC menjadi tegangan AC perlu menggunakan perangkat inverter. Output dari panel surya akan masuk ke dalam SCC *Solar Charge Controller* yang akan mengontrol solar panel untuk melakukan pengisian kepada baterai. Setelah itu daya yang diterima oleh batrai akan dikonversi menjadi listrik DC menggunakan inverter (Abdillah et al., 2024).

Masalah utama yang ada pada panel surya dan inverter ini adalah panas yang di hasilkan dapat mengurangi kinerja dari perangkat. Maka dari itu perlu dilakukan efisiensi energi panas yang ada pada panel surya dan inverter dengan cara memanfaatkan kembali energi panas yang terbuang menggunakan Thermoelektrik. Sebagai perangkat yang dapat mengkonversi energi panas menjadi energi listrik, thermoelektrik juga menjadi suatu bentuk alternative untuk di jadikan sumber energi yang berkelanjutan dikarenakan thermoelektrik ramah terhadap lingkungan dan tidak menyebabkan emisi yang dapat mencemarkan udara.

Beberapa peneliti telah melakukan riset dan uji coba dari melakukan pendinginan pada sel surya dan inverter untuk meningkatkan kinerja alat yang digunakan. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari dan mengembangkan metode yang lebih efisien untuk mengkonversi energi panas pada inverter sistem panel surya serta menganalisis bagaimana hal itu berdampak pada kinerja dan efisiensi sistem secara keseluruhan.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan berbagai uraian dan definisi yang terdapat di latar belakang sehingga dapat dirumuskan masalah diantaranya yaitu:

1. Bagaimana besar tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator termoelektrik (TEG) pada inverter AC dan panel surya.
2. Bagaimana pengaruh tegangan output yang dihasilkan generator termoelektrik (TEG) terhadap panas pada inverter dan panel surya.
3. Bagaimana daya yang di hasilkan oleh generator termoelektrik (TEG).
4. Bagaimana sistem IoT memantau tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya dan generator termoelektrik (TEG).
5. Bagaimana implementasi metode Maximum Power Point Tracking (MPPT) dapat meningkatkan efisiensi penyerapan energy.

1.3 Batasan masalah

Ada beberapa batasan masalah dalam penelitian Termoelektrik pada inverter panel surya antara lain:

1. Material yang digunakan dalam penelitian ini: inverter, solar panel,

baterai, sensor suhu, voltmeter, ampere meter, generator termoelektrik (TEG), heatsink, NodeMCU, kabel, dan beban listrik.

2. Nilai tegangan dan arus yang dihasilkan Termoelektrik pada panas yang dihasilkan oleh inverter panel surya.
3. Daya yang dihasilkan oleh Termoelektrik pada panas yang dihasilkan oleh inverter panel surya.

1.4 Tujuan Masalah

Adapun tujuan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengukur dan menghitung hasil tegangan dan arus yang dihasilkan oleh termoelektrik.
2. Mengetahui pengaruh antara daya output dengan beda temperatur (ΔT).
3. Mengetahui pengaruh perubahan temperatur (ΔT).
4. Meningkatkan efisiensi energi listrik.

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai bahan referensi untuk penelitian selanjutnya apabila ingin mengembangkan lebih dalam tentang panas yang dihasilkan oleh inverter panel surya dengan teknologi termoelektrik.
2. Mengetahui alat pengujian yang dapat dimanfaatkan untuk penyerapan panas dari inverter panel surya sebagai sumber energi listrik dari termoelektrik.
3. Memanfaatkan panas buangan yang dihasilkan inverter panel surya

untuk menghasilkan energi listrik dengan menggunakan termoelektrik.

4. Mengetahui sistematika pemasangan alat pengujian inverter panel surya dengan termoelektrik, serta mengetahui perbedaan temperatur yang dipindahkan ke termoelektrik.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika laporan yang digunakan dalam penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan pendahuluan yang memaparkan beberapa hal yang melatarbelakangi kegiatan penelitian, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya dan beberapa data yang dapat mendukung penelitian yang akan dilakukan. Selain itu, bab ini juga memuat dasar teori yang melandasi kegiatan penelitian yang dilaksanakan.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang metode yang digunakan dalam melakukan penelitian, meliputi objek penelitian, alur penelitian, metode penelitian, dan metode pengumpulan data.

BAB IV : HASILDAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang hasil yang diperoleh dari metode penelitian yang telah dilakukan, beserta pembahasannya.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dan saran yang diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sejarah Perkembangan Termoelektrik

Termoelektrik adalah perangkat yang dapat menghasilkan energi listrik akibat dari perubahan suhu panas dan dingin. Wujud dari fenomena ini kemudian dikembangkan menjadi perangkat yang dapat mengonversi energi panas dan dingin yang kemudian dijadikan sebagai elemen pendingin/pemanas yang dapat menghasilkan listrik dari perubahan suhunya. Modul termoelektrik memakai tiga prinsip termodinamika yang disebut Efek Seebeck, Peltier, dan Thompson. Sejarah dari termoelektrik dimulai pada awal abad ke-19 dengan penemuan efek termoelektrik. Efek ini pertama kali ditemukan oleh ilmuwan Jerman, Thomas Johann Seebeck, pada tahun 1821. Efek Seebeck terjadi ketika dua logam yang berbeda digabungkan dan satu ujungnya dipanaskan, maka akan terjadi arus listrik. Efek ini kemudian dikenal dengan Efek Seebeck. Pada tahun 1834, ilmuwan Prancis, Jean Charles Athanase Peltier, menemukan efek sebaliknya dari Efek Seebeck, yang kemudian dikenal sebagai Efek Peltier. Efek Peltier terjadi ketika arus listrik melewati dua titik yang berbeda temperaturnya di antara dua bahan konduktor, akan terjadi pertukaran panas di titik tersebut. Efek ini memungkinkan terjadinya refrigerasi termoelektrik dan aplikasi lainnya. Pada tahun 1886, ilmuwan Amerika, William Thomson (juga dikenal sebagai Lord Kelvin), menggunakan prinsip Efek Seebeck dan Efek Peltier untuk menjadikan termometer termoelektrik yang akurat. Ini adalah salah satu wujud aplikasi awal dari teknologi termoelektrik dalam pengukuran suhu.

Pada pertengahan abad ke-20, penelitian lebih lanjut dilakukan untuk meningkatkan efisiensi konversi energi termal menjadi energi listrik menggunakan modul termoelektrik. Salah satu penemuan penting dalam pengembangan teknologi termoelektrik adalah penemuan material semikonduktor seperti Bismut Telurida (Bi_2Te_3) yang memiliki efisiensi konversi yang lebih tinggi. Pada tahun 2000-an, teknologi termoelektrik mulai diterapkan dalam berbagai aplikasi, termasuk pendinginan dan pemulihan energi pada sistem elektronik dan industri. Penelitian terus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi konversi energi termal menjadi energi listrik dan mengembangkan aplikasi baru untuk teknologi termoelektrik dalam mendukung keberlanjutan energi (Yazu et al., 2022).

2.2. Termoelektrik

Termoelektrik merupakan alat yang dapat menghasilkan energi listrik akibat perbedaan temperatur antara dua sisi dari suatu bahan semikonduktor. Konsep ini terjadi pada Efek Seebeck, yang merupakan kebalikan dari Efek Peltier yang digunakan dalam Thermoelectric Cooling. Generator termoelektrik bekerja dengan mengubah energi panas langsung menjadi energi listrik, atau sebaliknya, menggunakan listrik untuk menciptakan dingin. Untuk menghasilkan arus listrik, bahan termoelektrik ditempatkan dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin, sehingga menghasilkan energi listrik sesuai dengan jenis material yang digunakan. Seperti pendingin termoelektrik, bahan termoelektrik menyerap panas saat dialiri arus listrik. Hal ini mendinginkan ruang tanpa menggunakan kompresor seperti pada mesin pendingin konvensional.

Semikonduktor tipe-n dan tipe-p adalah bahan yang paling umum digunakan untuk menghasilkan energi termoelektrik. Sebagai contoh, bismut telurida digunakan dalam elemen termoelektrik karena dapat mencapai suhu tinggi hingga 350°C . Hal ini menjadikannya pilihan yang baik untuk instalasi pembangkit listrik karena mampu menghasilkan lebih banyak daya dan lebih efisien dibandingkan bahan lainnya.



Gambar 2.1 Modul Termoelektrik
(Sumber : catatan-teknik.blogspot.com)

2.3. Efek Pada Termoelektrik

Dibawah ini merupakan rumus yang sering digunakan sebagai landasan dalam konversi energy panas pada termoelektrik menjadi energy listrik.

2.3.1 Efek Seebeck

Efek Seebeck adalah fenomena fisik di mana perbedaan potensial listrik terjadi ketika suhu berubah antara dua ujung konduktor listrik yang terbuat dari dua material berbeda. Ilmuwan Jerman Thomas Johann Seebeck pertama kali menemukan efek ini pada tahun 1821. Prinsip persamaan efek Seebeck digunakan dalam pembangkit listrik termoelektrik dan aplikasi lain di mana energi panas dapat diubah menjadi energi listrik. Ini adalah dasar teknologi termoelektrik.

$$E_s = \alpha_{pn} (T_2 - T_1) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

E_s : Gerak Gaya Listrik termal Seeback(V)

α_{pn} : Koefisien Seeback (V/C)

T_2 : Temperatur panas(C)

T_1 : Temperatur dingin(C)

Adapun persamaan dasar yang digunakan dalam sistem termoelektrik yang itu persamaan dasar koefisien seeback.

$$\alpha_{pn} = V \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

α_{pn} : Koefisien Seeback (V/C)

V : Tegangan yang dihasilkan (V)

ΔT : Perbedaan temperatur (C)

2.3.2 Efek Peltier

Efek Peltier adalah fenomena fisik di mana ketika arus listrik mengalir melalui dua konduktor yang bersuhu berbeda, terjadi pertukaran panas di antara mereka. Ilmuwan Prancis Jean Charles Athanase Peltier menemukan efek ini pada tahun 1834. Efek Peltier adalah kebalikan dari Efek Seebeck. Efek Seebeck mengubah perbedaan suhu menjadi potensial listrik, sementara Efek Peltier mengubah arus listrik menjadi pertukaran panas saat dua konduktor bertemu. Dalam teknologi termoelektrik, efek Peltier digunakan untuk membuat perangkat pemanas atau pendingin yang tidak membutuhkan kompresor seperti mesin pendingin konvensional. Di bawah ini adalah persamaan rumus efek peltier:

$$Q_c \text{ atau } Q_h = \alpha_{pn} T \cdot I \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

Q_c : Panas pada Terminal dingin (W)

Q_h : Panas pada terminal panas (W)

α_{pn} : Koefisien Seebeck (V/C)

T : Temperatur (C)

I : Arus Listrik (A)

Salah satu fenomena fisik yang diberi nama oleh ilmuwan Inggris James Prescott Joule, yang pertama kali melihat dan mengukur hubungan antara energi listrik, arus listrik, dan resistansi pada pertengahan abad ke-19, adalah efek Joule, yang terjadi ketika arus listrik mengalir melalui penghantar yang memiliki resistansi dan mengubah energi listrik menjadi energi panas. Dalam beberapa kasus, ini dapat menyebabkan pemanasan.

$$Q = I^2 \cdot R \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

Q : Panas (Joule)

I : Electric Current (A)

R : Hambatan (ohm)

t : waktu (s)

2.3.3 Efek Thomson

Nama fenomena ini adalah efek Thomson, yang ditemukan oleh ilmuwan Skotlandia William Thomson (juga dikenal sebagai Lord Kelvin) pada tahun 1854. Fenomena ini terjadi ketika konduktor yang memiliki gradien suhu mengalami perubahan suhu. Tumbukan dalam arah arus listrik mengubah energi kinetik

molekul-molekul konduktor, yang menyebabkan efek Thomson. Sementara konduktor ideal tidak menghasilkan atau menyerap energi, konduktor nyata akan menghasilkan atau menyerap panas sebagai akibat dari Efek Joule dan persamaan rumus efek Thomson.

$$Q_t = T \cdot I \cdot \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

Q_t : Panas Thomson (W/m)

T : Koefisien Thomson (V/C)

dT/dx : Gradien temperature pada semi konduktor

I : Arus Listrik (A)

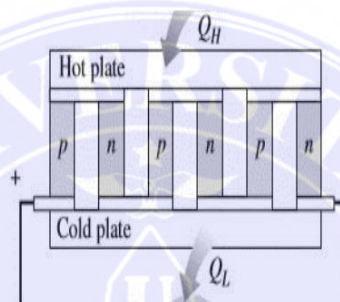
2.4. Prinsip Kerja Termoelektrik

Tiga efek utama Efek Seebeck, Efek Peltier, dan Efek Thomson berfungsi bersama dalam modul termoelektrik untuk mengubah suhu menjadi energi listrik atau sebaliknya.

1. Efek Seebeck: Efek Seebeck menyebabkan perbedaan potensial listrik antara dua sisi material termoelektrik ketika suhunya berbeda.
2. Efek Peltier terjadi ketika arus listrik dialirkan melalui pertemuan dua material dengan temperatur yang berbeda. Ini menghasilkan arus listrik yang dapat menggerakkan beban listrik. Di titik pertemuan terjadi pertukaran panas karena efek ini, yang dapat memanaskan atau mendinginkan. Modul termoelektrik menghasilkan variasi suhu antara dua sisinya melalui efek Peltier.
3. Efek Thomson terjadi ketika arus listrik mengalir melalui konduktor

dengan gradien suhu, mengubah suhu di sepanjang arah arus. Dalam modul termoelektrik, efek ini dapat mempengaruhi distribusi suhu dalam material, yang biasanya tidak diinginkan karena dapat mengurangi efisiensi konversi energi.

Modul termoelektrik dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik (generator termoelektrik) atau untuk menciptakan perbedaan suhu (pendingin termoelektrik).



Gambar 2.2 Cara kerja termoelektrik
(Sumber : Yazu et al., 2022)

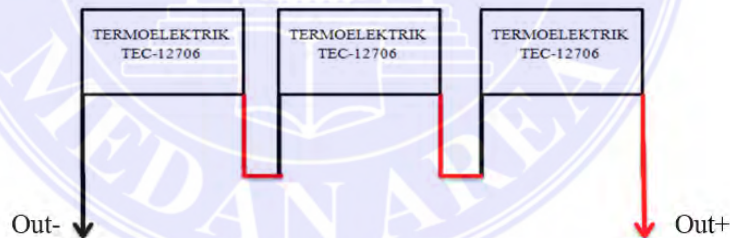
Pada gambar 2.2, Dalam elemen termoelektrik, suhu yang berbeda antara terminal panas dan dingin disebabkan oleh pergerakan elektron dari semikonduktor tipe-p yang memiliki energi rendah ke semikonduktor tipe-n yang memiliki energi yang lebih tinggi. Ketika semikonduktor tipe-n memiliki lebih banyak elektron daripada semikonduktor tipe-p, panas yang dilepaskan ke udara dilepaskan kembali ke semikonduktor tipe-p, dan kemudian kembali ke semikonduktor tipe-p. Dalam kondisi apa pun, kesetimbangan termal di sisidinding yang disebabkan oleh efek Peltier akan sama dengan jumlah panas yang dihasilkan oleh semikonduktor, karena pergerakan elektron dari semikonduktor tipe-p yang kekurangan energi menyerap panas dan meningkatkan energi di sisi dingin (Rifky, R Sirodz, 2020).

2.5. Rangkaian Termoelektrik

Rangkaian pada Termoelektrik ada dua macam yaitu rangkaian seri dan rangkaian paralel setiap rangkaian termoelektrik memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja dan aplikasi dari modul tersebut.

1. Rangkaian Seri

Pada rangkaian seri termoelektrik, modul dihubungkan secara berurutan sehingga arus listrik yang sama mengalir melalui setiap modul. Jika modul dihubungkan secara paralel, perbedaan suhu yang diperlukan untuk menghasilkan arus yang sama akan lebih rendah. Ketika tegangan keluaran yang tinggi diperlukan untuk aplikasi tertentu, rangkaian seri sering digunakan. Hal ini karena tegangan dari setiap modul termoelektrik akan bertambah, tetapi arus total yang dapat ditangani oleh rangkaian tetap sama dengan arus yang dilewati oleh satu modul.



Gambar 2.3 Rangkaian Seri Termoelektrik

Persamaan rumus dalam rangkaian seri pada gambar 2.3

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 \dots\dots\dots (2.6)$$

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

V_T : Jumlah tegangan total Termoelektrik (V)

V_1 : Tegangan yang dihasilkan Termoelektrik yang pertama (V)

V_2 : Tegangan yang dihasilkan Termoelektrik yang kedua (V)

V_3 : Tegangan yang dihasilkan Termoelektrik yang ketiga (V)

I_T : Jumlah arus Total Termoelektrik (A)

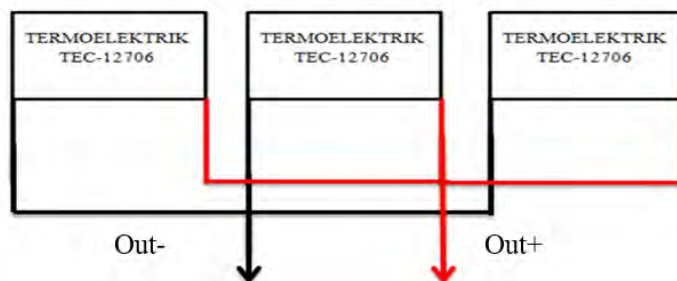
I_1 : Arus yang dihasilkan Termoelektrik yang pertama (A)

I_2 : Arus yang dihasilkan Termoelektrik yang kedua (A)

I_3 : Arus yang dihasilkan Termoelektrik yang ketiga (A)

2. Rangkaian Paralel

Pada rangkaian paralel, kedua terminal positif dari modul-termoelektrik dihubungkan bersama dan kedua terminal negatif dihubungkan bersama, sehingga arus total yang mengalir melalui rangkaian adalah jumlah dari arus yang dilewati oleh setiap modul. Perbedaan suhu yang diperlukan untuk menghasilkan arus yang sama dalam setiap modul menjadi lebih rendah dari pada jika modul tersebut dihubungkan secara seri. Rangkaian paralel meningkatkan arus keluaran total dari rangkaian karena arus dari setiap modul-termoelektrik bertambah. Namun, tegangan keluaran total dari rangkaian tetap sama dengan tegangan yang dihasilkan oleh satu modul. Rangkaian paralel sering digunakan ketika arus keluaran yang tinggi diperlukan untuk aplikasi tertentu (Amanda, 2019).



Gambar 2.4 Rangkaian paralel Termoelektrik

Persamaan rumus dalam rangkaian paralel pada gambar 2.4

$$V_T = V_1 = V_2 = V_3 \dots\dots\dots (2.8)$$

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

V_T : Jumlah tegangan total Termoelektrik (V)

V_1 : Tegangan yang dihasilkan yang pertama (V)

V_2 : Tegangan yang dihasilkan yang kedua (V)

V_3 : Tegangan yang dihasilkan yang ketiga (V)

I_T : Jumlah arus total Termoelektrik (A)

I_1 : Arus yang dihasilkan Termoelektrik yang pertama (A)

I_2 : Arus yang dihasilkan Termoelektrik yang kedua (A)

I_3 : Arus yang dihasilkan Termoelektrik yang ketiga (A)

2.6. Daya listrik

Daya adalah ukuran laju konversi energi atau transfer per satuan waktu. Dalam kelistrikan, daya menunjukkan seberapa cepat suatu perangkat menggunakan atau menghasilkan energy listrik. Watt (W) adalah satuan daya yang digunakan dalam Sistem International (SI), di mana satu watt setara dengan satu joule per detik. Daya adalah istilah yang mengacu pada jumlah energi yang digunakan oleh suatu alat (seperti lampu atau motor) atau yang dihasilkan oleh sumber energi (seperti generator). Ini digunakan dalam aplikasi kelistrikan (Pangestu et al., 2019).

2.6.1 RumusDaya

Daya dalam Arus Searah (DC):

Dalam sistem arus searah, daya (P) dapat dihitung dengan:

$$P = V \times I \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

P : Adalah Watt(W)

V : Adalah Volt (V)

I : Adalah Ampere (A)

Daya memiliki satuan watt, dimana daya merupakan jumlah pemakaian beban yang digunakan. Daya cenderung memiliki karakteristik yang berbeda hal ini bergantung dari jenis beban yang digunakan, untuk dapat menghemat pemakaian listrik yang ada dalam kehidupan kesehari hari biasanya sumber dari beban listrik diberikan filter berupa capasitor bank.

Jika resistansi R diketahui, rumus daya dapat juga dinyatakan sebagai:

$$P = I^2 \times R \dots\dots\dots (2.11)$$

atau

$$P = \frac{V^2}{R} \dots\dots\dots (2.12)$$

Daya dalam Arus Bolak-Balik (AC): Karena faktor daya $\cos\theta$ (yang menunjukkan perbedaan fase antara arus dan tegangan), perhitungan daya dalam sistem AC menjadi lebih sulit. Daya nyata, daya reaktif, dan daya semu adalah tiga jenis daya yang ada dalam AC:

Daya Nyata (RealPower):

$$P = V \times I \times \cos\theta \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana:

$\cos\theta$: faktor daya,

V : tegangan efektif,

I : arus efektif.

P : Daya Reaktif (Reactive Power):

$$Q = V \times I \times \sin\theta \dots\dots\dots (2.14)$$

Daya ini tidak digunakan secara langsung tetapi berhubungan Dengan penyimpanan energi di dalam medan magnet dan listrik.

Daya Semu (Apparent Power):

$$S = V \times I \dots\dots\dots (2.15)$$

Daya semu merupakan daya yang belum dimasukkan oleh beban daya semu biasanya dapat kita jumpai pada name plate pada transformator distribusi, hal ini di karenakan trafo merupakan suatu bentuk komponen yang memiliki daya semu apabila belum di masukkan oleh beban reaktif dan beban aktif. Daya semu merupakan total dari daya aktif dan daya reaktif, pada rumus segitiga daya, daya semu berada pada posisi atas. Daya semu adalah kombinasi dari daya nyata dan daya reaktif dan biasanya dinyatakan dalam satuan volt-ampere (VA).

2.7. Panel surya

Panel surya, juga dikenal sebagai modul fotovoltaik, terdiri dari sejumlah sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor, seperti silikon, yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan arus listrik ketika terkena cahaya matahari. Proses ini dikenal sebagai efek fotovoltaik.

1. Prinsip dibalik kerja panel surya adalah :

- a. Penyerapan Cahaya: Ketika cahaya masuk ke dalam sel surya, foton, atau partikel cahaya, diserap oleh bahan semikonduktor, seperti silikon, di dalam sel.
- b. Pembentukan Elektron Bebas: Energi foton membuat elektron dalam

bahan semikonduktor tereksitasi dan menjadi bebas bergerak. Kemudian medan listrik internal sel surya mengarahkan elektron- elektron yang bebas bergerak ini, menghasilkan aliran arus listrik yang dapat di trasnmisikan pada rangkaian listrik.

2. Jenis – jenis panel surya

Berikut merupakn jenis jenis panel surya berdasarkan bahan dan karakteristik dalam penyerapan cahaya pada matahari :

- a. Panel surya monokristalin :terbuat dari satu kristal silicon lebih mahal tetapi lebih efisien dalam menyerap energi matahari Biasanya berwarna hitam.
- b. Polikristalin : Dibuat dari potongan silikon, lebih murah tetapi tidak seefektif monokristalin. Biasanya, layar berwarna biru.
- c. ThinFilm (LapisanTipis): Dibandingkan dengan panel monokristalin dan polikristalin, thin film ini lebih fleksibel tetapi tidak efisien karena terbuat dari berbagai bahan, seperti silikon amorf atau kadmium tellurida.

Untuk spesifikasi yang digunakan pada proses pengujian panel surya dalam penelitian ini ditunjukkan secara rinci pada Gambar 2.5, yang memuat informasi teknis mengenai karakteristik panel surya meliputi daya maksimum, tegangan kerja, arus nominal, efisiensi konversi energi, serta parameter penting lainnya yang menjadi acuan dalam analisis kinerja sistem. Pada gambar terdapat sebuah spesifikasi dari panel surya monocrystalline dimana panel tersebut memiliki daya sebesar 120wp. Panel surya ini umumnya banyak digunakan karena kinerjanya yang maksimal dan memiliki daya yang lebih stabil dari panel yang lainnya. Panel surya ini umumnya digunakan di rumah maupun pabrik sebagai cadangan listrik.



Gambar 2.5 Spesifikasi Panel Surya

2.8. SCC (Solar ChargeController)

Solar Charge Controller adalah perangkat sistem yang dapat mengatur dan mengontrol dari sistem pengisian baterai tanpa adanya overcharger akibat dari kepenuhan dari pengisian baterai. Perangkat ini digunakan pada panel surya yang akan membatasi arus yang masuk dalam pengecasan baterai. Komponen ini dilengkapi dengan indikator arus yang masuk ke dalam baterai serta persentase pengisian dari baterai tersebut. Scc memiliki fungsi yang sama dengan mppt hanya saja mppt memiliki harga yang cukup tinggi dikarenakan memiliki efisiensi yang besar dalam sistem pengecasan. Scc banyak terjual di pasaran dan masing masing memiliki spesifikasi yang berbeda, maka dari itu dalam pembeliannya harus mengkalkulasikan terlebih dahulu tentang daya dan pasokan listrik yang di buat.



Gambar 2.6 Solar Charge Controller
(Sumber : Abdillah et al., 2024)

2.9. Inverter

Inverter adalah rangkaian atau perangkat elektronika yang memiliki kemampuan untuk mengubah arus listrik searah (DC) ke arus listrik bolak-balik (AC) pada tegangan dan frekuensi yang diinginkan berdasarkan desain rangkaiannya. Sumber arus listrik searah atau arus DC yang dihasilkan oleh inverter dapat berupa baterai, aki, atau sel surya.



Gambar 2.7 Inverter
(Sumber : Abdillahetal.,2024)

2.10. Batrai

Baterai adalah alat yang dapat menyimpan energi listrik dengan mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Baterai terdiri dari satu atau lebih sel elektrokimia, masing-masing dengan dua elektroda (anoda dan katoda) dan elektrolit, yang memungkinkan aliran ion untuk menghasilkan arus listrik. Reaksi kimia yang terjadi di dalam baterai menghasilkan aliran elektron dari anoda ke

katoda. Baterai yang dapat diisi ulang dapat diisi kembali karena reaksi kimia ini dapat diulang (Raharja et al., 2021).



Gambar 2.8 Baterai
(Sumber : Abdillahetal.,2024)

2.11. ESP8266

Dengan tegangan kerja 3,3 V, modul ESP8266 merupakan mikrokontroler yang berisikan sebuah chip yang dapat terhubung ke jaringan atau Wi-Fi dan digunakan untuk menghubungkan berbagai aplikasi dan sensor. Dengan demikian, mikrokontroler ESP8266 dapat digunakan untuk pengolahan dan penyimpanan data di dalam chip. Hal ini memungkinkan chip untuk terintegrasi dengan berbagai sensor atau aplikasi alat tertentu (Wicaksani & Nurpulaela, 2023).



Gambar 2.9 ESP8266

2.12. IoT (*Internet of Things*)

Konsep Internet of Things (IoT) bertujuan untuk memperluas manfaat

konektivitas internet yang berkesinambungan dengan memberi objek identitas, kemampuan untuk beroperasi secara cerdas, dan kemampuan untuk berkomunikasi dengan orang lain, lingkungan sosial, dan pengguna. Dengan membuat koneksi antar perangkat, IoT memungkinkan interaksi dan operasi yang mandiri berdasarkan data yang diperoleh.



Gambar 2.10 Konsep IoT
(Sumber : Wicaksani&Nurpulaela,2024)

2.13. Modul PZEM-004T

PZEM-004T adalah modul sensor yang dimaksudkan untuk mengukur parameter listrik pada jaringan AC. Modul ini dapat mengukur tegangan (volt), arus (ampere), daya (watt), energi (watt-hour), frekuensi (hertz), dan faktor daya (power factor). PZEM-004T biasanya digunakan untuk mengawasi konsumsi listrik peralatan atau rangkaian AC (Surya et al., 2023).



Gambar 2.11 PZEM-004T
(Sumber:Tobi&VanHarling, 2021)

2.14. Sensor DS18B20

Sensor suhu digital yang digunakan untuk mengukur suhu dalam aplikasi elektronik. Ini terkenal karena mudah digunakan dan sangat akurat, dan dapat dihubungkan secara paralel dengan mikrokontroler melalui protokol 1-Wire (Parenreng et al., 2024).



Gambar 2.12 Sensor Suhu

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu Dan Tempat Penelitian

3.1.1 Tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan di CV. Angkasa Mobile Tech Jl. Sultan Serdang, Dusun II Desa Sena Batang Kuis, Deli Serdang.

3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu yang dilakukan untuk penelitian ini kurang lebih 3 bulan dan dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Waktu Kegiatan Penelitian

NO	Kegiatan penelitian	BULAN											
		JANUARI				FEBRUARI				MARET			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur												
2	Pengumpulan Alat Dan Bahan												
3	Perancangan Alat												
4	Pengumpulan Data												
5	Analisa Data												
6	Penulisan Laporan												

3.2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dipilih adalah metode eksperimen, yang melibatkan pengamatan langsung dan pengujian untuk mengumpulkan data kausal yang akurat dan empiris. Dalam penelitian ini, metode eksperimen digunakan untuk menguji karakteristik termoelektrik terhadap panas yang dihasilkan oleh inverter panel surya. Pemantauan kinerja termoelektrik dilakukan menggunakan sistem IoT secara real time, yang dapat memantau perubahan suhu yang dihasilkan dari inverter dan panas pada panel surya. Perubahan suhu tersebut dicatat bersama nilai tegangan dan arus, kemudian data diproses secara digital untuk memperoleh nilai daya, efisiensi, dan koefisien termoelektrik Seebeck. Untuk mempermudah pemahaman, perbandingan, dan analisis, data yang diperoleh disajikan dalam bentuk persamaan garis dan grafik. Pengukuran dilakukan dengan membebani inverter panel surya serta menggunakan media pendingin berupa heatsink dan kipas pendingin. Sebelum menyimpulkan hasil penelitian secara keseluruhan, data dianalisis ulang untuk memastikan keakuratan dan validitasnya.

3.3. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dalam penelitian ini memiliki beberapa tahapan yang cukup sistematis dan saling berkaitan dalam menggambarkan proses pengembangan alat pemanfaatan energi panas matahari pada panel surya dengan ekstra daya maksimum yang tersalurkan ke sistem Thermoelectric Generator (TEG) berbasis IoT.

Tahapan-tahapan ini disusun secara runtut untuk memastikan keberhasilan implementasi serta efektivitas sistem. Adapun tahapan-tahapan tersebut adalah

sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Peneliti melakukan kajian secara mendalam mengenai teori dasar dan penelitian sebelumnya terkait panel surya, termoelektrik, inverter, IoT, serta prinsip kerja dari TEG. Tujuannya dilakukan kajian literature ini sendiri yaitu adalah untuk memahami mekanisme/prinsip kerja yang digunakan pada sistem, serta identifikasi celah penelitian untuk memperkuat inovasi alat yang dikembangkan itu sendiri.

2. Persiapan Alat dan Bahan Penelitian

Peneliti selanjutnya melakukan tahapan untuk menentukan dan mengumpulkan alat serta bahan yang akan digunakan, seperti panelsurya, inverter, TEG, heatsink, sensor suhu (DS18B20), Modul ESP8266, SCC (Solar Charge Controller), baterai, PZEM004T dan perangkat pendukung lainnya yang peneliti pergunakan. Memastikan alat tersedia dalam jumlah yang cukup, peneliti akan menyesuaikan spesifikasi dari tiap alat dan bahan yang digunakan dalam perancangan nantinya.

3. Membuat Rancangan Alat Hardware Sensor

Langkah selanjutnya yaitu peneliti mendesain tata letak dan rangkaian alat atau yang sering disebut sebagai wiring, termasuk pemasangan TEG di bawah panel surya dan inverter untuk menangkap panas. Selanjutnya peneliti juga menyusun sistem pendinginan menggunakan heatsink dan kipas untuk mengoptimalkan perbedaan suhu pada TEG tersebut.

4. Melakukan Pemrograman Mikrokontroller ESP8266

Langkah berikutnya adalah Pemrograman. Peneliti memprogram MK-

ESP8266 yang tujuannya yakni untuk membaca data dari sensor seperti suhu, tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan TEG. Mengintegrasikan modul dengan platform IoT untuk pengiriman data real-time ke dashboard atau aplikasi yang peneliti rancang.

5. Pengujian Alat

Langkah selanjutnya adalah menguji keseluruhan sistem/ alat yang telah di program. Peneliti melakukan pengujian fungsional terhadap semua komponen, termasuk pengukuran tegangan, arus, daya dari TEG, juga performa sistem IoT. Peneliti akan memastikan alat yang di uji ini haruslah bekerja sesuai dengan perancangan awal.

6. Apakah Alat Dapat Berfungsi Optimal

Setelah pengujian alat, penelitiakan mengevaluasi apakah alat memenuhi kriteria desain seperti kemampuan menghasilkan daya maksimum dari panas inverter/panel surya, dan juga pengiriman data IoT melalui jaringan Hotspot tanpa kendala. Jika ada kekurangan yang ditemukan peneliti, maka peneliti melakukan kalibrasi ulang pada komponen, seperti MPPT atau TEG.

7. Tampilan Data dan Pengiriman Data melalui IoT

Setelah alat berhasil dan berfungsi secara optimal, maka peneliti selanjutnya melakukan pengujian dari visualisasi data terbaca dari sistem. Menguji visualisasi data yang ditampilkan melalui dashboard IoT tersebut tentulah berfungsi untuk memastikan data seperti tegangan, arus, dan daya mudah dimonitor secara *real-time*. Agar dapat terbaca oleh sistem, peneliti memastikan keakuratan dan kecepatan pengiriman data dari ESP8266 ke platform IoT.

8. Analisis Data

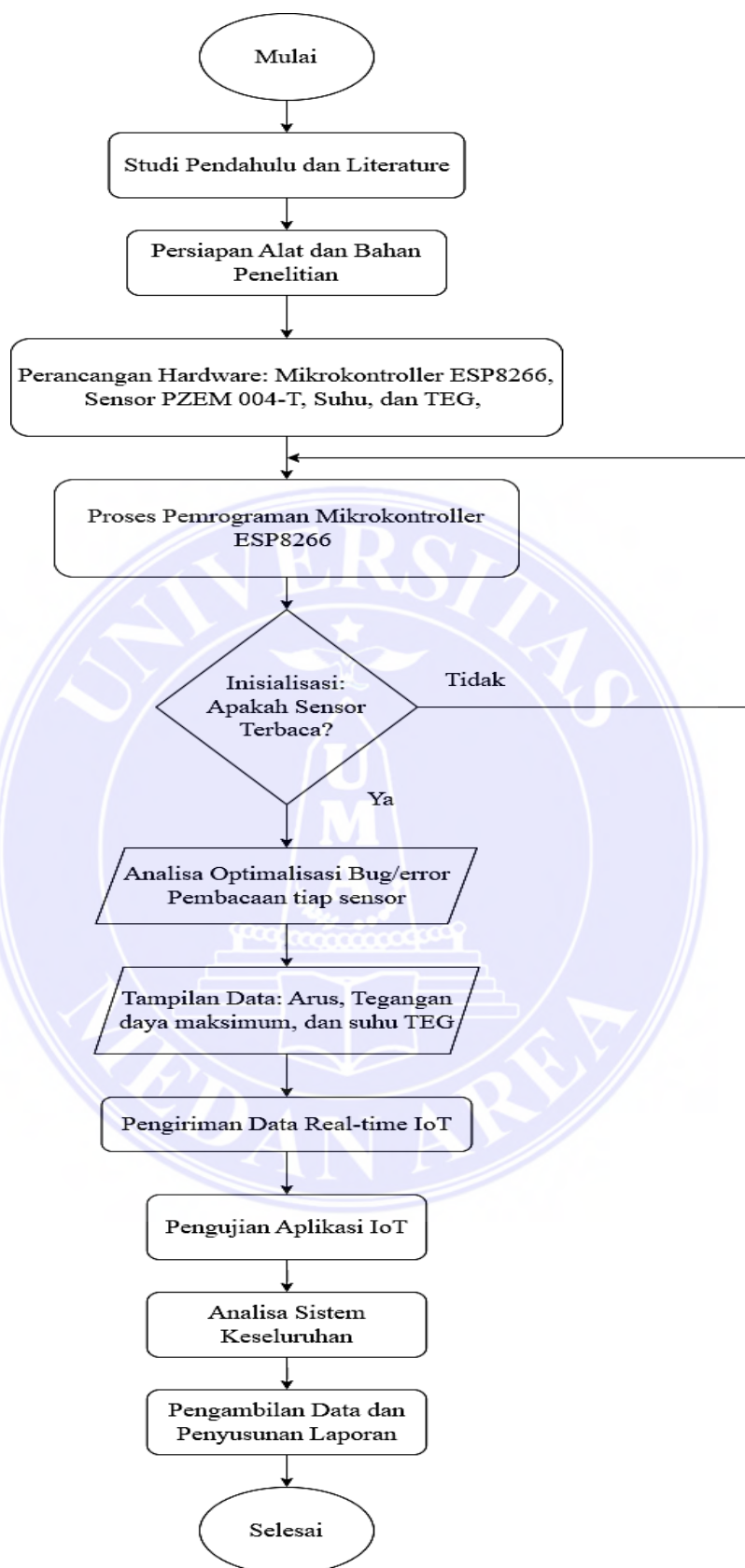
Langkah selanjutnya yaitu melakukan analisis terhadap data yang dikumpulkan selama pengujian, hal ini tentunya termasuk bersamaan dengan konfigurasi dari tiap sensor, seperti antara suhu, perbedaan temperatur, tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan. Lalu peneliti akan menyimpulkan efektivitas alat dalam meningkatkan efisiensi energi yang dihasilkan tersebut.

9. Penyusunan Laporan Penelitian

Langkah terakhir yaitu penyusunan laporan penelitian (pencatatan data hasil pengukuran dan penyusunan skripsi). Peneliti mendokumentasikan semua tahapan penelitian, mulai dari latar belakang, metode, hasil, hingga analisis dalam format laporan penelitian. Laporan ini disusun sebagai acuan dan bahan referensi untuk penelitian lanjutan.

Penyusunan laporan ini dilakukan dengan cara terstruktur dan peneliti melakukan penindaklanjutan dari sistem kerja alat. Sistem ini dirancang dengan cara sistematis dan dilakukan dengan tahap- tahap yang detail untuk mendapatkan ke akuratan yang pasti. Sistem yang bekerja secara real- time harus diuji dengan sebuah bentuk maupun susunan dari percobaan yang akurat hal ini bertujuan agar sistem dapat bekerja secara maksimal dan dapat dilakukan penelitian yang berkelanjutan.

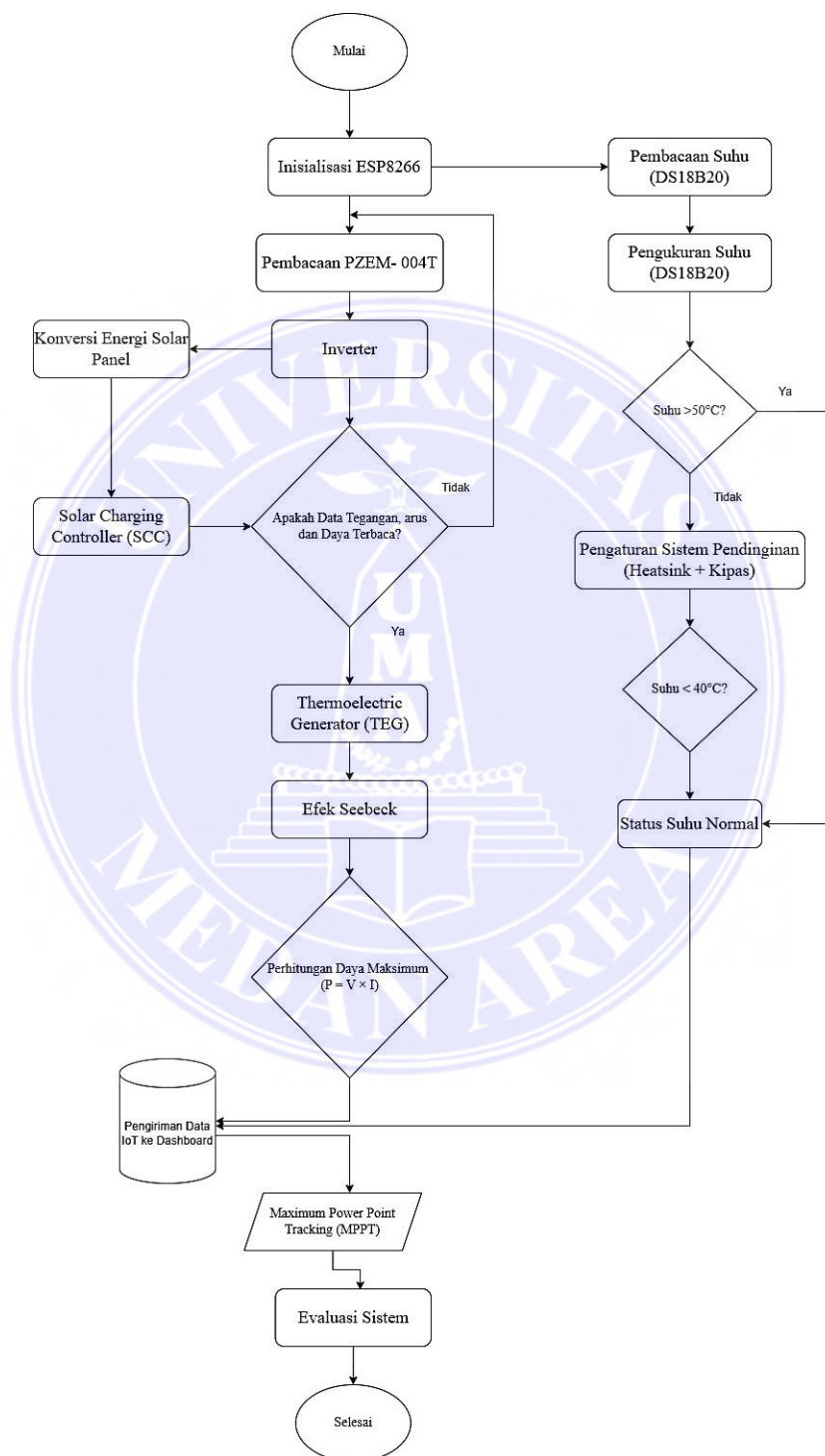
Adapun diagram alir/flowchart tahapan penelitian yang dirancang dalam penelitian ini, dapat dilihat pada gambar 3.1 diagram alir penelitian ini, yaitu sebagai berikut ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4. Flowchart Sistem

Dalam penelitian ini, terdapat *flowchart* sistem atau alur kerja dari sistem yang dirancang, yang dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini:



Gambar 3. 2 Flowchart Sistem

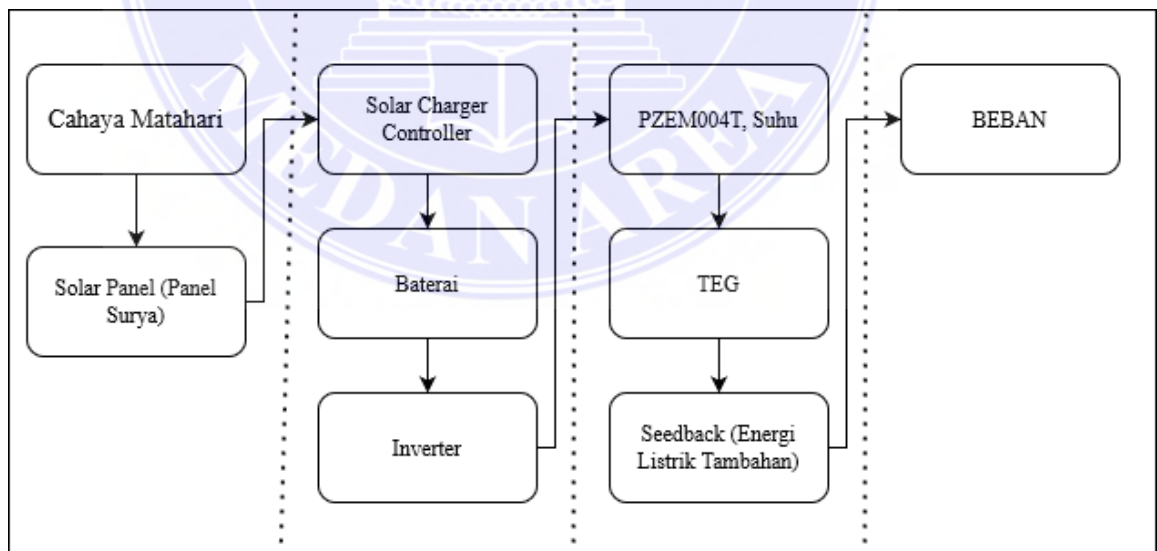
Berdasarkan gambar di atas, dapat dijelaskan tiap tahapan flowchart yang dibangun, yaitu sebagai berikut:

1. ESP8266 diaktifkan dan mulai menginisialisasi semua library serta modul sensor seperti PZEM-004T, sensor suhu, dan parameter lain yang dibutuhkan untuk sistem berjalan.
2. Sensor PZEM-004T membaca parameter listrik dari inverter atau TEG, seperti tegangan, arus, dan daya.
3. Selanjutnya, inverter melakukan pembacaan dari tiap parameter yang diukur, seperti data tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh inverter dan panel surya.
4. Setelah parameter berhasil terbaca, sistem menandakan bahwa alat bekerja dengan baik. TEG kemudian memanfaatkan panas yang dihasilkan oleh inverter dan panel surya menggunakan Efek Seebeck, di mana perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin modul termoelektrik menghasilkan tegangan listrik.
5. Panas buangan dari inverter atau panel surya disalurkan ke TEG melalui heatsink untuk menghasilkan perbedaan suhu yang optimal, yang dibaca oleh sensor suhu.
6. Mikrokontroler menghitung daya listrik yang dihasilkan TEG berdasarkan data tegangan dan arus menggunakan persamaan: $P=V \times I$ di mana V adalah tegangan dan I adalah arus.
7. Jika suhu pada TEG melebihi batas optimal ($>50^{\circ}\text{C}$), sistem pendinginan (heatsink + kipas) diaktifkan untuk menjaga kestabilan operasi TEG hingga suhu kembali di bawah 50°C .

8. Data yang diperoleh (tegangan, arus, daya, suhu) dikirimkan ke server IoT melalui koneksi Wi-Fi, kemudian divisualisasikan pada dashboard IoT yang dapat diakses secara real-time.
9. MPPT diimplementasikan untuk mengoptimalkan daya yang dihasilkan oleh TEG. Algoritma MPPT memastikan sistem bekerja pada titik daya maksimum.
10. Mikrokontroler mengevaluasi data secara real-time untuk memastikan semua komponen bekerja optimal. Jika terjadi kesalahan, sistem akan mengirimkan notifikasi melalui IoT.
11. Proses selesai.

3.5. Diagram Blok Penelitian

Selanjutnya, terdapat diagram blok yang dirancang dalam penelitian ini dan didesain sedemikian rupa, yang dapat dilihat pada Gambar 3.3 di bawah ini:



Gambar 3. 3 Diagram Blok Penelitian

Pada Gambar 3.3 diagram blok di atas, sistem dimulai dengan pemanfaatan cahaya matahari yang dikonversi oleh panel surya menjadi energi listrik berbentuk

arus searah (DC). Output DC dari panel surya dikontrol oleh Solar Charge Controller (SCC) untuk pengisian baterai secara aman. Energi listrik yang dihasilkan panel surya tersebut akan disalurkan melalui PWM SCC ke dalam baterai sebagai penyimpanan energi. Arus listrik DC dari baterai kemudian diubah menjadi arus bolak-balik (AC) oleh inverter.

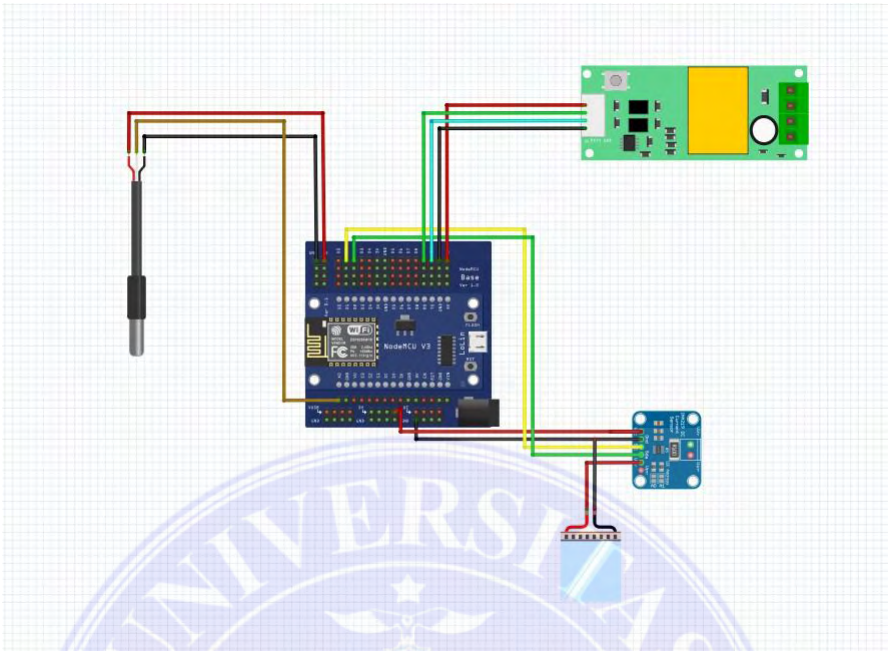
Arus AC inilah yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban sehari-hari. Sensor PZEM-004T dan sensor suhu berfungsi mengukur parameter seperti arus, tegangan, daya maksimum, serta suhu yang dihasilkan oleh panas dari cahaya matahari dan inverter. Generator termoelektrik (TEG) memanfaatkan panas yang dihasilkan oleh inverter atau panel surya. Dengan menggunakan Efek Seebeck, perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin dari modul termoelektrik menghasilkan tegangan listrik. Panas buangan dari inverter atau panel surya disalurkan ke TEG melalui heatsink untuk menciptakan perbedaan suhu yang optimal. Energi listrik yang dihasilkan TEG kemudian dapat digunakan untuk menghidupkan beban.

3.6. Perancangan Desain Wiring Hardware Electrical

3.6.1. Desain Komponen

Langkah selanjutnya adalah melakukan perancangan desain wiring seluruh komponen sensor yang digunakan dalam penelitian ini. Komponen-komponen tersebut terdiri dari sensor PZEM-004T, sensor suhu DS18B, inverter, baterai, SCC, TEG, dan panel surya. Adapun rancangan desain wiring yang dibuat oleh peneliti bertujuan untuk memvisualisasikan komponen yang terintegrasi satu dengan lainnya. Bentuk rancangan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.4 di

bawah ini:



Gambar 3.4 Desain Wiring Komponen

Pada gambar di atas, merupakan desain dari wiring komponen sensor yang digunakan dalam penelitian ini. Dapat dilihat bahwa gambar di atas terdiri dari 1 unit mikrokontroler ESP8266+Shield, Sensor Suhu DS18B yang digunakan untuk monitoring pembacaan suhu, sensor PZEM004T yang digunakan untuk mengukur tegangan, dan TEG yang terhubung ke dalam modul. Adapun pin-pin yang saling terintegrasi, yaitu dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

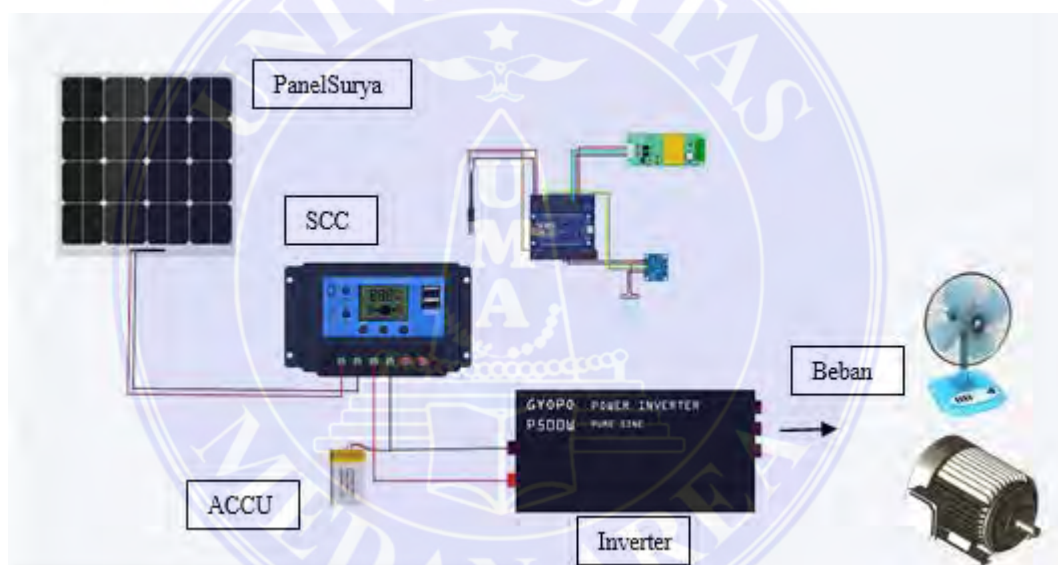
Tabel 3. 2 Pin Wiring Desain Komponen

Pin PZEM00T4	Pin ESP8266
VCC	3.3 Volt
GND	GND
RX	RX
TX	TX
Pin DS18B	Pin ESP8266
VCC	VCC

GND	GND
Sinyal	A0
Pin Modul TEG	Pin ESP8266
VCC	5V
GND	GND
SDA	D1
SCL	D2

3.6.1. Desain Keseluruhan Sistem

Selanjutnya terdapat desain dari keseluruhan sistem yang dirancang, dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

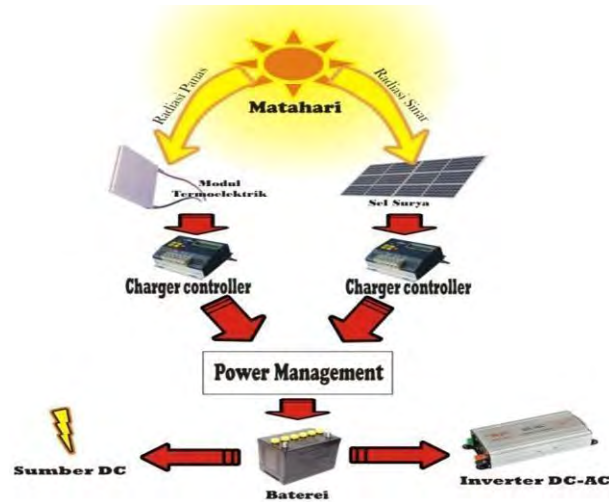


Gambar 3. 5 Desain Rangkaian Elektrical Keseluruhan

Pada gambar 3.5 di atas merupakan desain dari rangkaian elektrikal keseluruhan yang digunakan, yakni terdiri dari Panel Surya, SCC, Accu, Inverter, dan komponen IoT lainnya.

3.6.2. Desain Skema Alat

Desain skema alat yang dirancang dapat dilihat pada gambar alur di bawah ini:

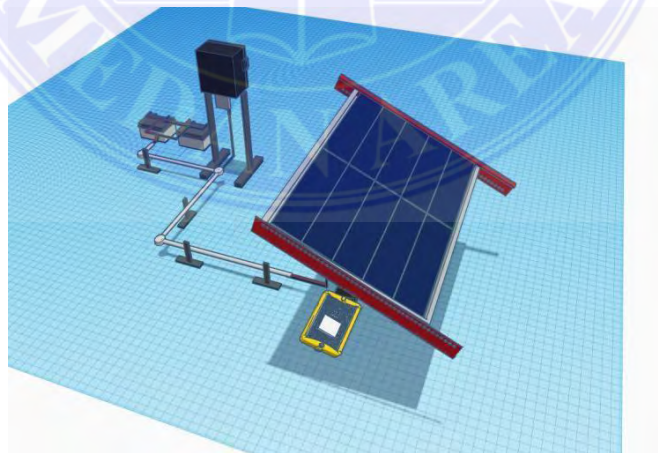


Gambar 3. 6 Skema Desain Alat

Penelitian ini memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan energi listrik sekaligus menghasilkan panas dan memanfaatkannya untuk menghasilkan energi listrik tambahan.

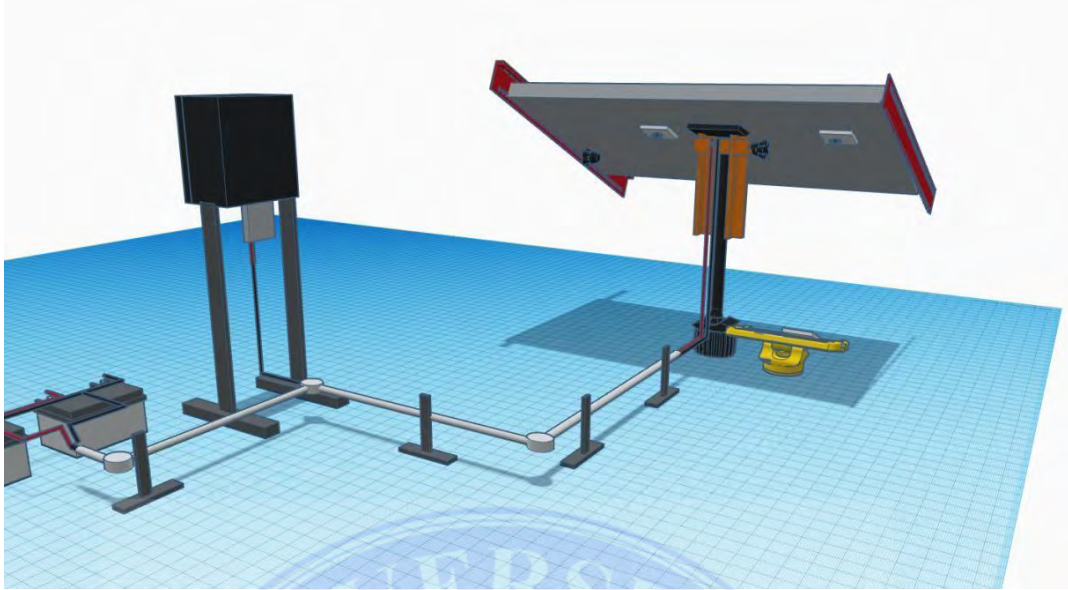
3.7. Desain Mekanis Alat

Terdapat desain dari mekanis alat yang dirancang dalam penelitian ini, yaitu dapat dilihat sebagai berikut ini:



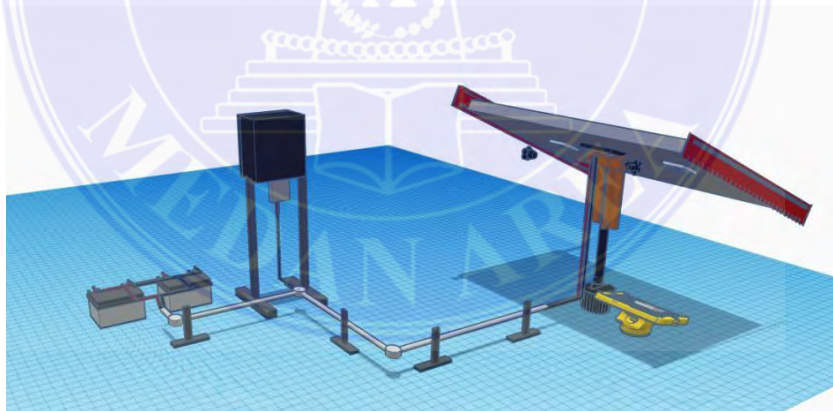
Gambar 3.7 Desain Mekanis Alat Tampak Atas

Pada gambar 3.7 di atas, merupakan tampak atas dari desain alat yang dirancang nantinya.



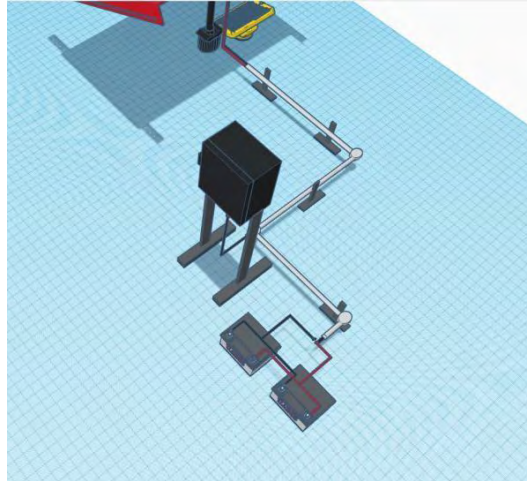
Gambar 3.8 Tampak Samping

Gambar 3.8 memvisualisasikan tampak samping dari mekanis yang dirancang dalam penelitian ini. Peneliti menggunakan single axis tracking solar, yang dimana fungsi dipasang pada mekanisme *single-axis tracking* untuk memastikan sudut optimal terhadap matahari sepanjang hari.



Gambar 3.9 Posisi Pemasangan TEG

Pada gambar 3.9 di atas, Thermoelectric Generator (TEG) diletakkan di bagian bawah panel surya. TEG menangkap panas dari panel yang biasanya dilepaskan ke lingkungan sekitarnya untuk menghasilkan energi tambahan.



Gambar 3.10 Posisi Pemasangan Inverter

Pada gambar 3.10 di atas, Inverter terhubung dengan panel surya untuk mengubah arus DC menjadi AC. Panas dari inverter juga dimanfaatkan oleh TEG itu sendiri.

3.8. Analisa Data

Analisa data dalam penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem pemanfaatan energi panas pada panel surya dengan ekstraksi daya maksimum yang disalurkan ke Thermoelectric Generator (TEG) berbasis IoT. Tahapan analisa data meliputi pengumpulan, pengolahan, dan interpretasi hasil untuk menjawab rumusan masalah penelitian. Berikut adalah langkah-langkah dalam analisa data:

1. Data diambil dari sensor-sensor yang terpasang, yaitu:
 - a. Tegangan (V), arus (I), dan daya (P) dari TEG melalui modul PZEM004T.
 - b. Suhu (T) pada sisi panas dan dingin TEG melalui sensor DS18B20.
 - c. Parameter efisiensi sistem dari modul IoT.

Semua data ini nantinya akan dicatat secara real-time menggunakan ESP8266 dan dikirimkan ke dashboard IoT.

2. Perhitungan Daya

Peneliti menggunakan rumus $P = V \times I$, di mana

P = daya dalam (Watt)

V = tegangan (Volt), dan

I = arus(A)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari paparan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal penting dari penelitian ini mengenai sistem monitoring energi pada optimalisasi energi panas panel surya menggunakan metode ekstraksi daya maksimum, sebagai berikut:

1. Sistem berhasil mengukur tegangan dan arus keluaran dari Thermoelektrik Generator (TEG) menggunakan pembacaan sensor yang ditampilkan secara *real-time* melalui dashboard IoT blyn.cloud. Arus yang dihasilkan TEG berada pada rentang 0.01–0.04 A, dan tegangan yang terbaca berkisar 0.5–1.2 V tergantung pada kondisi panas. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa meskipun daya yang dihasilkan kecil, TEG masih tetap dapat menyuplai energi tambahan secara berkelanjutan.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya output TEG berbanding lurus dengan selisih suhu (ΔT) antara sisi panas dan sisi dingin. Saat ΔT meningkat dari 4°C menjadi 6°C, daya yang dihasilkan ikut meningkat secara signifikan. Ini membuktikan bahwasanya semakin besar perbedaan suhu yang terbaca, maka semakin besar pula daya listrik yang dapat dikonversi oleh TEG.
3. Perubahan suhu pada sisi panas dan sisi dingin secara langsung mempengaruhi nilai tegangan dan arus yang dihasilkan. ΔT yang stabil dan tinggi (antara 36°C dan 30°C) memberikan performa yang lebih baik dibanding ΔT rendah. Oleh karena itu, sistem pendinginan aktif (seperti pompa air) sangat urgen dalam menjaga perbedaan suhu agar tetap optimal.

4. Pemanfaatan energi panas yang sebelumnya terbuang dari permukaan panel surya dan inverter menjadi energi listrik menggunakan TEG terbukti dapat meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Ditambah dengan sistem monitoring berbasis IoT yang memungkinkan pengguna untuk mengetahui kondisi energi secara langsung, maka sistem ini dapat diandalkan sebagai alternatif solusi hemat energi dan ramah lingkungan, terutama di daerah minim akses listrik.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk pengembangan sistem ke depan adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengembangan desain sistem pendinginan agar suhu sisi dingin TEG bisa lebih ditekan, sehingga selisih temperatur (ΔT) menjadi lebih besar dan efisiensi konversi energi panas ke listrik meningkat.
2. Sistem sebaiknya dilengkapi dengan penyimpanan data lokal (misalnya microSD atau database cloud) agar hasil monitoring dapat diakses kembali dan dianalisis dalam jangka panjang.
3. Integrasi algoritma MPPT (Maximum Power Point Tracking) berbasis kode (misalnya Perturb & Observe) sebaiknya diterapkan secara penuh agar proses ekstraksi daya maksimum dari panel dan TEG lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, A., Abrianto, H., & Sidik, A. D. (2024). Perancangan Penerangan Rumah Tangga Menggunakan Panel Surya Untuk Alternatif Penerangan Disaat Pemadaman Listrik. *Jurnal Cahaya Mandalika* ISSN 2721-4796, 3(3)(April), 2419–2433.
- Amanda, D. R. (2019). Analisis Teknis dan Ekonomis Termoelektrik Generator (TEG) Dengan Memanfaatkan Panas Mesin Vacuum Frying Sebagai Harvesting Energi Listrik. 1–103.
- Inovasi Kimia, 1, 65–87. <https://doi.org/10.15294/ik.v1i1.62>
- Johan, S., & Ari Muliarta Ginting. (2022). Determinasi Konsumsi Listrik Di Indonesia. *Media Ekonomi*, 30(1), 106–117. <https://doi.org/10.25105/me.v30i1.10662>
- Pangestu, A. D., Ardianto, F., & Alfaresi, B. (2019). Sistem Monitoring Beban Listrik Berbasis Arduino Nodemcu Esp8266. *Jurnal Ampere*, 4(1), 187. <https://doi.org/10.31851/ampere.v4i1.2745>
- Parenreng, J. M., Zain, S. G., & Fajri, S. M. (2024). Performance Evaluation Of Hybrid System Monitoring Solar Panels Based On WSN Case In Smart Regional Drinking Water Company (PDAM). 04. <https://doi.org/10.31763/iota.v4i3.747>
- Raharja, L. P. S., Eviningsih, R. P., Ferdiansyah, I., & Yanaratri, D. S. (2021). Penggunaan Daya Panel Surya Dengan MPPT Bisection Pada Proses Charging Baterai. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 9(1), 24–33. <https://doi.org/10.32487/jtt.v9i1.957>
- Rifky, R Sirodz, Y. (2020). Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car

- Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics (PV) dan Thermoelectric (TEC). Teknobiz: Jurnal Ilmiah Program Studi Magister ..., 10(1), 34–40. <http://103.75.102.195/index.php/teknobiz/article/view/1359>
- Sunardiyo, S., Suryanto, A., Primadiyono, Y., Sarwono, E., & Asriningati, A. (2022). PEMODELAN SISTEM PEMBANGKIT HYBRID DIESEL GENERATOR-PVMICROGRIDINTERAKTIF(KajianSmartHybrid).
- Surya, I., Kustija, J., Eka Pawinanto, R., Pramudita, R., Adli Rizqulloh, M., Wahyudin, D., & Haritman, E. (2023). Sistem monitoring beban listrik dan perbaikan faktor daya menggunakan PZEM004T dan dashboard Adafruit berbasis IoT. JITEL (Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, Dan Listrik Tenaga), 3(3), 235–246. <https://doi.org/10.35313/jitel.v3.i3.2023.235-246>
- Tobi, M. D., & Van Harling, V. N. (2021). Wireless electric energy transmission system and its recording system using PZEM004T and NRF24L01 module. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 21(3), 1372–1380. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v21.i3.pp1372-1380>
- Usman, M. (2020). Analisis Intensitas Cahaya Terhadap Energi Listrik Yang Dihasilkan Panel Surya. Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro, 9(2), 52–57. <https://doi.org/10.30591/polektro.v9i2.2047>
- Wicaksani, E., & Nurpulaela, L. (2023). Perancangan Aplikasi Sistem Monitoring Arus, Tegangan Dan Daya Berbasis Internet of Things (Iot). JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika), 7(3), 1907–1912. <https://doi.org/10.36040/jati.v7i3.6987>

Generator (Kuat Arus Dan Tegangan) Pada Jalans Aspal Dan Beton
Dengan 3VariasiBentukPlatTembaga.Energi&Kelistrikan,14(1),99–108.
<https://doi.org/10.33322/energi.v14i1.1353>



LAMPIRAN

```
#define BLYNK_PRINT Serial

#include <ESP8266WiFi.h>

#include <BlynkSimpleEsp8266.h>

#include <PZEM004Tv30.h> //https://github.com/mandulaj/PZEM-004T-v30

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

PZEM004Tv30 pzem(&Serial);

#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPLuJoFqDx"

#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "MONITORING IOT"

#define BLYNK_AUTH_TOKEN "BBdCNbuV6KuP17i7aRC72t3TLkjdkjcO"

char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;

char ssid [] = "satria nanda";

char pass [] = "winata2002";

float voltage=0;

float current=0;

float power=0;

float energy=0;

float frequency=0;

float pf=0;

unsigned long lastMillis = 0;

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

void setup()

{

  lcd.begin(); // initializing the LCD

  lcd.backlight(); // Enable or Turn On the backlight

  lcd.setCursor(0,0); //Set cursor to first column of second row

  lcd.print("  Energy meter  ");
```

```

delay(1000);

lcd.setCursor(0,1); //Set cursor to first column of second row

lcd.print(" Monitor by IOT ");

delay(1000);

lcd.setCursor(0,2); //Set cursor to first column of second row

lcd.print(" Designed by ");

delay(1000);

lcd.setCursor(0,3); //Set cursor to first column of second row

lcd.print("HRB Embedded & Craft");

delay(3000);

lcd.clear();

lcd.print("Device connecting...");

delay(2000);

lcd.setCursor(0,2); //Set cursor to first column of second row

lcd.print(".....please wait");


Serial.begin(9600);
Blynk.begin(auth, ssid, pass, "blynk.cloud", 80);

lcd.clear();
}

void loop()
{
  Blynk.run();

  float voltage = pzem.voltage();

  if( !isnan(voltage) ){

    Serial.print("Voltage: "); Serial.print(voltage,1); Serial.println("V");

    lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Voltage:   Volts"); lcd.setCursor(8,0);

    lcd.print(voltage,1);

  } else {

```



```

Serial.println("Error reading voltage");

lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Voltage = 0.00Volts ");

lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Current = 0 Amps ");

lcd.setCursor(0,3); lcd.print(" No Power Supply ");

}

float current = pzem.current();

if( !isnan(current) ){

    Serial.print("Current: "); Serial.print(current,3); Serial.println("A");

    lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Current:   Amps"); lcd.setCursor(8,1);
lcd.print(current,3);

} else {

    Serial.println("Error reading current");

}

float power = pzem.power();

if( !isnan(power) ){

    Serial.print("Power: "); Serial.print(power,0); Serial.println("W");

    lcd.setCursor(0,2); lcd.print("   Watts"); lcd.setCursor(0,2);
lcd.print(power,0);

} else {

    Serial.println("Error reading power");

}

float energy = pzem.energy();

if( !isnan(energy) ){

    Serial.print("Energy: "); Serial.print(energy, 3); Serial.println("kWh");

    lcd.setCursor(12,2); lcd.print("   Kwh"); lcd.setCursor(12,2);
lcd.print(energy,3);

} else {

    Serial.println("Error reading energy");

```

```

    }

    float frequency = pzem.frequency();

    if( !isnan(frequency) ){

        Serial.print("Frequency: "); Serial.print(frequency,1); Serial.println("Hz");

        lcd.setCursor(0,3); lcd.print("Freq:  Hz"); lcd.setCursor(5,3);
        lcd.print(frequency,1);

    } else {

        Serial.println("Error reading frequency");

    }

    float pf = pzem.pf();

    if( !isnan(pf) ){

        Serial.print("PF: "); Serial.println(pf);

        lcd.setCursor(12,3); lcd.print("PF: "); lcd.setCursor(15,3); lcd.print(pf);

    } else {

        Serial.println("Error reading power factor");

    }

    Serial.println();

    delay(2000);

    delay(1000);

    //Publish data every 5 seconds (5000 milliseconds). Change this value to publish
    at a different interval.

    if (millis() - lastMillis > 5000) {

        lastMillis = millis();

        Blynk.virtualWrite(V1, voltage);

        Blynk.virtualWrite(V2, current);

        Blynk.virtualWrite(V3, power);

        Blynk.virtualWrite(V4, energy);

        Blynk.virtualWrite(V5, frequency);

        Blynk.virtualWrite(V6, pf);
    
```

