

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KONVERSI  
ENERGI PADA PEMBANGKIT LISTRIK *HYBRID*  
*PIEZOELECTRIC* BERBASIS *IoT* MENGGUNAKAN  
METODE *FUZZY LOGIC***

**SKRIPSI**

**OLEH :**

**ILHAM MAULANA**

**218120009**



**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 KONVERSI  
ENERGI PADA PEMBANGKIT LISTRIK *HYBRID*  
*PIEZOELECTRIC* BERBASIS IoT MENGGUNAKAN METODE  
*FUZZY LOGIC***

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah Syarat untuk Memperoleh

Gelar Sarjana Di Fakultas Teknik

Universitas Medan Area

Oleh:

**ILHAM MAULANA**

**21.812.0009**

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

## LEMBAR PENGESAHAN

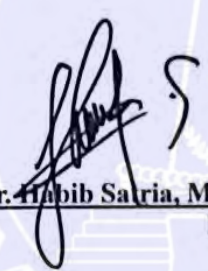
Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem Monitoring Konversi Energi pada  
Pembangkit Listrik *Hybrid Piezoelectric* Berbasis IoT  
Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*

Nama : Ilham Maulana

Npm : 21.812.0009

Fakultas : Teknik Elektro

Disetujui oleh  
Komisi Pembimbing

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



  
Dekan



  
Ka.Prodi

Ka.Prodi

Tanggal Lulus : 4 September 2025

### **HALAMAN PERNYATAAN**

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar serjana 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



Ilham Maulana  
21.812.0009

## 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 : Ilham Maulana  
NPM : 218120009  
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-exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**“Rancang Bangun Sistem Monitoring Konversi Energi pada Pembangkit Listrik Hybrid Piezoelectric Berbasis IoT Menggunakan Metode Fuzzy Logic”**

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



(Ilham Maulana)

## ABSTRAK

Seiring meningkatnya kebutuhan akan energi listrik, pengembangan sumber energi terbarukan yang inovatif menjadi semakin krusial. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring konversi energi berbasis *Internet of Things* (IoT) pada pembangkit listrik *hybrid* yang mengintegrasikan panel surya dan *piezoelectric*, serta menerapkan metode *Fuzzy Logic* untuk analisis performa sistem. Metodologi yang digunakan melibatkan perancangan perangkat keras, yang terdiri dari panel surya 50 Wp, 100 transduser *piezoelectric*, dan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan platform *Thingier.io* untuk pemantauan data secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memonitor parameter kelistrikan secara langsung dan akurat. Panel surya berfungsi sebagai sumber energi utama, dengan daya maksimum terukur sebesar 24,85 W, sedangkan unit *piezoelectric* bertindak sebagai sumber energi komplementer, dengan daya tertinggi mencapai 39,60  $\mu$ W saat hujan deras. Analisis validasi mengungkap adanya diskrepansi signifikan antara pembacaan sensor dan pengukuran manual, yang menekankan pentingnya proses kalibrasi sensor untuk memastikan akurasi. Selain itu, metode *Fuzzy Logic* berhasil diimplementasikan sebagai alat klasifikasi cerdas, yang mampu memberikan penilaian kualitatif terhadap kondisi operasional sistem secara keseluruhan, sekaligus membuktikan kelayakan penerapan konsep monitoring cerdas pada sistem pembangkit *hybrid*.

**Kata Kunci :** Pembangkit Hybrid, Piezoelectric, Panel Surya, *Internet of Things* (IoT), *Fuzzy Logic*, Monitoring Energi.

## ABSTRACT

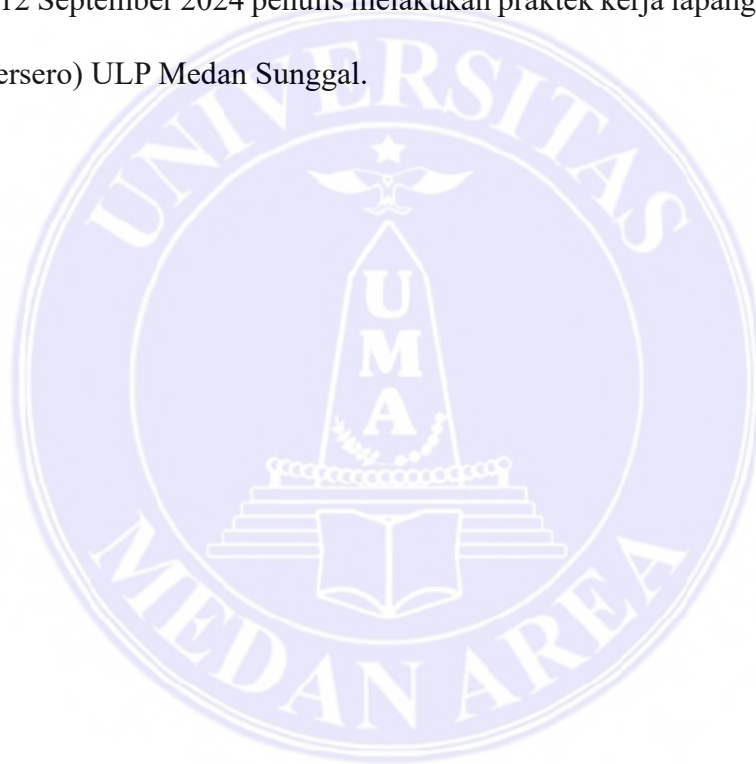
**Ilham Maulana. 218120009. “Designing an energy conversion monitoring system for an IoT-based piezoelectric hybrid power plant using the fuzzy method”. Supervised by Ir. Habib Satria, M.T, M.Kom, IPM, ASEAN Eng.**

*As the demand for electrical energy increases, the development of innovative renewable energy sources becomes increasingly crucial. This study aims to design and build an Internet of Things (IoT)-based energy conversion monitoring system for a hybrid power plant that integrates solar panels and piezoelectric devices, and to apply Fuzzy Logic methods for system performance analysis. The methodology used involves hardware design, consisting of a 50 Wp solar panel, 100 piezoelectric transducers, and an ESP32 microcontroller connected to the Thingier.io platform for real-time data monitoring. Test results show that the system is capable of directly and accurately monitoring electrical parameters. The solar panel functions as the primary energy source, with a maximum measured power of 24.85 W, while the piezoelectric unit acts as a complementary energy source, with a maximum power of 39.60  $\mu$ W during heavy rain. Validation analysis revealed significant discrepancies between sensor readings and manual measurements, emphasizing the importance of sensor calibration to ensure accuracy. Additionally, the Fuzzy Logic method was successfully implemented as an intelligent classification tool, capable of providing qualitative assessments of the system's overall operational condition, thereby demonstrating the feasibility of applying smart monitoring concepts to hybrid power generation systems.*

**Keywords :** Hybrid Generation, Piezoelectric, Solar Panel, Internet of Things (IoT), Fuzzy Logic, Energy Monitoring.

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Desa Sumber Rejo tepatnya di Kabupaten Batu Bara pada tanggal 11 Februari 2003 dari ayah Sudar dan ibu Susanti. Penulis merupakan anak terakhir dari 2 bersaudara. Pada tahun 2020 Penulis lulus dari SMK SWASTA BUDHI DARMA INDRAPURA dan pada tahun 2021 terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik 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 Konversi Energi pada Pembangkit Listrik *Hybrid Piezoelectric* Berbasis IoT Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*”. 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 Sudar dan Ibu Susanti terkhususnya kepada ibu saya yang telah mengkuliahkan, 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., IPM, ASEAN Eng selaku 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 civitas akademika 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. Terima kasih kepada seluruh rekan-rekan di CV. AB. Electronics yang juga selalu memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. 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



Ilham Maulana  
21.812.0009

## DAFTAR ISI

|                                                                                                               |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>                                                                                | <b>ii</b>   |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>                                                                                | <b>iii</b>  |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS<br/>AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....</b> | <b>iv</b>   |
| <b>ABSTRAK .....</b>                                                                                          | <b>v</b>    |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                                                         | <b>vi</b>   |
| <b>RIWAYAT HIDUP .....</b>                                                                                    | <b>vii</b>  |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                                                                    | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                                                                                       | <b>x</b>    |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                                                                                    | <b>xiii</b> |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                                                                     | <b>xv</b>   |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                                                                                 | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang.....                                                                                       | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                                                                                      | 3           |
| 1.3 Batasan Masalah .....                                                                                     | 4           |
| 1.4 Tujuan Penelitian .....                                                                                   | 4           |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....                                                                                  | 5           |
| 1.6 Kerangka Penulisan .....                                                                                  | 5           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                                                                           | <b>7</b>    |
| 2.1. Konsep Dasar Energi Terbarukan .....                                                                     | 7           |
| 2.2. Sistem Pembangkit Listrik <i>Hybrid</i> .....                                                            | 7           |
| 2.3. Teknologi <i>Piezoelectric</i> .....                                                                     | 8           |
| 2.3.1. Efek <i>piezoelectric</i> .....                                                                        | 9           |
| 2.3.2. Rangkaian pada <i>piezoelectric</i> .....                                                              | 10          |
| 2.4. Panel surya.....                                                                                         | 12          |
| 2.5. SCC ( <i>Solar charge controller</i> ).....                                                              | 14          |
| 2.6. Modul <i>Step up</i> DC-DC MT3608.....                                                                   | 15          |
| 2.7. Modul <i>Step down</i> DC-DC XL4005 .....                                                                | 16          |
| 2.8. Baterai.....                                                                                             | 17          |
| 2.9. Inverter.....                                                                                            | 18          |
| 2.10. IoT.....                                                                                                | 18          |
| 2.11. ESP32 board .....                                                                                       | 19          |
| 2.12. Sensor PZEM 004T .....                                                                                  | 20          |

|                                          |                                               |           |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------|
| 2.13.                                    | Sensor PZEM017 .....                          | 21        |
| 2.14.                                    | Modul RS485 to Serial TTL .....               | 21        |
| 2.15.                                    | Sensor INA219 .....                           | 22        |
| 2.16.                                    | Monitoring .....                              | 23        |
| 2.17.                                    | Besaran listrik .....                         | 23        |
| 2.18.                                    | Software Arduino IDE .....                    | 25        |
| 2.19.                                    | <i>Thinger.io</i> .....                       | 28        |
| 2.20.                                    | Metode <i>Fuzzy Logic</i> .....               | 29        |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>   |                                               | <b>30</b> |
| 3.1.                                     | Tempat dan Waktu Penelitian .....             | 30        |
| 3.1.1.                                   | Tempat Penelitian .....                       | 30        |
| 3.1.2.                                   | Waktu Penelitian .....                        | 30        |
| 3.2.                                     | Diagram Alur Penelitian .....                 | 30        |
| 3.3.                                     | Alat dan Bahan .....                          | 32        |
| 3.3.1.                                   | Alat .....                                    | 32        |
| 3.3.2.                                   | Bahan .....                                   | 32        |
| 3.4.                                     | Perancangan dan Pembuatan Sistem .....        | 33        |
| 3.4.1.                                   | Desain Sistem .....                           | 34        |
| 3.4.2.                                   | Gambar Rangkaian Sistem .....                 | 35        |
| 3.4.3.                                   | <i>Flowchart</i> Cara Kerja Sistem .....      | 39        |
| 3.4.4.                                   | Diagram Blok Cara Kerja Sistem .....          | 43        |
| 3.4.5.                                   | Pembuatan dashboard <i>thinger.io</i> .....   | 46        |
| 3.5.                                     | Metode Pengumpulan Data .....                 | 49        |
| 3.5.1.                                   | Observasi ( <i>Observation</i> ) .....        | 49        |
| 3.5.2.                                   | Pengukuran ( <i>Measurement</i> ) .....       | 49        |
| 3.5.3.                                   | Studi Dokumen ( <i>Document Study</i> ) ..... | 49        |
| 3.6.                                     | Metode Analisis Data .....                    | 50        |
| 3.6.1.                                   | Metode Fuzzy Logic .....                      | 50        |
| 3.6.2.                                   | Teknik analisis .....                         | 51        |
| 3.7.                                     | Parameter yang akan dianalisis .....          | 51        |
| 3.8.                                     | Prosedur kerja .....                          | 52        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b> |                                               | <b>54</b> |
| 4.1.                                     | Pendahuluan .....                             | 54        |
| 4.1.1.                                   | Gambaran umum bab .....                       | 54        |
| 4.2.                                     | Hasil implementasi sistem .....               | 55        |

|                            |                                                                            |            |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.1.                     | Spesifikasi panel surya dan penempatan dalam sistem .....                  | 55         |
| 4.2.2.                     | Spesifikasi <i>piezoelectric</i> dan penempatan dalam sistem .....         | 57         |
| 4.2.3.                     | Spesifikasi baterai dan penempatan dalam sistem.....                       | 60         |
| 4.2.4.                     | Spesifikasi inverter dan penempatan dalam sistem .....                     | 61         |
| 4.2.5.                     | Spesifikasi alat monitoring dan penempatan dalam sistem .....              | 62         |
| 4.2.6.                     | Implementasi keseluruhan dan hasil dashboard monitoring.....               | 63         |
| 4.3.                       | Hasil pengukuran parameter sistem.....                                     | 65         |
| 4.3.1.                     | Pengukuran kinerja pembangkit panel surya.....                             | 65         |
| 4.3.2.                     | Pengukuran kinerja pembangkit <i>piezoelectric</i> .....                   | 74         |
| 4.3.3.                     | Pengukuran kinerja inverter.....                                           | 78         |
| 4.4.                       | Pengukuran kinerja pembangkit secara <i>hybrid</i> .....                   | 79         |
| 4.4.1.                     | Kinerja <i>hybrid</i> pada kondisi cenderung cerah .....                   | 80         |
| 4.4.2.                     | Kinerja <i>hybrid</i> pada kondisi hujan.....                              | 81         |
| 4.5.                       | Hasil implementasi fungsi <i>fuzzy logic</i> .....                         | 82         |
| 4.5.1.                     | Implementasi <i>Fuzzy Logic</i> pada Pembangkit Panel Surya.....           | 83         |
| 4.5.2.                     | Implementasi <i>Fuzzy Logic</i> pada Pembangkit <i>Piezoelectric</i> ..... | 90         |
| 4.6.                       | Analisa hasil pengukuran dengan sistem monitoring dan fuzzy logic .....    | 96         |
| 4.6.1.                     | Analisa Perbandingan kinerja pembangkit panel surya.....                   | 96         |
| 4.6.2.                     | Analisa Perbandingan kinerja pembangkit <i>piezoelectric</i> .....         | 98         |
| <b>BAB V</b>               | <b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>                                          | <b>100</b> |
| 5.1.                       | Kesimpulan .....                                                           | 100        |
| 5.2.                       | Saran .....                                                                | 100        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b> |                                                                            | <b>102</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>       |                                                                            | <b>104</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                 |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Gambar 2. 1. Elemen elemen pada lapisan piezoelectric (a) tampak depan (b) tampak samping ..... | 8      |
| Gambar 2. 2. (a) efek piezoelectric langsung (b) efek piezoelectric terbalik .....              | 9      |
| Gambar 2. 3. Piezoelectric terhubung secara seri .....                                          | 10     |
| Gambar 2. 4. Piezoelectric terhubung secara paralel .....                                       | 11     |
| Gambar 2. 5. Panel surya jenis Mono-crystalline .....                                           | 13     |
| Gambar 2. 6. Panel surya jenis Poly-crystalline .....                                           | 14     |
| Gambar 2. 7. Solar Charge Controller (SCC) .....                                                | 15     |
| Gambar 2. 8. Modul step up DC-DC MT3608 .....                                                   | 16     |
| Gambar 2. 9. Modul Step down DC-DC XL4005 .....                                                 | 17     |
| Gambar 2. 10. Baterai .....                                                                     | 17     |
| Gambar 2. 11. Inverter .....                                                                    | 18     |
| Gambar 2. 12. Board ESP32 .....                                                                 | 19     |
| Gambar 2. 13. Sensor PZEM004T .....                                                             | 20     |
| Gambar 2. 14. Sensor PZEM017 .....                                                              | 21     |
| Gambar 2. 15. Modul RS485 to Serial TTL .....                                                   | 22     |
| Gambar 2. 16. Sensor INA219 .....                                                               | 22     |
| Gambar 2. 17. Tampilan interface pada aplikasi Arduino IDE .....                                | 26     |
| Gambar 2. 18. Dashboard Thinger.io dalam tampilan web .....                                     | 28     |
| <br>Gambar 3. 1. Diagram Alur Penelitian .....                                                  | <br>31 |
| Gambar 3. 2. Desain sistem .....                                                                | 34     |
| Gambar 3. 3. Rangkaian sumber pembangkit listrik .....                                          | 35     |
| Gambar 3. 4. Rangkaian sistem monitoring .....                                                  | 36     |
| Gambar 3. 5. Rangkaian keseluruhan .....                                                        | 38     |
| Gambar 3. 6. Flowchart sumber pembangkit listrik .....                                          | 40     |
| Gambar 3. 7. Flowchart sistem monitoring .....                                                  | 42     |
| Gambar 3. 8. Diagram blok sumber pembangkit listrik .....                                       | 44     |
| Gambar 3. 9. Diagram blok sistem monitoring .....                                               | 45     |
| Gambar 3. 10. Antarmuka pendaftaran pada web thinger.io .....                                   | 47     |
| Gambar 3. 11. Antarmuka penambahan device untuk monitor .....                                   | 48     |
| Gambar 3. 12. Antarmuka penambahan widget ke dashboard .....                                    | 49     |
| <br>Gambar 4. 1. Rincian pemasangan panel surya pada sistem .....                               | <br>57 |
| Gambar 4. 2. Konfigurasi pemasangan seri-paralel <i>piezoelectric</i> .....                     | 58     |
| Gambar 4. 3. Visualisasi pemasangan <i>piezoelectric</i> pada sistem .....                      | 60     |
| Gambar 4. 4. Visualisasi pemasangan <i>piezoelectric</i> pada sistem .....                      | 61     |
| Gambar 4. 5. Visualisasi pemasangan inverter dan stop kontak .....                              | 62     |
| Gambar 4. 6. Visualisasi pemasangan sensor dan ESP32 pada sistem .....                          | 63     |
| Gambar 4. 7. Visualisasi sistem terimplementasi secara keseluruhan .....                        | 64     |

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4. 8. Tampilan dashboard monitoring sistem pada platform Thinger.io..                       | 65 |
| Gambar 4. 9. Proses pengambilan data hari pertama .....                                            | 66 |
| Gambar 4. 10. Grafik radiasi matahari, suhu panel, tegangan dan arus terhadap waktu .....          | 68 |
| Gambar 4. 11. Grafik daya terhadap waktu .....                                                     | 69 |
| Gambar 4. 12. Proses pengambilan data hari Kedua .....                                             | 70 |
| Gambar 4. 13. Grafik radiasi matahari dan daya output panel terhadap waktu ....                    | 72 |
| Gambar 4. 14. Grafik suhu panel serta tegangan dan arus terhadap waktu .....                       | 72 |
| Gambar 4. 15. Proses pengambilan data untuk <i>piezoelectric</i> .....                             | 75 |
| Gambar 4. 16. Grafik daya output serta tegangan dan arus terhadap curah hujan                      | 77 |
| Gambar 4. 17. Grafik perbandingan tegangan, arus, dan daya terhadap beban .....                    | 79 |
| Gambar 4. 18. Grafik Membership input 1 (suhu panel) dan input 2 (radiasi matahari) .....          | 83 |
| Gambar 4. 19. Grafik Membership output 1 (tegangan), output 2 (arus) dan output 3 (daya).....      | 84 |
| Gambar 4. 20. Visualisasi <i>rule viewer</i> pengujian pada pembangkit panel surya ..              | 85 |
| Gambar 4. 21. Grafik <i>surface</i> hubungan radiasi matahari dan suhu panel dengan tegangan ..... | 87 |
| Gambar 4. 22. Grafik <i>surface</i> hubungan radiasi matahari dan suhu panel dengan arus .....     | 88 |
| Gambar 4. 23. Grafik <i>surface</i> hubungan radiasi matahari dan suhu panel dengan daya .....     | 89 |
| Gambar 4. 24. Grafik Membership input (curah hujan).....                                           | 90 |
| Gambar 4. 25. Grafik Membership output 1 (tegangan), output 2 (arus) dan output 3 (daya).....      | 91 |
| Gambar 4. 26. Visualisasi <i>rule viewer</i> pengujian pada pembangkit <i>piezoelectric</i>        | 92 |
| Gambar 4. 27. Grafik <i>Surface</i> hubungan curah hujan dengan tegangan.....                      | 94 |
| Gambar 4. 28. Grafik <i>Surface</i> hubungan curah hujan dengan arus .....                         | 94 |
| Gambar 4. 29. Grafik <i>Surface</i> hubungan curah hujan dengan daya.....                          | 95 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 3. 1. Jadwal pelaksanaan penelitian .....                                                        | 30  |
| Tabel 3. 2. Bahan yang akan digunakan.....                                                             | 33  |
| Tabel 4. 1. spesifikasi panel surya GH Solar .....                                                     | 56  |
| Tabel 4. 2. Spesifikasi <i>Piezoelectric</i> .....                                                     | 59  |
| Tabel 4. 3. Pengujian kinerja pembangkit panel surya hari pertama .....                                | 67  |
| Tabel 4. 4. Pengujian kinerja pembangkit panel surya hari Kedua .....                                  | 71  |
| Tabel 4. 5. Pengujian kinerja pembangkit panel surya kondisi hujan.....                                | 73  |
| Tabel 4. 6. Pengujian kinerja pembangkit <i>piezoelectric</i> tampilan dashboard .....                 | 75  |
| Tabel 4. 7. Pengujian kinerja pembangkit <i>piezoelectric</i> menggunakan multitester .....            | 75  |
| Tabel 4. 8. Pengolahan data lebih lanjut untuk memperoleh daya pembangkit <i>piezoelectric</i> .....   | 76  |
| Tabel 4. 9. Pengujian terhadap inverter.....                                                           | 78  |
| Tabel 4. 10. pengujian pembangkit hybrid menggunakan multitester kondisi cenderung cerah .....         | 80  |
| Tabel 4. 11. Pengujian Pembangkit hybrid berdasarkan sensor kondisi cenderung cerah .....              | 81  |
| Tabel 4. 12. pengujian pembangkit hybrid berdasarkan multitester dan sensor kondisi hujan .....        | 82  |
| Tabel 4. 13. Basis aturan (rule base) pada fuzzy pembangkit panel surya.....                           | 85  |
| Tabel 4. 14. Hasil prediksi dari sistem fuzzy logic pada pembangkit panel surya                        | 86  |
| Tabel 4. 15. Basis aturan ( <i>rule base</i> ) pada <i>fuzzy</i> pembangkit <i>piezoelectric</i> ..... | 92  |
| Tabel 4. 16. Hasil prediksi dari sistem fuzzy logic pada pembangkit <i>piezoelectric</i> .....         | 93  |
| Tabel 4. 17. Tabel perbandingan Komprehensif pada pembangkit panel surya...                            | 97  |
| Tabel 4. 17. Tabel perbandingan Komprehensif pada pembangkit <i>piezoelectric</i> ..                   | 98  |
| Tabel 4. 1. spesifikasi panel surya GH Solar .....                                                     | 104 |
| Tabel 4. 2. Spesifikasi <i>Piezoelectric</i> .....                                                     | 105 |



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk yang pesat yang didukung oleh perkembangan teknologi yang pesat juga telah meningkatkan kebutuhan energi listrik secara signifikan di seluruh dunia, termasuk Indonesia. Menurut data yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) dalam Draft Rencana Ketenagalistrikan Nasional pada tahun 2023, konsumsi listrik Indonesia akan meningkat rata-rata 4,8% per tahun hingga tahun 2060 (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2023), mencerminkan tantangan yang dihadapi dalam memenuhi permintaan energi yang diperkirakan meningkat. Mengingat semakin berkurangnya ketergantungan terhadap sumber energi fosil, maka terdapat kebutuhan mendesak untuk mengembangkan sumber energi alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk menjamin keberlanjutan pasokan energi di masa depan (Attallasyah dkk., 2024).

Inovasi yang menjanjikan di bidang energi terbarukan adalah teknologi *piezoelektrik* yang dapat mengubah energi mekanik yang dihasilkan oleh getaran dan tekanan menjadi energi listrik. Sebuah studi oleh (Arbie dkk., 2021) menunjukkan bahwa teknologi *piezoelektrik* dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dalam jumlah besar di lokasi dengan aktivitas mekanik tinggi dan frekuensi getaran yang besar, seperti pada laut lepas atau wilayah dengan intensitas curah hujan yang tinggi. Potensi ini meningkat karena teknologi *piezoelektrik* diintegrasikan ke dalam sistem pembangkit listrik hibrida yang menggabungkan berbagai sumber energi terbarukan seperti tenaga surya atau angin, sehingga

menciptakan solusi yang lebih berkelanjutan dan efisien untuk memenuhi kebutuhan energi di masa depan menjadi lebih relevan dan menarik. Inovasi-inovasi ini tidak hanya mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil, namun juga membantu mengurangi emisi karbon dan mengurangi dampak terhadap lingkungan.

Namun tantangan utama penerapan teknologi *piezoelektrik* terletak pada optimalisasi efisiensi konversi energi dan kebutuhan untuk memantau kinerja sistem secara *real time*. Menurut penelitian (Andre & Arif, 2020), fluktuasi beban mekanis yang tidak dapat diprediksi dapat berdampak signifikan terhadap stabilitas keluaran energi listrik yang dihasilkan dan menimbulkan ketidakpastian pasokan energi. Hal ini menyoroti pentingnya mengembangkan sistem pemantauan yang akurat dan responsif yang dapat menyediakan data real-time mengenai kinerja sistem dan kondisi lingkungan. Sistem pemantauan yang efektif memungkinkan para insinyur dan peneliti untuk meningkatkan efisiensi konversi dan membuat penyesuaian yang diperlukan untuk pengoperasian teknologi *piezoelektrik* yang optimal, sehingga dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap transisi ke sumber energi berkelanjutan dan terbarukan.

Perkembangan Internet of Things (IoT) membuka kemungkinan baru bagi sistem pemantauan energi yang lebih efektif dan efisien. Penelitian terbaru oleh (Herwana, 2024), menunjukkan bahwa penerapan IoT dalam sistem pemantauan energi dapat meningkatkan akurasi pengukuran hingga 98% dan memungkinkan respons *real-time* terhadap perubahan kondisi sistem. Integrasi IoT juga memfasilitasi pengumpulan dan analisis data yang komprehensif untuk mengoptimalkan kinerja sistem.

Penggunaan metode logika *fuzzy* dalam sistem pengendalian dan pemantauan energi telah menunjukkan hasil yang menjanjikan, terutama dalam meningkatkan efisiensi operasional. Studi yang dilakukan oleh (Arigo dkk., 2024), menunjukkan bahwa penerapan logika *fuzzy* dapat memberikan keputusan yang lebih akurat dan responsif dalam menyesuaikan kinerja operasional, sehingga tercapai penghematan energi yang signifikan. Metode ini paling mampu beradaptasi dengan berbagai kondisi pengoperasian dan variabel lingkungan dinamis, sehingga memungkinkan sistem mengambil keputusan manajemen energi yang lebih baik. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk mengatasi ketidakpastian dan kompleksitas yang sering ditemui dalam operasi energi, menjadikannya solusi yang lebih fleksibel dan responsif ketika terjadi perubahan. Oleh karena itu, penggunaan logika *fuzzy* tidak hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga berkontribusi pada pengembangan sistem energi yang lebih cerdas dan berkelanjutan. Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, tujuan penelitian ini adalah merancang dan mengembangkan sistem monitoring konversi energi pada pembangkit listrik *hybrid piezoelektrik* yang terintegrasi dengan teknologi IoT dengan memanfaatkan metode logika *fuzzy*. Sistem ini bertujuan untuk memberikan solusi untuk memantau dan mengoptimalkan kinerja pembangkit listrik *piezoelektrik hybrid* secara real time dan efisien.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, oleh karena itu dapat dirumuskan beberapa rumusan permasalahan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem monitoring konversi energi pada pembangkit listrik *hybrid piezoelectric* Berbasis IoT yang dapat memberikan informasi real-time tentang kinerja sistem?
2. Bagaimana menerapkan metode *Fuzzy Logic* untuk mengoptimalkan proses monitoring dan meningkatkan efisiensi konversi energi pada sistem pembangkit listrik *hybrid piezoelectric*?

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian dan mencapai tujuan yang diharapkan, maka ditentukan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Kapasitas panel surya yang digunakan adalah sebesar 50 Wp.
2. Parameter yang akan dimonitor dalam sistem adalah tegangan luaran (V), arus listrik (A), dan juga daya luaran (W).
3. Implementasi IoT menggunakan *Mikrokontroller NodeMcu ESP32*.
4. Penerapan metode *fuzzy logic* dibatasi pada input berupa tegangan, arus dan daya luaran pada panel surya dan *piezoelectric* menggunakan metode Mamdani atau Sugeno dengan 3 *membership function*.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang dan mengaplikasikan sistem monitoring konversi energi berbasis IoT pada pembangkit listrik *hybrid piezoelectric*.

2. Mengimplementasikan metode *Fuzzy Logic* untuk: Menganalisis efisiensi konversi energi secara *real-time*, memberikan rekomendasi penyesuaian sistem berdasarkan kondisi operasional dan meningkatkan akurasi pengambilan keputusan dalam sistem monitoring.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan kontribusi pada pengembangan teori sistem monitoring energi terbarukan.
2. Menyediakan referensi akademis untuk penelitian selanjutnya dalam bidang energi terbarukan.
3. Memberikan pendekatan inovatif dalam penggunaan *Fuzzy Logic* untuk optimasi sistem energi.
4. Meningkatkan kesadaran akan potensi teknologi *piezoelectric* sebagai sumber energi terbarukan.

## 1.6 Kerangka Penulisan

Adapun kerangka penelitian yang digunakan dalam penulisan penelitian ini sebagai berikut:

### BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini memaparkan beberapa latar belakang yang mendasari penelitian tersebut, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan manfaat penelitian serta kerangka penelitian.

### BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi kajian teori dan penelitian terkait yang menjadi landasan penelitian.

### BAB III : METODE PENELITIAN

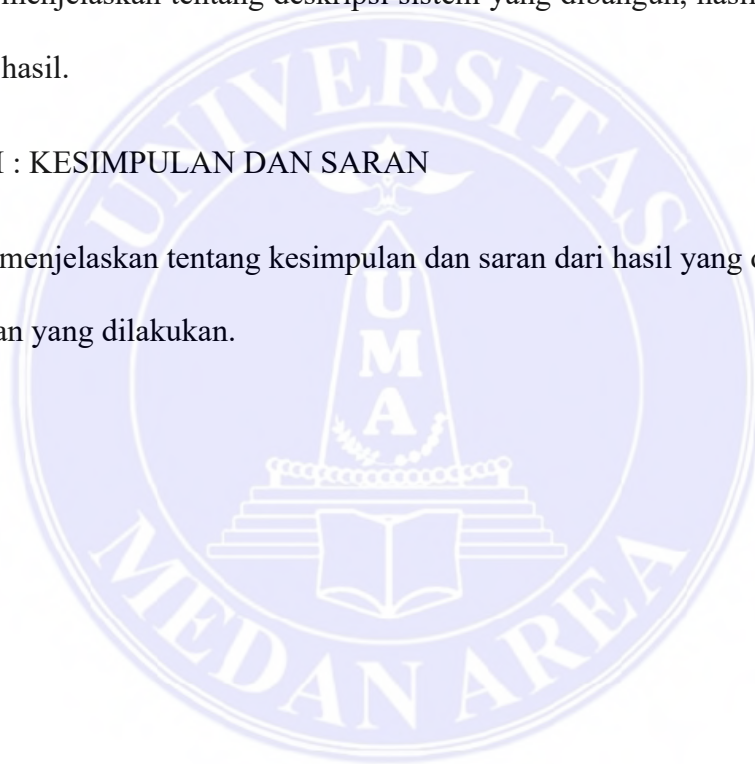
Bab ini menjelaskan tentang metode yang digunakan dalam melakukan penelitian untuk penulisan ini yang meliputi objek penelitian, alur penelitian, metode penelitian, dan metode pengumpulan data penelitian.

### BAB V : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang deskripsi sistem yang dibangun, hasil pengujian, dan analisis hasil.

### BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

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



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Konsep Dasar Energi Terbarukan

Energi terbarukan merupakan sumber energi yang dapat diperbarui secara alami dan berkelanjutan, menjadikannya pilihan penting dalam upaya global untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengatasi perubahan iklim (A. K. N. Al Huda, 2023).

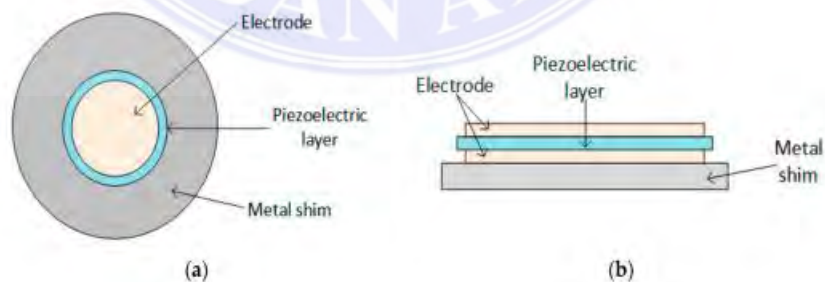
Dalam konteks ini, pengembangan energi terbarukan tidak hanya berfokus pada keberlanjutan, namun juga pada inovasi teknologi yang meningkatkan efisiensi dan efektivitas penggunaannya. Inovasi yang menarik adalah penggunaan efek *piezoelektrik* yang memungkinkan energi mekanik diubah menjadi listrik.

#### 2.2. Sistem Pembangkit Listrik *Hybrid*

Sistem pembangkit listrik *hybrid* adalah sistem pembangkit listrik yang menghasilkan listrik dengan menggabungkan dua atau lebih jenis sumber energi. Dalam mengembangkan sistem ini, perlu untuk meningkatkan stabilitas, efisiensi, dan keandalan pembangkitan energi listrik dengan mengintegrasikan berbagai sumber energi. Menurut (Athar dkk., 2020), Dengan menggabungkan dua atau lebih sumber energi (sistem pembangkitan), dimungkinkan untuk menutupi kelemahan satu sama lain dan mencapai keamanan pasokan dan efisiensi ekonomi pada beban tertentu. Sehingga, sistem *hybrid* dapat memanfaatkan keunggulan masing-masing sumber energi dan beroperasi lebih optimal meskipun kinerja salah satu sumber energi buruk.

### 2.3. Teknologi *Piezoelectric*

*Piezoelektrik* berasal dari kata Latin *piezin* yang berarti ditekan dan *piezo* yang berarti didorong. Bahan piezoelektrik pertama kali ditemukan oleh Jacques dan Pierre Curie sekitar tahun 1880. Kata *piezo* berarti didorong (ditekan), sehingga ketika material diberi tekanan mekanis maka material piezoelektrik akan merespon. Jacques dan Pierre menggabungkan pengetahuan mereka tentang piroelektrisitas. Piroelektrisitas adalah kemampuan material tertentu untuk menghasilkan energi listrik ketika didinginkan atau dipanaskan, sehingga mengarah pada pemahaman tentang perilaku dan struktur material kristal. Lalu mereka kemudian menjadi yang pertama mendemonstrasikan efek *piezoelektrik* menggunakan kuarsa, garam Rossel, manik-manik Cempaka, dan kristal turmalin. Pada saat itu, diketahui bahwa eksperimen dengan garam Rossel dan kristal kuarsa menghasilkan kemampuan *piezoelektrik* terbesar. Dapat disimpulkan bahwa elemen *piezoelektrik* adalah perangkat yang menghasilkan medan listrik ketika perangkat diberi tekanan mekanis (Aryaguna dkk., 2024).



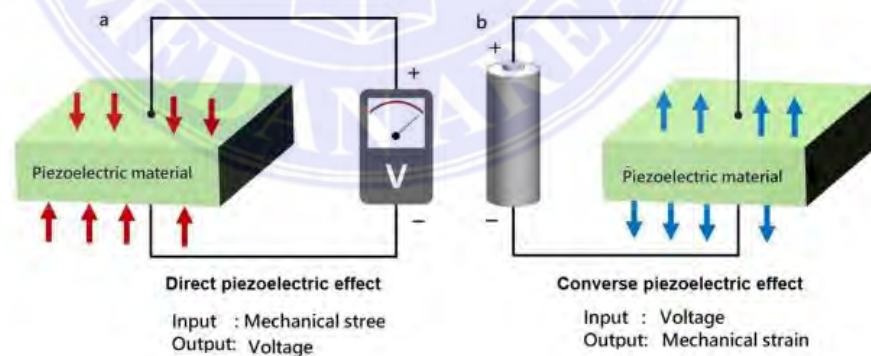
Gambar 2. 1. Elemen elemen pada lapisan *piezoelectric* (a) tampak depan (b) tampak samping

(Aabid dkk., 2021)

Dalam gambar 2.1 menunjukkan Elemen *piezoelectric* tersusun dari elektroda yang terdapat pada lapisan atas dan bawah, *piezoelectric* ceramic berada di lapisan tengah dan *metal plate* atau *metal shim* yang terdapat pada lapisan bawah.

### 2.3.1. Efek *piezoelectric*

Efek *piezoelectric* dihasilkan dari interaksi elektromekanis linier antara bagian mekanik dan listrik kristal. Efek *piezoelectric* menggambarkan hubungan antara tegangan mekanis dan tegangan bolak-balik, artinya dapat menghasilkan efek *piezoelectric* langsung (menghasilkan energi listrik). ketika tegangan mekanis diterapkan dan akan menghasilkan efek *piezoelectric* terbalik (menghasilkan tegangan mekanis dan/atau regangan jika perbedaan tegangan diterapkan) seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.2.

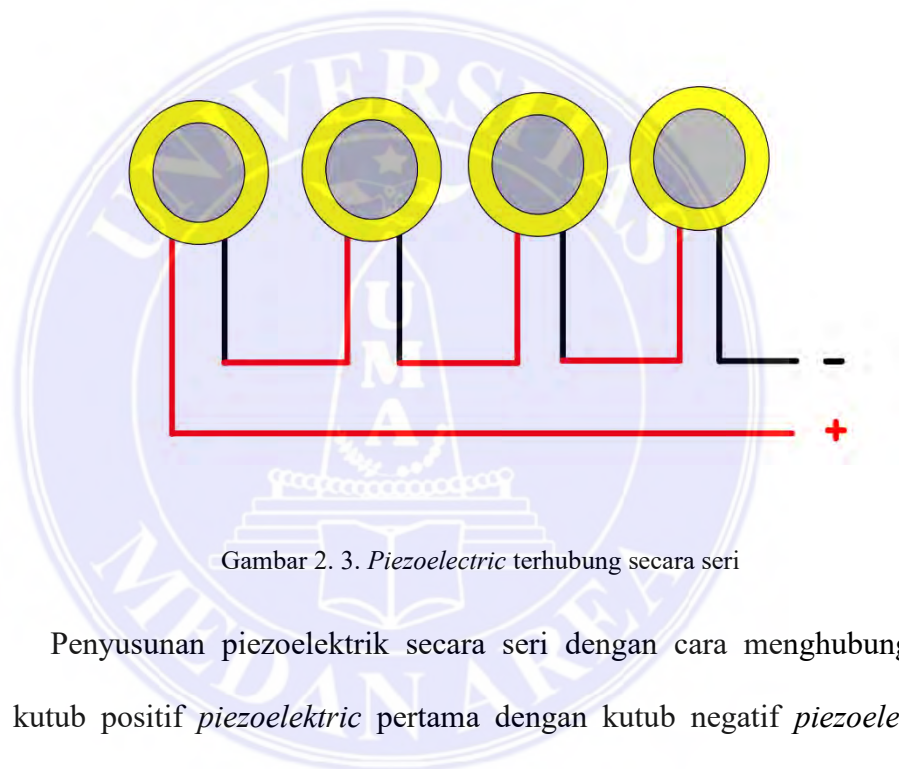


Gambar 2. 2. (a) efek *piezoelectric* langsung (b) efek piezoelectric terbalik  
(Kamel, 2022)

### 2.3.2. Rangkaian pada *piezoelectric*

Untuk dijadikan sebagai pembangkit listrik yang menghasilkan arus dan tegangan maka *piezoelektrik* disusun secara seri atau paralel. Dari penyusunan seri atau paralel akan didapatkan keluaran yang terbesar, dari keluaran tersebut maka dipilihlah susunan yang tepat yang digunakan untuk membuat pembangkit listrik *hybrid piezoelectric*.

#### 1. Rangkaian *piezoelectric* secara seri



Gambar 2. 3. *Piezoelectric* terhubung secara seri

Penyusunan piezoelektrik secara seri dengan cara menghubungkan kutub positif *piezoelektrik* pertama dengan kutub negatif *piezoelektrik* kedua, kutub positif *piezoelektrik* kedua dihubungkan dengan kutub negatif *piezoelektrik* ketiga, dan seterusnya.

Persamaan rumus dalam gambar 2.3. *piezoelctric* terhubung secara seri adalah sebagai berikut :

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \quad (1)$$

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = I_4 \quad (2)$$

Dimana :

$V_T$  : Jumlah Tegangan total *piezoelectric* (V)

$V_1$  : Tegangan yang dihasilkan oleh *piezoelectric* pertama (V)

$V_2$  : Tegangan yang dihasilkan oleh *piezoelectric* kedua (V)

$V_3$  : Tegangan yang dihasilkan oleh *piezoelectric* ketiga (V)

$V_4$  : Tegangan yang dihasilkan oleh *piezoelectric* keempat (V)

$I_T$  : Jumlah Arus total *piezoelectric* (A)

$I_1$  : Arus yang dihasilkan oleh *piezoelectric* pertama (A)

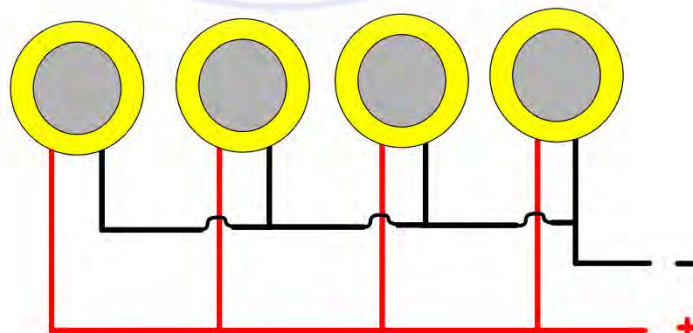
$I_2$  : Arus yang dihasilkan oleh *piezoelectric* kedua (A)

$I_3$  : Arus yang dihasilkan oleh *piezoelectric* ketiga (A)

$I_4$  : Arus yang dihasilkan oleh *piezoelectric* keempat (A)

## 2. Rangkaian *piezoelectric* secara paralel

Penyusunan *piezoelektric* secara paralel dilakukan dengan cara menghubungkan kutub positif empat *piezoelektric* menjadi satu, dan menghubungkan kutub-kutub negatif empat *piezoelektric* menjadi satu seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4. *Piezoelectric* terhubung secara paralel

Persamaan rumus dalam gambar 2.4. piezoelctric terhubung secara pararel adalah sebagai berikut :

$$V_T = V_1 = V_2 = V_3 = V_4 \quad (1)$$

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \quad (2)$$

Dimana :

$V_T$  : Jumlah Tegangan total *piezoelectric* (V)

$V_1$  : Tegangan yang dihasilkan oleh *piezoelectric* pertama (V)

$V_2$  : Tegangan yang dihasilkan oleh *piezoelectric* kedua (V)

$V_3$  : Tegangan yang dihasilkan oleh *piezoelectric* ketiga (V)

$V_4$  : Tegangan yang dihasilkan oleh *piezoelectric* keempat (V)

$I_T$  : Jumlah Arus total *piezoelectric* (A)

$I_1$  : Arus yang dihasilkan oleh *piezoelectric* pertama (A)

$I_2$  : Arus yang dihasilkan oleh *piezoelectric* kedua (A)

$I_3$  : Arus yang dihasilkan oleh *piezoelectric* ketiga (A)

$I_4$  : Arus yang dihasilkan oleh *piezoelectric* keempat (A)

## 2.4. Panel surya

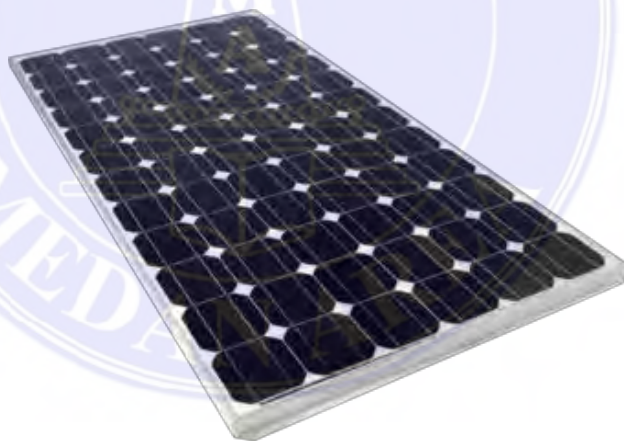
Panel surya terbuat dari semikonduktor yang mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Penggunaannya tergantung pada intensitas cahaya yang mampu diserap panel surya. Daya keluaran panel surya sebanding dengan intensitas cahaya yang diserap. Semakin tinggi intensitas radiasi matahari yang diserap maka semakin tinggi pula energi listrik yang dihasilkan panel surya.

Panel surya saat ini hadir dalam berbagai bentuk dan jenis yang masing-masing memiliki fungsinya masing-masing. Berikut beberapa jenis panel surya yang beredar di pasaran, antara lain:

#### 1. Panel Surya *Mono-crystalline*

*Mono-crystalline* merupakan jenis sel surya yang bahannya berasal dari silisium kristal tunggal yang berbentuk silinder yang diambil dari cairan silisium dan jenis sel surya yang memiliki efisiensi yang paling tinggi yaitu mencapai 16-25% (Gunoto & Sofyan, 2020).

Panel surya jenis ini performanya lebih baik dibandingkan dengan jenis *Poly-crystalline* dalam hal saat cuaca mendung, membuatnya menjadi pilihan utama untuk daerah yang memiliki intensitas hujan yang tinggi atau daerah yang sering dilanda oleh hujan.

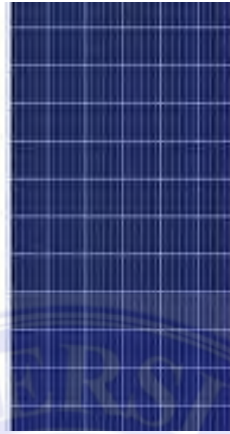


Gambar 2. 5. Panel surya jenis Mono-crystalline

(Sumber : <https://tenagasuryadotblog.wordpress.com/2018/06/28/perbedaan-monocrystalline-vs-polycrystalline/>)

#### 2. Panel Surya *Poly-crystalline*

*Poly-crystalline* merupakan jenis sel surya yang materialnya berasal dari susunan Kristal yang acak dengan efisiensi yang dimiliki sebesar 14-16% (Gunoto & Sofyan, 2020).



Gambar 2. 6. Panel surya jenis *Poly-crystalline*

(Sumber : <https://jarwinn.com/products-category/jual-panel-surya-poly/>)

## 2.5. SCC (*Solar charge controller*)

*Solar charge controller* (SCC) khususnya adalah komponen yang digunakan pada sistem PLTS untuk mengatur pengisian baterai menggunakan panel surya untuk optimasi yang lebih baik. Perangkat ini beroperasi dengan mengatur tegangan dan arus pengisian berdasarkan daya yang tersedia dari susunan modul panel surya dan status pengisian baterai SoC (*State of Charge*).

Secara umum *solar charge controller* (SCC) yang banyak digunakan pada sistem PLTS saat ini memiliki dua tipe utama, yaitu *Pulse Width Modulation* (PWM) dan MPPT (*Maximum Power Point Tracker*). Dalam penelitian ini tipe yang dipakai adalah tipe PWM dimana Sistem kerja dari SCC PWM menggunakan lebar pulse dari on dan off listrik, sehingga menciptakan seakan-akan *sine wave electrical form*. Tegangan kerja PWM hanya bisa menyesuaikan dengan tegangan kerja

baterai, sehingga jika tegangan yang dihasilkan panel surya di bawah tegangan kerja baterai maka secara otomatis sistem panel surya tidak bisa melakukan pengisian ke baterai (Gunoto & Sofyan, 2020).



Gambar 2. 7. *Solar Charge Controller (SCC)*

(Gunoto & Sofyan, 2020)

## 2.6. Modul *Step up* DC-DC MT3608

Modul MT3608 adalah konverter DC-DC tipe step-up yang menaikkan tegangan listrik dari sumber daya DC dengan rentang input 2V hingga 24V menjadi tegangan output yang lebih tinggi, yaitu antara 5V hingga 28V, dengan kestabilan output yang sangat baik; modul ini bekerja dengan prinsip pengaturan arus dan penyimpanan energi di induktor internal yang kemudian dilepaskan secara terkendali sehingga tegangan naik sesuai pengaturan, yang dapat disesuaikan pengguna melalui putaran skrup pengatur pada modul untuk menyesuaikan tegangan output sesuai kebutuhan, serta dirancang dengan batas maksimum arus keluaran hingga 2A agar kinerja tetap optimal dan mencegah kerusakan pada modul maupun perangkat yang terhubung.

Dalam penelitian ini modul *step up* DC-DC MT3608 digunakan pada *piezoelectric*, dimana modul ini digunakan untuk menstabilkan tegangan dan menboost up arus serta tegangan dari *piezoelectric*.



Gambar 2. 8. Modul *step up* DC-DC MT3608

(Sumber : <https://id.szks-kuongshun.com/uno/uno-board-shield/mt3608-2a-max-dc-dc-step-up-power-module-booster-p.html>)

## 2.7. Modul *Step down* DC-DC XL4005

Modul *step down* Tujuan dari konverter DC-DC XL4005 adalah untuk mengubah tegangan dari level yang lebih tinggi ke level yang lebih rendah, dengan kemampuan untuk menyesuaikan output antara 2V dan 30V dan arus maksimum 5A. Dalam praktiknya, ini berarti bahwa input tegangan yang lebih tinggi dapat diubah menjadi output yang diinginkan dengan cara yang efisien, dengan penyesuaian yang dapat dilakukan dengan menggunakan potensiometer pada modul, yang memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan output sesuai dengan kebutuhan aplikasi yang berbeda (ZhetyawanA dkk., 2022).

Modul *step down* DC-DC XL4005 dalam penelitian ini digunakan untuk menurunkan tegangan baterai 12V ke 5V sebagai suplai untuk tegangan input untuk

ESP32, vcc dan gnd untuk sensor PZEM004T, sensor PZEM017 dan juga RS485 serta sensor INA219.



Gambar 2. 9. Modul *Step down* DC-DC XL4005  
(Sumber : <https://ecadio.com/jual-xl4005-step-down>)

## 2.8. Baterai

Baterai adalah perangkat yang digunakan untuk menyimpan energi dalam bentuk kimia dan mengubahnya menjadi energi listrik bila diperlukan. Baterai terbuat dari sel kimia yang menghasilkan tegangan ketika dihubungkan dalam rangkaian listrik. Hal ini memungkinkan baterai digunakan sebagai sumber daya portabel untuk berbagai perangkat elektronik, kendaraan listrik, dan sistem penyimpanan energi lainnya.



Gambar 2. 10. Baterai

(Sumber : <https://www.motobatt.co.id/products/mtz5s/>)

## 2.9. Inverter

Inverter adalah suatu alat yang mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) sesuai dengan kebutuhan peralatan listrik. Perangkat ini mengubah arus searah yang dihasilkan panel surya menjadi arus bolak-balik untuk digunakan pada berbagai perangkat yang membutuhkan arus bolak-balik.



Gambar 2. 11. Inverter

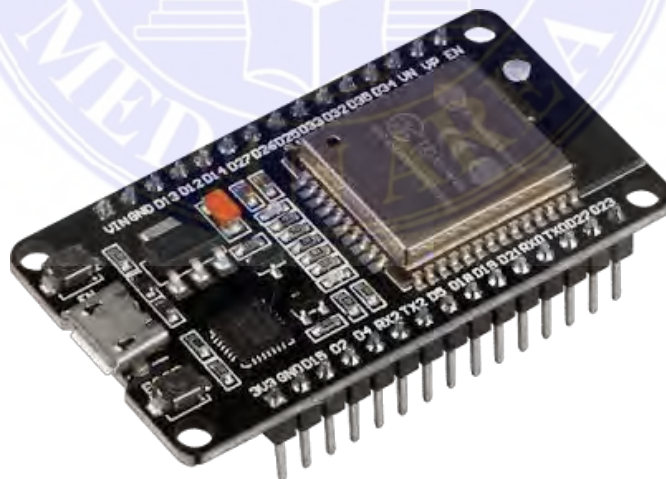
(Sumber : <https://www.lazada.co.id/products/termurah-power-inverter-mitsuyama-500-watt-ms-inv500w-rubah-dc-menjadi-ac-inverter-50watt-buraqshop-i1168946244.html>)

## 2.10. IoT

IoT adalah singkatan dari *Internet of Things*, dalam bahasa Indonesia dapat diterjemahkan sebagai "*Internet of Things*". IoT mengacu pada jaringan perangkat fisik yang terhubung ke Internet, yang dapat berkomunikasi satu sama lain dan berbagi data. Perangkat IoT dapat berkisar dari perangkat elektronik konsumen, seperti lampu pintar dan perangkat rumah pintar, hingga perangkat industri dan infrastruktur, seperti sensor suhu, sistem pemantauan keamanan, atau perangkat medis yang terhubung (Ritonga, 2024).

### 2.11. ESP32 board

ESP32 adalah chip WiFi dan Bluetooth 2,4 GHz dengan teknologi 40 nm yang dirancang untuk radio terbaik dan efisiensi daya, terbukti kuat, fleksibel, dan andal dalam berbagai aplikasi dan situasi energi. ESP32 merupakan modul mikrokontroler dengan fitur dual-mode yaitu Wifi dan Bluetooth yang digunakan untuk membantu pengguna dengan mudah membangun berbagai sistem aplikasi dan proyek berbasis IoT (*Internet of Things*). ESP32 adalah mikrokontroler yang diperkenalkan oleh *Espressif Systems* dan merupakan penerus ESP8266, ESP32 memiliki banyak fitur dan keunggulan tambahan dibandingkan generasi sebelumnya. ESP32 memiliki CPU dan inti Wi-Fi yang lebih cepat, lebih banyak GPIO dan dukungan Bluetooth 4.2 serta konsumsi daya yang lebih rendah, sehingga sangat cocok untuk membuat beberapa proyek elektronik berbasis *Internet of Things* (Nugraha, 2024). Berikut adalah bentuk fisik ESP32 board yang ditunjukkan dalam gambar 2.11.



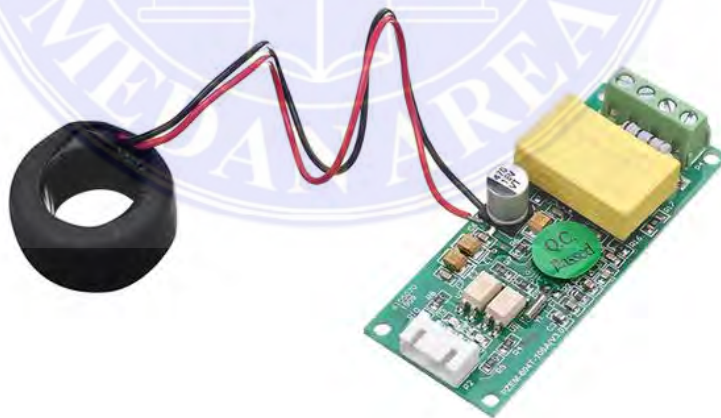
Gambar 2. 12. Board ESP32

(Sumber : <https://raharja.ac.id/2021/11/16/mikrokontroler-esp32-2/>)

## 2.12. Sensor PZEM 004T

Sensor PZEM-004T merupakan sensor yang dapat mengukur nilai arus, tegangan, daya dan energi dari penggunaan listrik AC dengan tingkat akurasi pengukuran yang cukup baik. Sensor ini mengeluarkan output dengan komunikasi serial. Modul PZEM-004T diproduksi oleh perusahaan bernama Peacefair, ada model 10 Ampere dan 100 Ampere (Widodo dkk., 2022).

Modul PZEM-004 T memerlukan catu daya sebesar 5VDC, modul ini menggunakan komunikasi serial RX TX untuk mengirim dan menerima data ke mikrokontroler. Selain itu modul ini juga dapat menyimpan nilai kWh yang dibaca oleh modul. Jadi jika modul ini dalam keadaan mati atau tidak ada tegangan maka modul ini akan mencatat nilai kWh dan ketika modul ini dihidupkan kembali maka nilai kWh akan terus terbaca dari nilai kWh terakhir. Sensor ini dapat digunakan untuk Arduino, ESP8266, ESP32, Raspberry Pi atau platform *open source* lainnya (Dwi Alfian dkk., 2021).



Gambar 2. 13. Sensor PZEM004T

(Sumber : [https://www.nn-digital.com/blog/2019/08/15/contoh-program-interfacing-pzem-004t-v3-v3-0-dengan-menggunakan-arduino/#google\\_vignette](https://www.nn-digital.com/blog/2019/08/15/contoh-program-interfacing-pzem-004t-v3-v3-0-dengan-menggunakan-arduino/#google_vignette))

### 2.13. Sensor PZEM017

PZEM-017 adalah modul komunikasi DC yang mampu mengukur daya DC hingga 300 V DC dan mengukur arus dalam rentang pemasangan shunt eksternal dari 50 A hingga 300 A (Dwi Alfian dkk., 2021). PZEM-017 adalah modul yang diproduksi oleh Peacefair, merek terkenal Tiongkok. berkualitas dan harga terjangkau serta khusus menghitung produk. Modul ini dapat mengukur tegangan, arus, daya dan energi. Semua pengukur energi seri PZEM memiliki antarmuka komunikasi RS485 terintegrasi menggunakan protokol Modbus-RTU yang sama seperti kebanyakan perangkat industri.



Gambar 2. 14. Sensor PZEM017

(Sumber : <https://shopee.co.id/PZEM-017-300A-0-300V-DC-Watt-Meter-Voltage-Current-Power-Energy-Sensor-Module-RS485-w-Shunt-Resistor-i.5623654.8559823517>)

### 2.14. Modul RS485 to Serial TTL

Modul RS485 to Serial TTL merupakan modul yang digunakan sebagai media konversi antara komunikasi RS485 dan komunikasi serial (TTL). Modul ini

dapat digunakan pada mikrokontroler untuk berkomunikasi, membaca atau mengeluarkan perintah ke perangkat yang menggunakan komunikasi RS485.

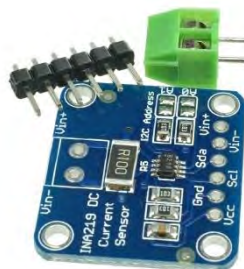


Gambar 2. 15. Modul RS485 to Serial TTL

(Sumber : <https://ecadio.com/modul-rs-485-to-serial-ttl>)

### 2.15. Sensor INA219

Sensor INA219 adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur arus, tegangan, dan daya dalam sistem elektronik. Sensor ini sering digunakan dalam manajemen energi untuk berbagai aplikasi, termasuk sistem pengawasan. Menurut (Rozaq, 2022), efisiensi dan akurasi pengukuran yang tinggi dari sensor ini membuatnya menjadi pilihan populer untuk proyek-proyek yang membutuhkan pemantauan daya secara real-time.



Gambar 2. 16. Sensor INA219

(Sumber : <https://www.aksesoriskomputerlampung.com/2020/12/ina219-i2c-dc-sensor.html>)

## 2.16. Monitoring

Monitoring adalah proses pengawasan dan pemantauan secara terus-menerus terhadap suatu sistem, aktivitas, atau kondisi dengan tujuan mengumpulkan informasi yang relevan mengenai perkembangan atau perubahan yang sedang berlangsung. Hal ini melibatkan pengumpulan data secara periodik atau berkelanjutan, analisis data dan tindakan yang diperlukan berdasarkan hasil pemantauan. Penerapan pengawasan dapat diterapkan dalam berbagai konteks, termasuk lingkungan, teknologi informasi, layanan kesehatan, keamanan, produksi industri, dan banyak bidang lainnya. Contoh pemantauan mencakup pemantauan lingkungan untuk memantau kualitas udara atau air, pemantauan jaringan komputer untuk memantau kinerja dan keamanan sistem, dan pemantauan kesehatan pasien di lingkungan klinis.

## 2.17. Besaran listrik

Besaran adalah segala sesuatu yang dapat dihitung, diukur dan dinyatakan sebagai suatu bilangan atau nilai, contoh besaran dalam ilmu kelistrikan adalah tegangan, arus, daya listrik dan besaran lainnya.

### 1. Tegangan

Menurut Setiawan (2022), tegangan merupakan komponen utama listrik. Klasifikasi sistem tegangan adalah:

- a. Tegangan sangat rendah: Tegangan yang memiliki rating arus bolak-balik (AC) hingga 50 V atau arus searah (DC) 120 V

Catatan: Tegangan sangat rendah adalah sistem kelistrikan yang aman bagi manusia.

- b. Tegangan Rendah (TR): Tegangan mempunyai nilai maksimum 1000 V (AC) atau 1500 V (DC).
- c. Tegangan di atas 1000 V (AC) mencakup:
  - Tegangan menengah (TM), tegangan diatas 1 Kv s/d 35 kV (AC), digunakan terutama di sistem distribusi.
  - Tegangan tinggi (TT), tegangan lebih dari 35 kV (AC).

Satuan tegangan listrik adalah Volt (V), Tegangan listrik dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$V = I \times R$$

Dimana :

V = Tegangan Listrik (Volt/V)

I = Arus Listrik (Ampere/A)

R = Hambatan atau Tahanan Listrik (Ohm)

## 2. Arus

Menurut (Setiawan, 2022), Arus listrik merupakan salah satu dari komponen utama pengertian listrik yang umum diketahui masyarakat umum. Arus dapat mengalir jika ada benda yang dilalui arus. Media yang dapat mengalirkan listrik disebut konduktor (bahan terbuat dari logam dan air). Satuan arus listrik adalah Ampere (A). Arus dapat direpresentasikan sebagai berikut:

$$I = \frac{V}{R}$$

Dimana :

I = Arus Listrik (Ampere/A)

V = Tegangan Listrik (Volt/V)

$R$  = Hambatan atau Tahanan (Ohm)

Arus listrik Dibagi menjadi dua bagian yaitu :

- a. Arus listrik searah (DC).
- b. Arus listrik bolak balik (AC).

### 3. Daya

Menurut (Setiawan, 2022), listrik banyak dikenal masyarakat sebagai energi riil/nyata, energi listrik dikenal masyarakat sebagai cahaya dari lampu, televisi dan alat-alat elektronik lainnya yang sumber energinya adalah listrik.

Daya listrik adalah banyaknya energi listrik yang digunakan dalam satu detik. Satuan daya listrik adalah watt, 1 watt = 1 Joule/detik. Secara matematis persamaan daya listrik dapat direpresentasikan sebagai:

$$P = \frac{W}{t}$$

Dimana :

$P$  = Daya listrik (Watt/W)

$W$  = Energi listrik (Joule/J)

$t$  = Waktu (sekon atau detik/s)

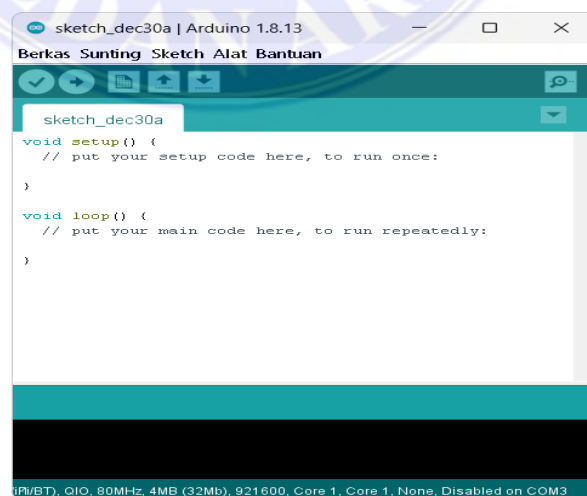
#### 2.18. Software Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk memprogram pada Arduino, atau dengan kata lain Arduino IDE adalah perangkat lunak yang mendukung pemrograman untuk papan

Arduino. Arduino IDE dapat diunduh secara gratis dari situs resmi Arduino IDE. Arduino IDE ini berguna sebagai editor teks untuk membuat, mengedit dan memvalidasi kode program juga dapat digunakan untuk diunggah ke papan Arduino. Kode program yang digunakan pada Arduino disebut “*sketch*” Arduino, atau juga dikenal sebagai kode sumber Arduino, dengan ekstensi file sumber code.ino.

### 1. Bagian-bagian Arduino IDE

Editor pemrograman sering kali memiliki fungsi potong/tempel dan fungsi cari/ganti teks, seperti halnya Arduino IDE. Dalam deskripsi, aplikasi memberikan pesan umpan balik saat menyimpan dan mengekspor dan di mana kesalahan ditampilkan. Konsol log menampilkan teks log aktivitas Arduino IDE, termasuk pesan kesalahan lengkap dan informasi lainnya, dapat dilihat dalam Gambar 2.15. Sudut kanan bawah menunjukkan port serial yang digunakan. Tombol Toolbar berisi ikon pintasan untuk menguji dan mengunduh program, membuat, membuka, dan menyimpan sketsa, serta membuka monitor serial.



Gambar 2. 17. Tampilan interface pada aplikasi Arduino IDE

## 2. *Sketch* arduino

Pada Arduino bahasa pemrograman yang digunakan adalah C/C++. Program Arduino dibagi menjadi 3 bagian utama yaitu: Struktur, Nilai (berisi variabel dan konstanta) dan yang terakhir adalah *function*.

### a. Struktur

Struktur kode pada Arduino berisi fungsi *setup()* dan *loop()*.

- *Setup()*

fungsi ini dipanggil pertama kali ketika menjalankan sebuah *sketch*. digunakan sebagai tempat inisialisasi *variable*, pin mode, penggunaan *library* dan lainnya. fungsi ini dijalankan sekali ketika *board* dinyalakan atau di reset ulang.

- *Loop()*

Setelah membuat fungsi *setup()* sebagai tempat inisialisasi variabel dan menetapkan nilai maka selanjutnya adalah membuat fungsi *loop()* seperti namanya fungsi ini akan melakukan perulangan berturut-turut, memungkinkan program untuk mengubah dan menanggapi. digunakan untuk mengontrol *board* Arduino.

### b. Nilai

Berisi variabel atau konstanta tergantung pada *type* data yang didukung oleh Arduino.

### c. Function

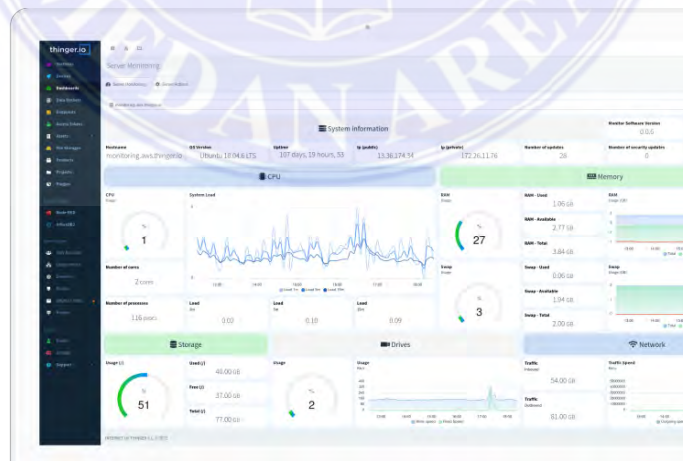
Menyegmentasikan kode ke dalam fungsi memungkinkan pemrogram membuat potongan kode modular yang melakukan

tugas yang ditentukan, kemudian kembali ke kode sumber tempat fungsi tersebut dipanggil.

## 2.19. *Thingier.io*

Thingier.io adalah platform Internet of Things (IoT) yang dirancang untuk memudahkan pengguna dalam menghubungkan, berkomunikasi, dan memelihara perangkat IoT dengan cara yang efisien melalui antarmuka yang mudah digunakan dan intuitif.

Platform ini menawarkan berbagai fitur yang memungkinkan pengumpulan data secara real-time, integrasi perangkat yang dinamis, serta analisis dan visualisasi data. Hal ini menjadikannya pilihan yang menarik dan fleksibel untuk berbagai aplikasi IoT modern, mulai dari pemeliharaan lingkungan, otomatisasi rumah, hingga sistem manajemen energi. Dengan antarmuka yang mudah digunakan dan skalabilitas yang tinggi, Thingier.io merupakan solusi yang tepat bagi para calon peneliti dan pelajar (Rizki Andika, 2022)

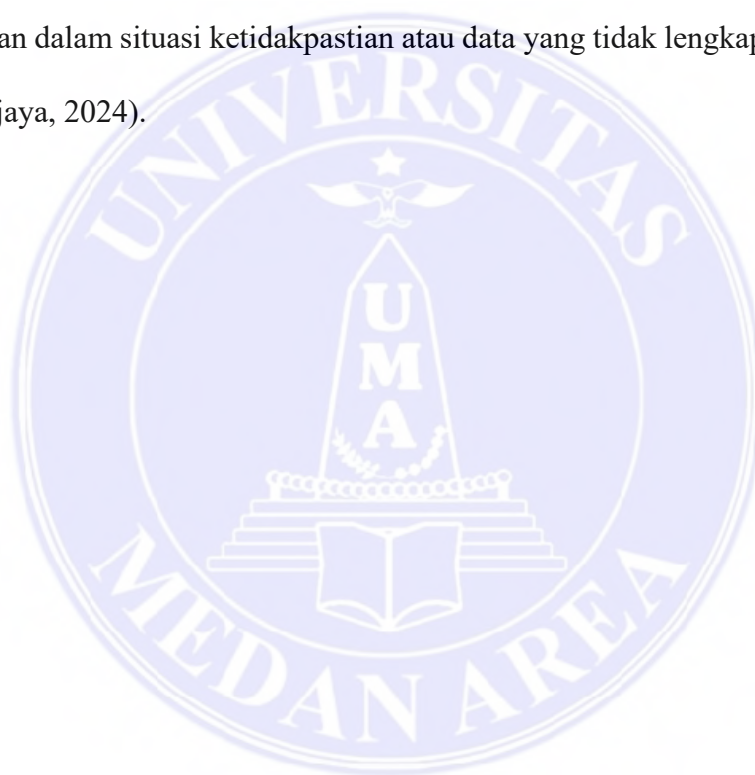


Gambar 2. 18. Dashboard Thingier.io dalam tampilan web

(Sumber : [https://thingier.io.translate.google/?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=id&\\_x\\_tr\\_hl=id&\\_x\\_tr\\_pto=i mgs](https://thingier.io.translate.google/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=i mgs))

## 2.20. Metode *Fuzzy Logic*

Metode *fuzzy* merupakan metode yang digunakan untuk memecahkan permasalahan ketidakpastian dan ambiguitas dalam proses pengambilan keputusan. Berbeda dengan logika klasik yang hanya mengenal dua nilai kebenaran (benar atau salah, 1 atau 0), logika *fuzzy* memperkenalkan konsep derajat keanggotaan yang memungkinkan sesuatu memiliki nilai yang bervariasi antara 0 hingga 1. Cara ini berguna dalam sistem yang memerlukan fleksibilitas, seperti pengambilan keputusan dalam situasi ketidakpastian atau data yang tidak lengkap (Inkiriwang & Pramadjaya, 2024).



## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

##### 3.1.1. Tempat Penelitian

Tempat penelitian ini dilaksanakan di CV. AB. Electronics yang beralamat di Gang Setia No.39/12, Jalan Gurilla, Sei Kera Hilir I, Medan Perjuangan, Kota Medan.

##### 3.1.2. Waktu Penelitian

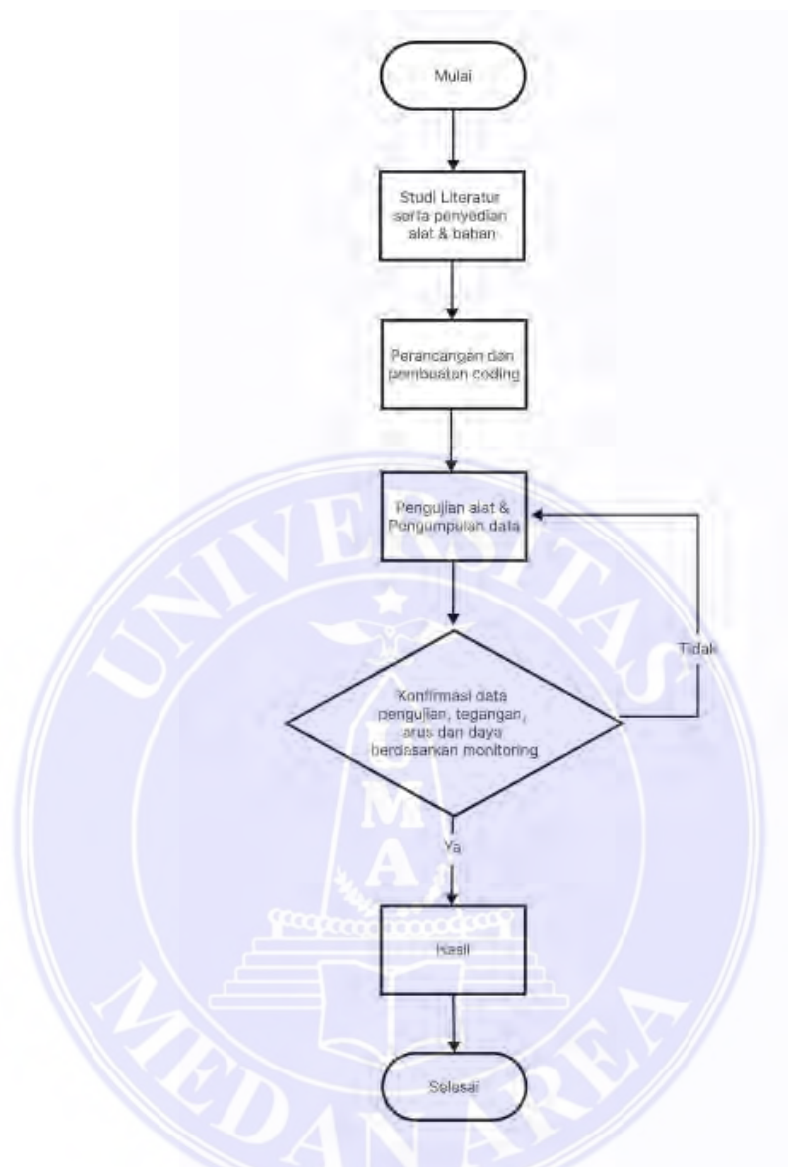
Waktu penelitian yang dibutuhkan dalam membuat penelitian ini kurang lebih memerlukan waktu 3 bulan, berikut adalah jadwal pelaksanaan penelitian yang dapat dilihat pada tabel 3.1 :

Tabel 3. 1. Jadwal pelaksanaan penelitian

| No | Kegiatan Penelitian                             | Bulan |   |   |   |     |   |   |   |      |   |   |   |
|----|-------------------------------------------------|-------|---|---|---|-----|---|---|---|------|---|---|---|
|    |                                                 | April |   |   |   | Mei |   |   |   | Juni |   |   |   |
|    |                                                 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1   | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 |
| 1  | Studi literatur serta penyediaan alat dan bahan |       |   |   |   |     |   |   |   |      |   |   |   |
| 2  | Perancangan alat dan pembuatan coding           |       |   |   |   |     |   |   |   |      |   |   |   |
| 3  | Pengujian alat dan pengumpulan data             |       |   |   |   |     |   |   |   |      |   |   |   |
| 4  | Analisa data                                    |       |   |   |   |     |   |   |   |      |   |   |   |
| 5  | Penyusunan laporan sesuai data                  |       |   |   |   |     |   |   |   |      |   |   |   |

#### 3.2. Diagram Alur Penelitian

Diagram alur penelitian dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 3. 1. Diagram Alur Penelitian

Diagram Alur penelitian :

1. Meneliti studi literatur atau referensi terkait dengan penelitian serta penyediaan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian.
2. Perancangan dan pembuatan coding
3. Pengujian dan pengumpulan data terhadap penelitian
4. Validasi hasil pengumpulan data

5. Analisa data dan hasil didapatkan

### 3.3. Alat dan Bahan

Penelitian ini memanfaatkan berbagai komponen elektronik dan perangkat lunak untuk membangun sistem monitoring konversi energi pada pembangkit listrik *hybrid piezoelectric* berbasis IoT. Alat dan bahan yang digunakan meliputi:

#### 3.3.1. Alat

Adapun alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Personal Computer* (PC) atau Laptop : untuk membuat program dan diunggah ke perangkat IoT
2. Solder Listrik : untuk melelehkan timah perekat komponen
3. Timah : untuk merekatkan komponen dengan kabel
4. Bor Listrik : untuk membuat lubang pada bahan
5. Gerinda : untuk memotong bahan
6. Tang potong : untuk memotong kabel
7. Obeng : Untuk mengencangkan dan mengendurkan sekrup pada komponen
8. Mesin Las Listrik : Untuk melelehkan kawat las atau batang elektroda
9. Kawat las : untuk merekatkan sambungan antar besi

#### 3.3.2. Bahan

Adapun bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3. 2. Bahan yang akan digunakan

| No | Komponen                             | Spesifikasi                            | Jumlah   |
|----|--------------------------------------|----------------------------------------|----------|
| 1  | Panel Surya                          | 50 Wp Monocrystalline                  | 1 buah   |
| 2  | Piezoelectric                        | 22 mm                                  | 100 buah |
| 3  | Solar Charge Control (SCC)           | Type PWM 10 A                          | 2 buah   |
| 4  | Baterai                              | 12 Volt, 6 Ah                          | 1        |
| 5  | DC-DC Konverter                      | MT3608 Step Up dan<br>XL4005 Step Down | 2 buah   |
| 6  | Inverter                             | 500 Watt                               | 1 buah   |
| 7  | Miniatur Circuit Breaker<br>(MCB) DC | 6 A                                    | 2 buah   |
| 8  | Miniatur Circuit Breaker<br>(MCB) AC | 220 V, 4 A                             | 1 buah   |
| 9  | Modul Sensor INA219                  | I2C                                    | 1 buah   |
| 10 | Modul ESP32                          | Perangkat IoT                          | 1 buah   |
| 11 | Modul Sensor PZEM AC                 | PZEM004T                               | 1 buah   |
| 12 | Modul Sensor PZEM DC                 | PZEM017                                | 2 buah   |
| 13 | Modul RS485 to TTL                   | Connection to RX & TX                  | 1 buah   |
| 14 | Kabel Pelangi                        | Plat rainbow                           | 2 rol    |
| 15 | Kabel NYAF                           | 2,5 mm <sup>2</sup>                    | 5 meter  |
| 16 | Plastik mika                         | 100 x 90 cm                            | 1 gulung |
| 17 | Besi Hollow                          | 3 mm                                   | 2 batang |
| 18 | Panel Box                            | 30 x 40 x 18                           | 1 buah   |
| 19 | Terminal Blok                        | In 1 Out 4                             | 2 buah   |

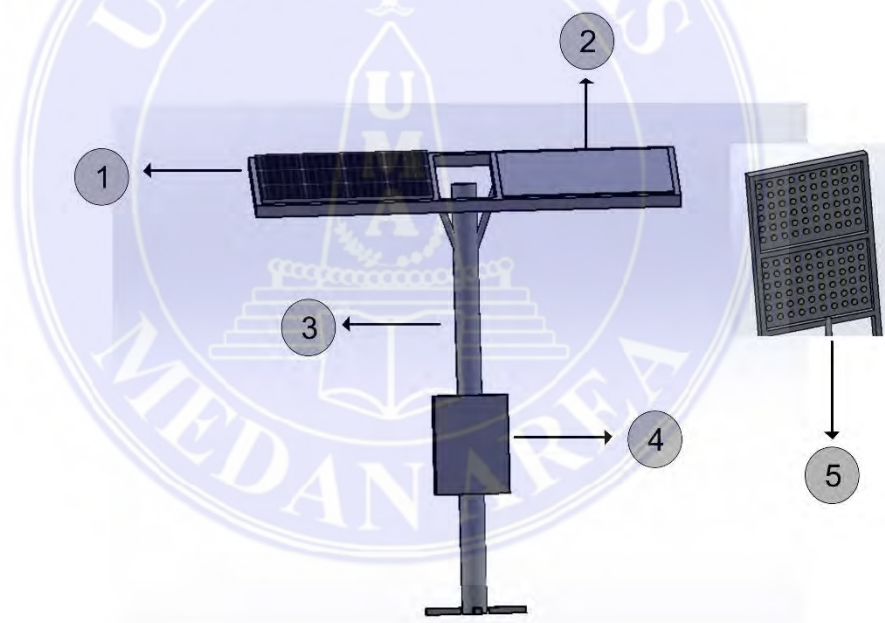
### 3.4. Perancangan dan Pembuatan Sistem

Penelitian ini mencakup perancangan dan konstruksi sistem pemantauan yang kompleks untuk mengevaluasi kinerja pembangkit listrik *hybrid piezoelectric*

berbasis IoT. Sistem dirancang untuk mengumpulkan data secara *real time*, mengolahnya menggunakan metode *Fuzzy Logic*, dan menyajikan hasilnya dalam bentuk yang mudah dipahami. Berikut adalah beberapa penjelasan tentang rancangan yang dapat memperlihatkan gambaran alat :

### 3.4.1. Desain Sistem

Dalam pembuatan sistem monitoring konversi energi pada pembangkit listrik *hybrid piezoelectric* berbasis IoT ini, desain sistem memainkan peran penting sebagai visualisasi dari sistem yang akan dibangun. Berikut adalah gambar desain sistem yang dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2. Desain sistem

Keterangan :

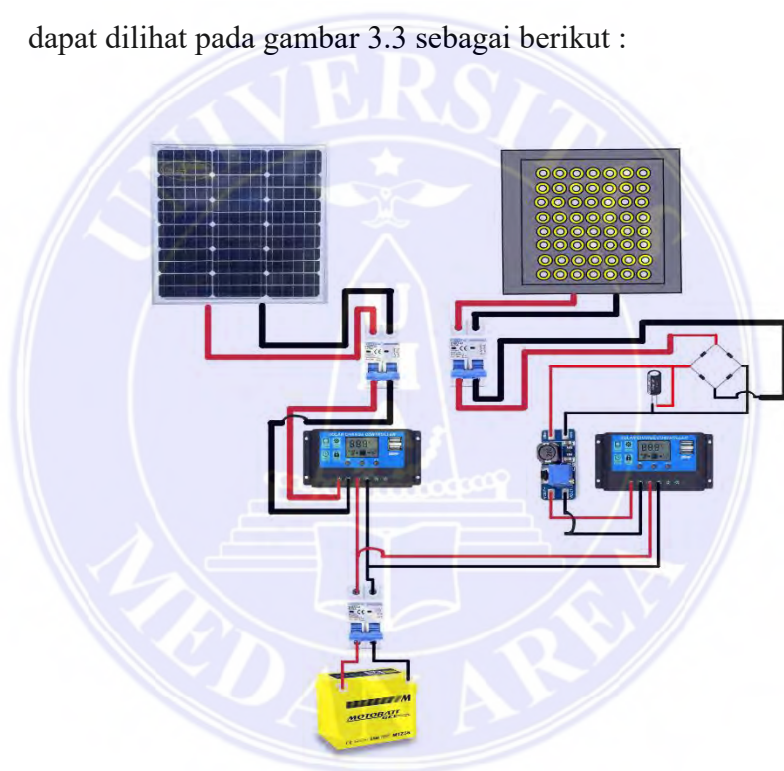
- |                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| 1. Panel surya              | 4. Panel box            |
| 2. Plastik mika             | 5. <i>piezoelectric</i> |
| 3. Besi <i>hollow</i> bulat |                         |

### 3.4.2. Gambar Rangkaian Sistem

Gambar Rangkaian sistem terbagi menjadi tiga bagian agar memudahkan pembuatan sistem secara *real* yaitu: gambar rangkaian sumber pembangkit listrik, gambar rangkaian sistem monitoring dan juga gambar keseluruhan sistem.

#### 1. Gambar rangkaian sumber pembangkit listrik

Berikut adalah gambar rangkaian sumber pembangkit listrik yang dapat dilihat pada gambar 3.3 sebagai berikut :



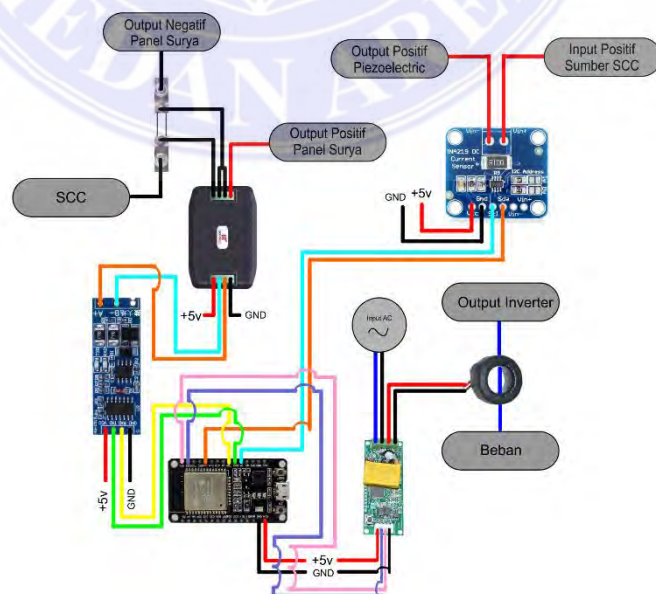
Gambar 3. 3. Rangkaian sumber pembangkit listrik

Pada rangkaian sumber pembangkit listrik terdapat dua sumber pembangkit yang terhubung secara *hybrid* yaitu: panel surya dan juga *piezoelectric*. Dimana pada panel surya output keluaran dari panel surya akan dihubungkan menuju ke *Solar Charge Control* (SCC) yang fungsinya untuk mengatur keluar dan masuknya tegangan menuju ke

baterai. SCC juga mencegah terjadinya baterai mengalami *overcharging* dan *discharging* yang dapat merusak baterai. Lalu pada *piezoelectric* output keluaran tidak langsung menuju ke baterai melainkan tegangan akan distabilkan oleh penyearah gelombang penuh terlebih dahulu yang terdiri dari 4 buah dioda dan juga 1 buah kapasitor dan selanjutnya akan dinaikkan tegangannya dengan DC-DC konverter yang selanjutnya akan dialirkan menuju SCC, dimana SCC disisi *piezoelectric* hanya dimanfaatkan fungsi *overcharging* nya dan langsung dialirkan menuju ke baterai.

## 2. Gambar rangkaian sistem monitoring

Berikut adalah gambar rangkaian sistem monitoring yang dapat dilihat pada gambar 3.4 sebagai berikut :



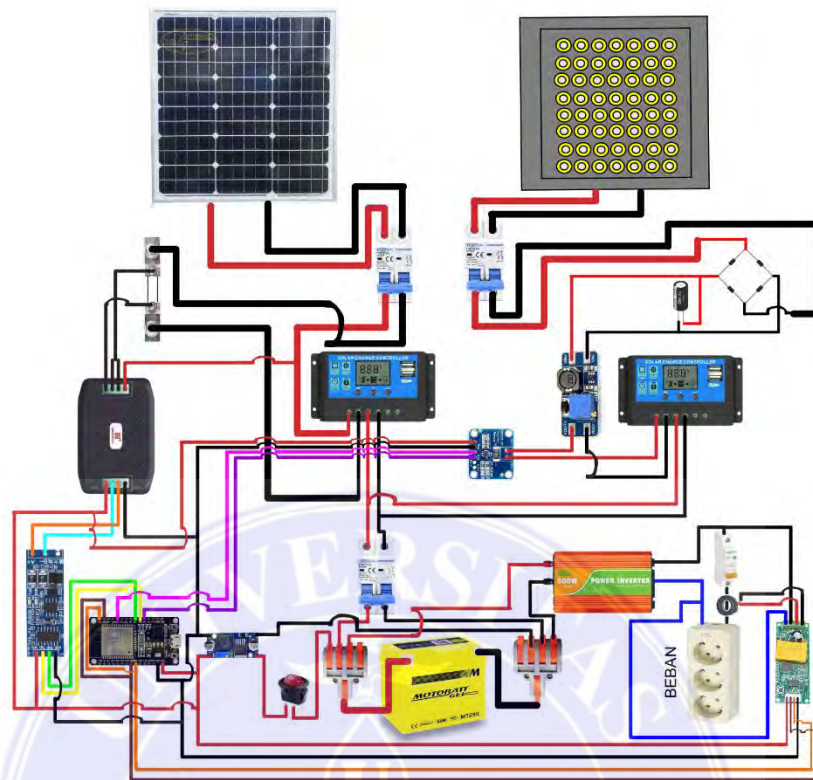
engontrol

utama untuk memonitoring tegangan, arus dan daya pada sumber

pembangkit listrik *hybrid* yang menggunakan sensor PZEM sebagai pendeteksi adanya tegangan, arus dan daya yang mengalir dari sumber pembangkit dan juga pemakaian beban. Sensor PZEM yang digunakan untuk mengukur tegangan, arus dan daya pada output keluaran dari panel surya yang keluarannya adalah tegangan DC adalah PZEM017, dimana dalam pengukuran sensor PZEM017 menggunakan Rshunt guna melindungi sensor dari lonjakan tegangan DC yang meningkat tiba-tiba. Sensor PZEM017 juga menggunakan modul RS485 to TTL sebagai modul tambahan agar ESP32 dapat membaca data yang diberikan oleh sensor, lain halnya dengan sensor yang digunakan untuk mengukur tegangan, arus dan daya pada beban listrik AC atau output keluaran inverter yaitu PZEM004T yang tidak memerlukan modul tambahan agar ESP32 dapat membaca data yang diberikan. Pada sumber pembangkit *piezoelectric* sensor yang digunakan adalah INA219 yang fungsinya hampir sama dengan PZEM017 namun dengan *range* pengukuran yang lebih kecil.

### 3. Gambar rangkaian keseluruhan

Rangkaian keseluruhan adalah gabungan antara rangkaian sumber pembangkit listrik dengan rangkaian sistem monitoring dan rangkaian keseluruhan inilah yang nantinya akan menjadi dasar acuan pengkabelan atau pemwiringan pembuatan sistem yang akan digunakan untuk penelitian ini. Gambar rangkaian keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3.5 dibawah sebagai berikut :



Gambar 3. 5. Rangkaian keseluruhan

Pada gambar keseluruhan diatas prinsip kerja sistem dapat dijelaskan sebagai berikut : panel surya akan menghasilkan output luaran berupa tegangan, arus dan daya pada saat panel surya terkena cahaya matahari, output luaran tersebutlah yang nantinya dapat dimonitoring menggunakan ESP32 melalui sensor PZEM017 yang terhubung pada salah satu kabel output luaran panel surya. Sensor PZEM017 membutuhkan modul tambahan berupa RS485 to TTL agar ESP32 dapat membaca data yang diberikan oleh PZEM017. Output luaran setelah dimonitoring akan diteruskan ke SCC, kemudian akan dialirkan menuju ke baterai.

Kemudian *piezoelectric* dapat menghasilkan listrik ketika terjadi hujan, *piezoelectric* akan mengubah energi mekanik menjadi energi

listrik dimana ketika hujan turun air akan bersentuhan dengan *piezoelectric* secara langsung dan hanya dibatasi dengan plastik mika, hal ini dilakukan agar memaksimalkan tekanan dari tetesan air hujan. Energi listrik yang dihasilkan oleh *piezoelectric* masih belum stabil atau terjadi fluktuasi tegangan oleh karena itu tegangan luaran akan distabilkan dulu oleh penyearah gelombang penuh sederhana yang terdiri dari 4 dioda *Schotcky* IN5817 yang disusun secara *bridge* dan juga kapasitor sebesar 220 uF. Tegangan yang dihasilkan masih cukup kecil oleh karena itu akan dinaikkan terlebih dahulu menggunakan modul step-up DC-DC MT3608, lalu output luaran dari DC-DC tersebut yang akan dimonitoring menggunakan sensor INA219. Output luaran kemudian akan diteruskan menuju ke SCC, kemudian akan diteruskan lagi menuju baterai, disini output akan dipararel dengan output dari SCC panel surya.

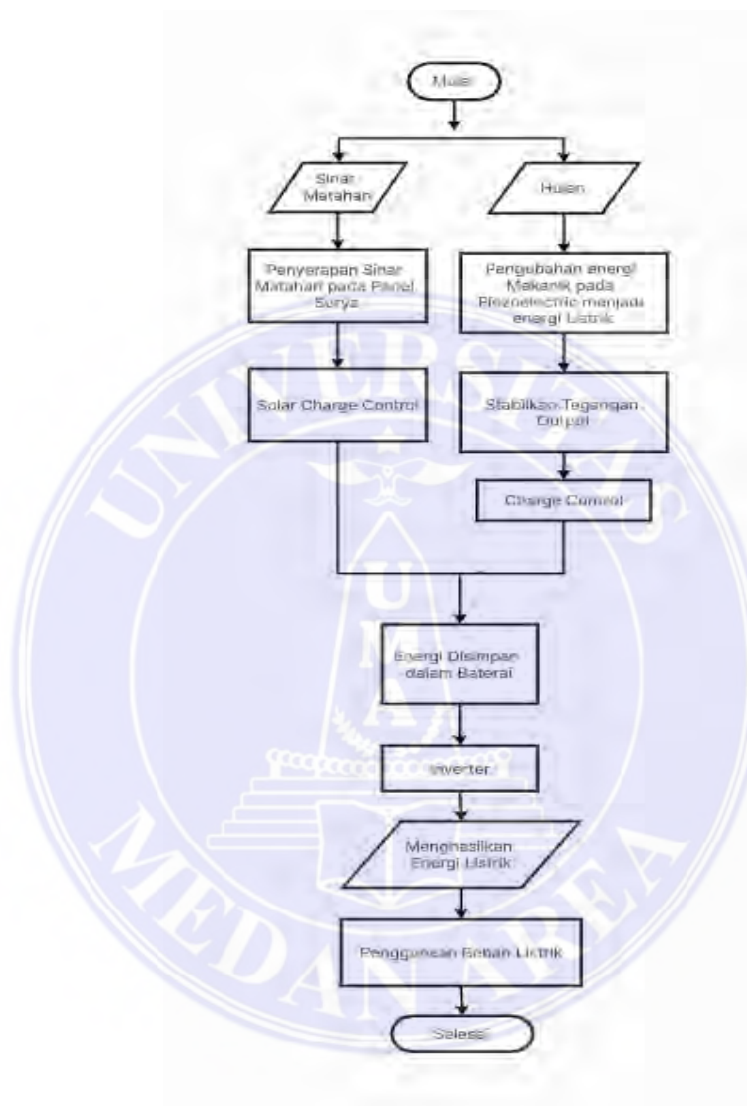
Energi listrik yang dihasilkan oleh kedua pembangkit akan disimpan di baterai, untuk menggunakan energi listrik tersebut yang beban listrik pada umumnya adalah AC maka digunakan inverter untuk mengubah tegangan DC menjadi AC. Output luaran dari inverter akan di monitoring menggunakan sensor PZEM004T sebelum menuju ke beban listrik.

### 3.4.3. Flowchart Cara Kerja Sistem

Guna untuk memahami lebih dalam tentang cara kerja sistem monitoring konversi energi pada pembangkit listrik *hybrid piezoelectric*, *flowchart* cara kerja sistem dibagi menjadi dua yaitu *flowchart* sumber pembangkit listrik dan juga *flowchart* sistem monitoring.

a. *Flowchart* sumber pembangkit listrik

Berikut adalah *flowchart* sumber pembangkit listrik yang dapat dilihat pada gambar 3.6 dibawah :



Gambar 3. 6. *Flowchart* sumber pembangkit listrik

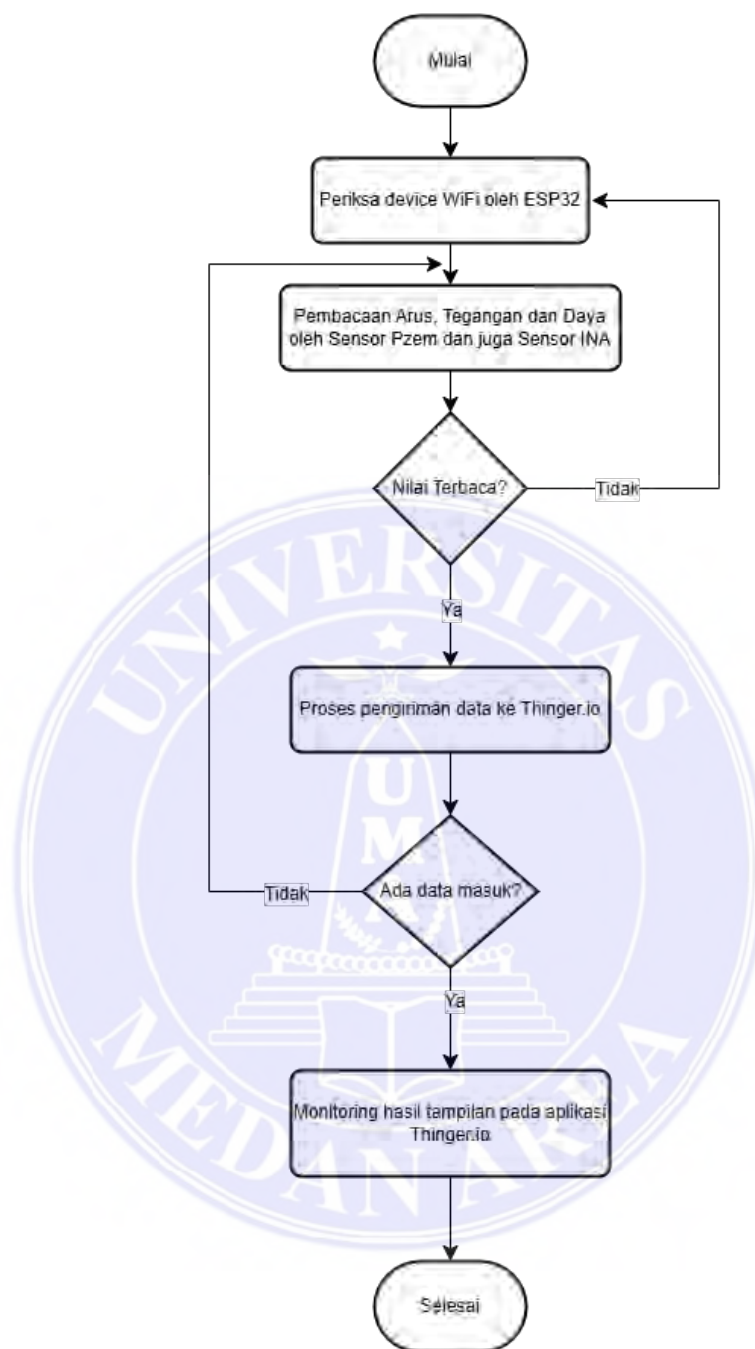
*Flowchart* cara kerja sumber pembangkit listrik :

1. Proses dimulai untuk mengelola sumber energi dari matahari dan hujan.
2. Energi dari sinar matahari diidentifikasi sebagai sumber pertama.

3. Panel surya menyerap energi matahari untuk diubah menjadi energi listrik.
4. Energi yang diperoleh dari panel surya dikelola oleh perangkat pengendali daya (*solar charge controller*).
5. Energi mekanik dari tetesan air hujan digunakan sebagai sumber kedua.
6. Energi mekanik dari tetesan hujan diubah menjadi energi listrik melalui *piezoelectric*.
7. Tegangan listrik hasil konversi distabilkan agar sesuai untuk penyimpanan atau penggunaan.
8. Energi dari *piezoelectric* juga diatur oleh pengendali daya untuk mengisi baterai.
9. Energi listrik dari kedua sumber (matahari dan hujan) disimpan dalam baterai untuk digunakan nanti.
10. Energi dari baterai diubah melalui inverter untuk menghasilkan listrik AC.
11. Proses ini menghasilkan energi listrik yang siap digunakan.
12. Energi listrik digunakan untuk berbagai kebutuhan beban listrik.
13. Proses berakhir.

b. *Flowchart* sistem monitoring

Berikut adalah *flowchart* sistem monitoring yang dapat dilihat pada gambar 3.7 dibawah :



Gambar 3. 7. *Flowchart* sistem monitoring

*Flowchart* cara kerja sistem monitoring :

1. Proses monitoring dimulai.
2. Microcontroller ESP32 memeriksa koneksi ke jaringan WiFi.

3. Sensor PZEM dan sensor INA membaca nilai arus, tegangan, dan daya dari sistem.
4. Validasi nilai yang terbaca oleh sensor PZEM dan sensor INA, Ya: Jika nilai berhasil terbaca, lanjut ke proses berikutnya. Tidak: Jika nilai tidak terbaca, sistem kembali membaca ulang data.
5. Data yang telah terbaca dikirimkan ke layanan *Thinger.io* untuk diproses lebih lanjut.
6. Validasi data yang masuk ke *Thinger.io*, Ya: Jika data berhasil diterima di *cloud*, lanjut ke langkah monitoring. Tidak: Jika data tidak masuk, kembali ke proses pengiriman data.
7. Data yang berhasil dikirimkan ditampilkan pada aplikasi *Thinger.io* untuk keperluan monitoring.
8. Proses monitoring berakhir.

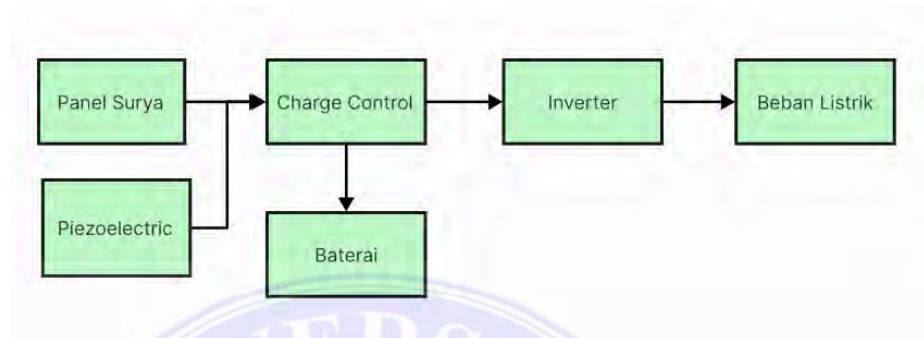
#### 3.4.4. Diagram Blok Cara Kerja Sistem

Diagram blok adalah representasi grafis yang digunakan untuk menggambarkan alur kerja suatu sistem atau alat dalam bidang teknik. Diagram ini mencakup blok-blok yang mewakili komponen-komponen sistem serta panah-panah yang mewakili aliran informasi atau sinyal antar komponen-komponen tersebut.

Dalam penelitian ini diagram blok dibagi menjadi dua diagram agar dapat memudahkan dalam melihat cara kerja sistem, diagram blok tersebut adalah diagram blok sumber pembangkit listrik dan juga diagram blok sistem monitoring.

a. Diagram blok sumber pembangkit listrik

Berikut adalah diagram blok sumber pembangkit listrik yang ditunjukkan pada gambar 3.8



Gambar 3. 8. Diagram blok sumber pembangkit listrik

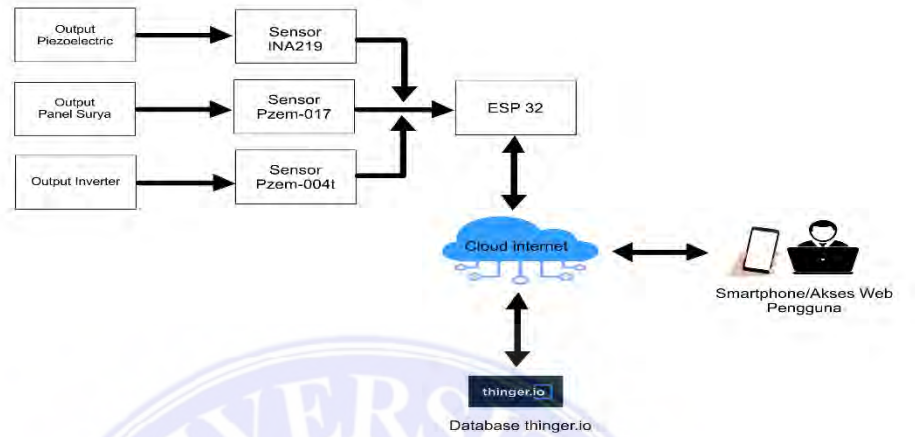
Diagram blok menunjukkan sistem pembangkit listrik *hybrid* yang mengintegrasikan panel surya dan *piezoelektrik* sebagai sumber listrik. Panel surya berfungsi menyerap energi matahari dan mengubahnya menjadi listrik, sedangkan *piezoelektrik* mengubah energi mekanik seperti getaran atau tekanan menjadi energi listrik.

Kedua sumber daya ini diatur melalui *charge controller* yang menstabilkan arus dan tegangan sebelum energi disimpan dalam baterai. Baterai merupakan media penyimpan utama sehingga energi dapat digunakan kapan saja, meski tidak ada sumber listrik.

Dari baterai, energi listrik DC diubah menjadi listrik AC oleh inverter sehingga dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan berbagai perangkat atau sistem pengisian daya. Sistem ini dirancang untuk memastikan efisiensi dan ketersediaan energi berkelanjutan.

b. Diagram blok sistem monitoring

Berikut adalah diagram blok sumber pembangkit listrik yang ditunjukkan pada gambar 3.9 :



Gambar 3. 9. Diagram blok sistem monitoring

Diagram blok menunjukkan sistem pemantauan dan pengendalian panel surya dan *piezoelektrik* yang terhubung ke cloud Internet dan dapat diakses melalui ponsel pintar atau web. Sistem ini mencakup sensor PZEM-017 yang membaca data dari panel surya, sensor INA219 yang membaca data dari *piezoelektrik* serta sensor PZEM-004t yang membaca data dari output inverter. ESP32 yang berfungsi sebagai mikrokontroler yang memproses data sensor, dan database thinger.io untuk penyimpanan dan pengelolaan data. ESP32 terhubung ke *cloud* Internet yang memungkinkan pengguna mengakses dan mengontrol sistem melalui ponsel cerdas atau browser web.

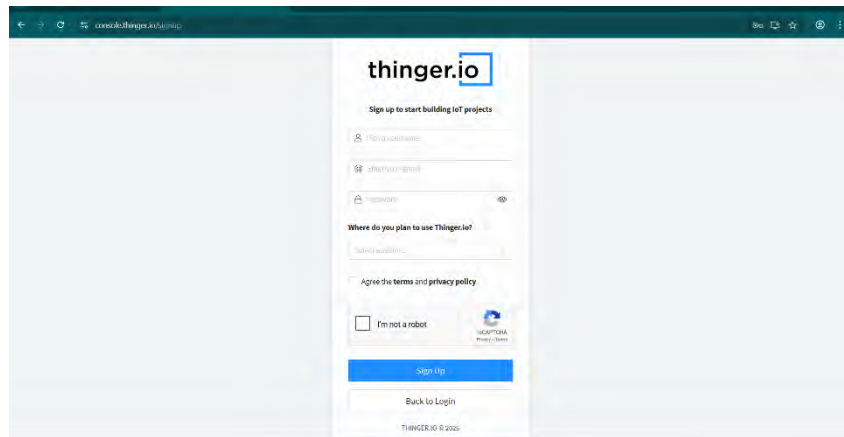
### 3.4.5. Pembuatan dashboard *thinger.io*

Dasbor disini bertindak sebagai antarmuka visual yang memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengelola perangkat *IoT* secara langsung, serta menganalisis data yang diperoleh dari berbagai sensor dan perangkat. Dalam bagian ini, akan dibahas tentang pemilihan komponen yang sesuai untuk memonitor sistem, pengaturan koneksi antara perangkat dan platform.

#### a. Melakukan pendaftaran pada website *thinger.io*

Pertama-tama, pengguna harus mengunjungi situs web resmi *Thinger.io* dan mencari pilihan untuk mendaftar atau "*Sign Up*". Selanjutnya, mereka akan diminta untuk mengisi formulir pendaftaran dengan informasi dasar, termasuk nama, alamat email, dan kata sandi yang diinginkan. Sangat penting untuk memastikan bahwa alamat email yang dimasukkan valid, karena konfirmasi pendaftaran akan dikirim ke alamat email tersebut.

Setelah penyelesaian formulir, pengguna harus menyetujui syarat dan ketentuan yang ada sebelum menekan tombol "Daftar" atau "Register". Setelah pendaftaran berhasil dilakukan, pengguna akan mendapatkan email konfirmasi yang berisi tautan untuk mengaktifkan akun. Dengan mengklik tautan itu, pengguna bisa mengakses akun *Thinger.io* mereka.

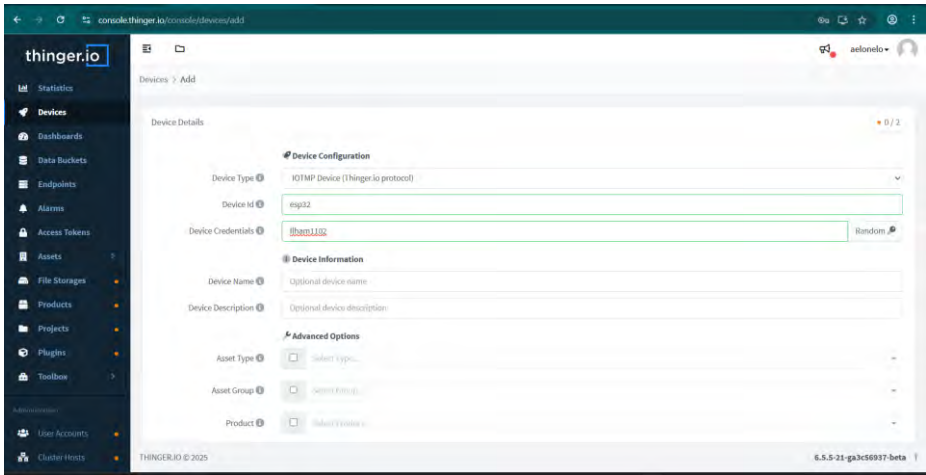


Gambar 3. 10. Antarmuka pendaftaran pada web thinger.io

b. Login ke akun dan membuat devices

Setelah mendaftar dengan sukses, pengguna bisa masuk ke akun *Thinger.io* dengan mengunjungi halaman awal dan memilih opsi "*Login*". Kemudian, mereka akan diminta untuk mengisi alamat email dan kata sandi yang telah terdaftar sebelumnya. Jika informasi yang diberikan sudah benar, pengguna dapat menekan tombol "*Masuk*" untuk masuk ke dashboard *Thinger. io*.

Setelah berhasil masuk, pengguna bisa mulai menambahkan perangkat yang ingin mereka kelola. Untuk membuat perangkat baru, pengguna perlu mencari pilihan "*Devices*" atau "Perangkat" di menu utama. Di dalam menu tersebut, ada opsi untuk menambahkan perangkat baru. Pengguna akan diminta untuk mengisi nama perangkat, memilih tipe perangkat yang tepat, serta mengatur pengaturan yang dibutuhkan, seperti protokol komunikasi yang akan digunakan, pada sistem ini menggunakan protokol IOTMP (*Thinger protocol*).

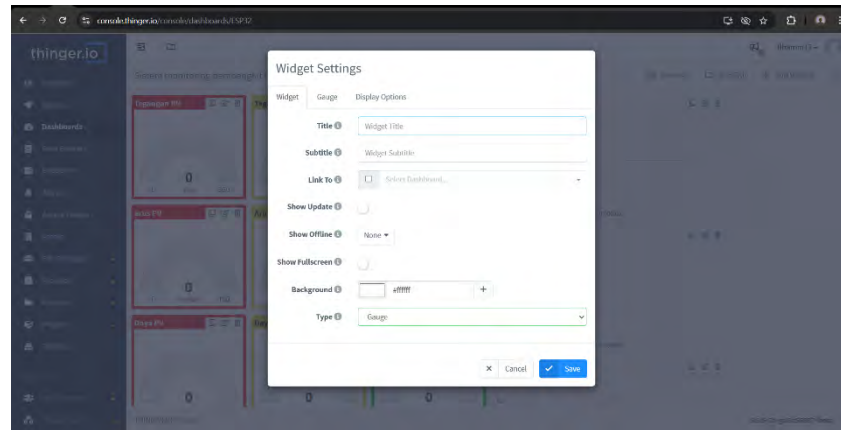


Gambar 3. 11. Antarmuka penambahan *device* untuk monitor

c. Penambahan *widget* pada dashboard yang sesuai

Setelah berhasil membuat perangkat dan mengakses dashboard, pengguna dapat mulai menambahkan widget yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi mereka. Widget berperan sebagai komponen antarmuka yang memungkinkan pengguna menyajikan informasi secara langsung, mengawasi kondisi perangkat, serta berinteraksi dengan data yang telah dihimpun.

Dalam sistem ini beberapa widget yang perlu ditambahkan agar memudahkan dalam sistem monitoring adalah gauge dan juga chart time untuk melihat tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh panel surya, *piezoelectric* dan juga output inverter.



Gambar 3. 12. Antarmuka penambahan *widget* ke dashboard

### 3.5. Metode Pengumpulan Data

#### 3.5.1. Observasi (*Observation*)

Observasi adalah suatu teknik yang dilakukan dengan cara mengamati secara langsung suatu objek, peristiwa atau fenomena tertentu dengan tujuan untuk mengumpulkan data dan informasi yang akurat dan rinci.

#### 3.5.2. Pengukuran (*Measurement*)

Metode ini melibatkan penggunaan alat atau instrumen tertentu untuk mengukur fenomena yang diamati, seperti multimeter untuk mengukur tegangan, arus dan juga besar hambatan.

#### 3.5.3. Studi Dokumen (*Document Study*)

Studi Dokumen atau dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan data dan mempelajari data yang diperoleh dari buku, dokumen, majalah, internet dan sumber lain yang berkaitan dengan penelitian ini.

### 3.6. Metode Analisis Data

#### 3.6.1. Metode Fuzzy Logic

Metode *fuzzy logic* merupakan pendekatan yang digunakan untuk mengelola ketidakpastian dan ambiguitas dalam pengambilan keputusan dan pemodelan sistem. Berbeda dengan logika biner yang hanya mengenali dua nilai (benar atau salah), *fuzzy logic* membantu mengelola nilai di antara dua nilai ekstrem tersebut. Hal ini membuatnya sangat berguna dalam situasi dimana informasi yang tersedia tidak lengkap atau tidak pasti.

Tahapan dalam menggunakan metode *fuzzy logic* adalah sebagai berikut :

1. Fuzzifikasi (*Fuzzification*), prosesnya adalah mengubah data input yang berupa nilai numerik (*crisp*) menjadi bentuk *fuzzy*.
2. Penerapan Aturan (*Rule Evaluation / Inference*), prosesnya adalah menerapkan aturan-aturan *fuzzy* yang berbentuk IF-THEN untuk mengolah data *fuzzy*. Misalnya, IF suhu tinggi AND kelembaban rendah THEN kecepatan kipas tinggi.
3. Kompilasi Aturan (*Aggregation*), prosesnya adalah menggabungkan hasil dari setiap aturan *fuzzy*.
4. Defuzzifikasi (*Defuzzification*), prosesnya adalah mengubah data *fuzzy* hasil inferensi menjadi nilai output numerik (*crisp*). Proses ini menggunakan metode seperti centroid, mean of maximum, atau bisektor untuk menghasilkan output yang definitif.

### 3.6.2. Teknik analisis

Teknik analisis yang sesuai dengan penelitian ini yang menggunakan pendekatan kuantitatif adalah sebagai berikut:

1. Analisis Deskriptif, metode analisis data yang bertujuan untuk mendeskripsikan atau menjelaskan ciri-ciri data yang ada tanpa menarik kesimpulan atau prediksi lebih lanjut. Tujuan utamanya adalah menyajikan data dalam bentuk yang lebih mudah dipahami, seperti tabel, grafik, bagan, atau ringkasan statistik.
2. Analisis Komparatif, analisis komparatif adalah metode analisis data yang bertujuan untuk membandingkan dua atau lebih kelompok, variabel, atau fenomena guna menemukan persamaan, perbedaan, atau pola tertentu. Dalam penelitian ini analisis komparatif digunakan untuk membandingkan antara dua pembangkit listrik.
3. Uji Performansi Sistem, adalah proses pengujian yang mengevaluasi kinerja suatu sistem, baik perangkat lunak, perangkat keras, atau sistem terintegrasi, dalam kondisi operasi tertentu. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa sistem dapat memenuhi spesifikasi dan kebutuhan pengguna, serta tetap beroperasi dengan baik dalam kondisi beban kerja yang bervariasi.

### 3.7. Parameter yang akan dianalisis

1. Tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh panel surya

Pengukuran tegangan, arus dan daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya berdasarkan monitoring.

2. Tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh *piezoelctric*

Pengukuran tegangan, arus dan daya listrik yang dihasilkan oleh *piezoelectric* berdasarkan monitoring.

3. Efisiensi konversi energi dari *piezoelectric*

Evaluasi efisiensi konversi energi mekanik ke energi listrik pada *piezoelectric*.

4. Tegangan, arus dan daya yang dihasilkan dari inverter terhadap beban listrik

Pengukuran tegangan, arus dan daya listrik yang dihasilkan oleh inverter setelah pengubahan listrik DC menjadi AC dan terpakai oleh beban listrik berdasarkan monitoring.

### 3.8. Prosedur kerja

1. Perancangan dan pembuatan Sistem

Pembuatan desain sistem dan juga pemwiringan serta penempatan bahan-bahan dalam panel box, dalam hal ini juga meliputi pembuatan coding program dan juga pembuatan interface monitoring pada aplikasi perangkat Thinger.io.

2. Pengukuran dan Pengujian

Melakukan pengukuran dan pengujian terhadap sistem baik itu secara manual maupun berdasarkan pada data monitoring.

3. Pengumpulan Data

Mulai mengumpulkan data-data yang didapat dari hasil pengujian dan pengukuran yang akan digunakan, serta parameter parameter lain yang diperlukan untuk analisa nantinya.

#### 4. Analisis Data

Analisis data yang telah dikumpulkan dengan metode analisis yang sesuai dengan penelitian ini untuk melihat evaluasi kinerja sistem.

#### 5. Kesimpulan

Membuat kesimpulan dari data yang telah dihasilkan oleh sistem monitoring konversi energi pada pembangkit listrik *hybrid piezoelectric*.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring konversi energi berbasis IoT untuk pembangkit listrik hybrid telah berhasil dirancang dan direalisasikan secara fungsional. Sistem ini mampu memantau performa panel surya secara akurat sebagai sumber energi utama, dengan daya maksimum mencapai 24,85 W, yang terbukti sangat dipengaruhi oleh faktor suhu dan karakteristik kerja *solar charge controller* (SCC). Sementara itu, unit *piezoelectric* berperan sebagai sumber energi komplementer, dan berhasil memvalidasi konsep pemanenan energi dari hujan, dengan daya puncak mencapai 39,60  $\mu$ W. Selama pengujian, ditemukan adanya diskrepansi signifikan antara data sensor IoT dan hasil pengukuran manual, yang menekankan pentingnya kalibrasi sensor untuk memastikan akurasi kuantitatif dalam sistem pemantauan. Lebih lanjut, implementasi metode *Fuzzy Logic* terbukti berhasil digunakan sebagai kerangka analisis cerdas, yang mampu memodelkan serta memberikan penilaian kualitatif terhadap kondisi operasional sistem secara menyeluruh.

#### 5.2. Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan agar penelitian difokuskan pada upaya kalibrasi sensor atau penggunaan sensor arus alternatif guna meningkatkan akurasi kuantitatif dari sistem monitoring berbasis IoT. Di samping itu, optimasi unit *piezoelectric* juga perlu dilakukan melalui eksplorasi material *piezoelectric* yang lebih responsif dan peningkatan desain mekanik, agar efisiensi

konversi energinya dapat ditingkatkan secara signifikan. Dalam aspek analisis, model Fuzzy Logic dapat disempurnakan dengan menambahkan variabel input tambahan, seperti karakteristik dinamis dari *Solar Charge Controller* (SCC), untuk menghasilkan prediksi output yang lebih akurat dan kontekstual. Terakhir, sangat direkomendasikan untuk melakukan pengujian keandalan jangka panjang terhadap sistem secara keseluruhan, guna mengevaluasi durabilitas dan stabilitas performa dalam berbagai kondisi cuaca dan waktu operasional yang lebih luas.



## DAFTAR PUSTAKA

- A. K. N. Al Huda. (2023). *TRANSISI ENERGI DI INDONESIA : OVERVIEW & CHALLENGES*. <https://www.researchgate.net/publication/374417692>
- Aabid, A., Raheman, M. A., Ibrahim, Y. E., Anjum, A., Hrairi, M., Parveez, B., Parveen, N., & Mohammed Zayan, J. (2021). A systematic review of piezoelectric materials and energy harvesters for industrial applications. Dalam *Sensors* (Vol. 21, Nomor 12). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s21124145>
- Andre, S., & Arif, T. J. (2020). Rancang Bangun Alat Pemanen Energi Listrik Dari Tekanan Mekanik Berbasis Piezoelektrik. *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, Vol.2, No. 2, 79–84.
- Arbie, A., Hasan, Z. A., & Nuayi, A. W. (2021). Piezoelectric Configuration for Generating Electricity Using Waves Power. *Journal of Energy*, 2021, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2021/7258449>
- Arigo, M. A. Al. H., Sofi Berliana Rizky, Zainu Rafsanjani, Isa Rachman, , Rini Indarti, Noorman Rinanto, & Agus Khumaidi. (2024). Optimasi Penghematan Energi Listrik Menggunakan Metode Fuzzy Logic Pada Sistem Pendingin Udara Berbasis IoT. *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 11(2), 363–375. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v11i2.5467>
- Aryaguna, G., Sidharta, C., & Widiyatmika, G. Y. (2024). *LOMBA KARYA TULIS ILMIAH EXPECTO 2024 MENUJU INDONESIA EMAS 2045 : INOVASI TEKNOLOGI PIEZOELECTRIC DI STASIUN KERETA API MANGGARAI SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK DARI LANGKAH KAKI MANUSIA* Disusun oleh.
- Athar, M. A., Indrianto Sidjoko, R., & Politeknik Penerbangan Surabaya, S. (2020). *RANCANG BANGUN KONTROL DAN MONITORING PEMBANGKIT ENERGY HYBRID SOLAR CELL DAN HYDORPOWER BERBASIS INTERNET OF THINGS*.
- Attallasyah, T., Firmansyah, M. R., Najib, M., Kafy, A., Suhartian, M. R., Harisandi, N., Alsyafrani, G. M., & Alfarizy, I. (2024). *Karakterisasi untuk Kerja Mesin Diesel Generator Set Sistem Dual Fuel Menggunakan Gas Hasil Gasifikasi dan Minyak Solar* (Vol. 3, Nomor 1). <http://jurnalilmiah.org/journal/index.php/majemuk>
- Dwi Alfian, R., Haryudo, S. I., Kartini, U. T., & Kholis, N. (2021). RANCANG BANGUN ALAT MONITORING PEMAKAIAN TARIF LISTRIK DAN KONTROL DAYA LISTRIK PADA RUMAH KOS BERBASIS INTERNET OF THINGS. *Jurnal Teknik Elektro*, Volume 10(No03,Tahun 2021), 661–670.
- Gunoto, P., & Sofyan, S. (2020). PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA 100 Wp UNTUK PENERANGAN LAMPU DI RUANG SELASAR FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS RIAU KEPULAUAN. *Sigma Teknika*, 3(2), 96–106.
- Herwana, M. R. C. (2024). *TrafficEase IoT: Sistem Monitoring Kerusakan pada Lampu Lalu Lintas Berbasis Internet-of-Things*. Universitas Islam Indonesia.
- Inkiriwang, R., & Pramadjaya, A. (2024). *Penerapan Metode Fuzzy Untuk Mendukung Sistem Penilaian Kesehatan Mental Mahasiswa UNPAM Serang*. 02(2).

- Kamel, N. A. (2022). Bio-piezoelectricity: fundamentals and applications in tissue engineering and regenerative medicine. Dalam *Biophysical Reviews* (Vol. 14, Nomor 3, hlm. 717–733). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s12551-022-00969-z>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2023). *Draft Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2023-2060*.
- Nugraha, A. G. S. (2024). *PENERAPAN PROTEKSI PADA KAMAR KOS MENGGUNAKAN ESP 32 BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)*.
- Ritonga, A. S. S. (2024). *RANCANG BANGUN PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA (PLTBm) BERSUMBER PEMBUANGAN LIMBAH PERTANIAN BERBASIS IoT*.
- Rizki Andika. (2022). *ilide.info-file-online-skripsi-rizi-andika-compressed-pr\_bb2f3a2c685b24ce69baad1a741a4186*.
- Rozaq, A. (2022). SISTEM MONITORING KUAT ARUS, TEGANGAN DAN DAYA SOLAR CELL PADA ALAT UKUR KUALITAS AIR TAMBAK UDANG VANAME. *Jurnal ELKON*, 02(01), 2809–140.
- Setiawan, I. O. (2022). *SISTEM MONITORING PENGGUNAAN LISTRIK MENGGUNAKAN SENSOR PZEM – 004T BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)*.
- Widodo, A., Kholis, N., & Rakhmawati, L. (2022). Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT Menggunakan Firebase. *Jurnal Teknik Elektro, Volume 11*(Nomor 1 Tahun 2022), 47–55.
- ZhetyawanA, M., sakti, T., Indra Syahyadi, A., & Teknik Elektro, J. (2022). RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN CONTROLLING KEAMANAN KENDARAAN BERMOTOR BERBASIS IOT. *Jurnal Teknik Elektro UNISMU*, 14.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Datasheet Komponen Utama

Tabel 4. 19. spesifikasi panel surya GH Solar

| <b>Tolak Ukur</b>                           | <b>Spesifikasi</b> |
|---------------------------------------------|--------------------|
| Model                                       | GH50M-36           |
| <i>Rated Maximum Power (Pm)</i>             | 50 W               |
| <i>Tolerance</i>                            | 0~+5%              |
| <i>Voltage at Pmax (Vmp)</i>                | 18.80 V            |
| <i>Current at Pmax (Imp)</i>                | 2.66 A             |
| <i>Open-Circuit Voltage (Voc)</i>           | 22.90 V            |
| <i>Short-Circuit Current (Isc)</i>          | 2.88 V             |
| <i>Normal Operating Cell Temp</i><br>(NOCT) | 47±2°              |
| <i>Maximum System Voltage</i>               | 1000 V DC          |
| <i>Maximum Series Fuse Rating</i>           | 10A                |
| <i>Operating temperature</i>                | -40+85°C           |
| <i>Application Class</i>                    | Class A            |
| <i>Fire Safety Class</i>                    | Class C            |
| <i>Weight</i>                               | 4.01 kg            |
| <i>Dimension (mm)</i>                       | 610*580*30 mm      |

Tabel 4. 20. Spesifikasi *Piezoelectric*

| Tolak Ukur                                       | Spesifikasi                             |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Material                                         | <i>Lead zirconate titanate</i><br>(PZT) |
| Nilai Maks. Tegangan<br>(Gelombang Persegi Vp-p) | 30 Vp-p                                 |
| Kapasitansi                                      | 20,000 pF $\pm$ 30%                     |
| Frekuensi Resonansi                              | 4,200 $\pm$ 500Hz                       |
| Impedansi Resonansi                              | $\geq$ 300 $\Omega$                     |
| Suhu Pengoperasian                               | -20°C to +60°C                          |
| Diameter                                         | 27 mm                                   |
| Ketebalan                                        | 0,2 mm                                  |
| Spesifikasi mikrokontroller ESP32                |                                         |
| Parameter                                        | Spesifikasi                             |
| Chip                                             | <i>Espressif ESP32-WROOM-</i><br>32     |
| Arsitektur                                       | Xtensa dual-core 32-bit LX6             |
| Frekuensi CPU                                    | 160 MHz / 240 MHz                       |
| Co-processor                                     | ULP (Ultra Low Power)                   |
| Flash Memory                                     | 4 MB                                    |
| SRAM                                             | 520 KB                                  |
| RTC Memory                                       | 16 KB                                   |
| Operating Voltage                                | 3.0V - 3.6V                             |
| Input Voltage (VIN)                              | 5V - 12V                                |
| Operating Temperature                            | -40°C to +85°C                          |

## Lampiran 2. Kode Program

```
#include <Arduino.h>

#include <WiFi.h>

#include <ThingerESP32.h>

#include <ModbusMaster.h>

#include <PZEM004Tv30.h>          // Library untuk sensor PZEM-004T (AC)

#include <Wire.h>

#include <Adafruit_INA219.h>

#include <Adafruit_BusIO_Register.h>

#include <HardwareSerial.h>

// Konfigurasi pin serial untuk PZEM-017 (Panel Surya)

#define RX1_PIN 26      // Pin RX untuk PZEM-017

#define TX1_PIN 27      // Pin TX untuk PZEM-017

// Instance untuk ModbusMaster (PZEM-017)

ModbusMaster node;

// Instance untuk INA219 (Piezoelectric)

Adafruit_INA219 ina219;

// Instance untuk Thinger.io

ThingerESP32 thing(USERNAME, DEVICE_ID, DEVICE_CREDENTIAL);

// Alamat Modbus untuk PZEM-017

#define PZEM_ADDR 0x01

// Inisialisasi objek SoftwareSerial untuk sensor PZEM-004T
```

```
//sensor ini menggunakan pin hardware serial (pin RX dan TX asli)
#if !defined(PZEM_RX_PIN) && !defined(PZEM_TX_PIN)
#define PZEM_RX_PIN 16
#define PZEM_TX_PIN 17
#endif

#if !defined(PZEM_SERIAL)
#define PZEM_SERIAL Serial1
#endif

#if defined(ESP32)
PZEM004Tv30 pzem(PZEM_SERIAL, PZEM_RX_PIN, PZEM_TX_PIN);
#elif defined(ESP8266)
#else
PZEM004Tv30 pzem(PZEM_SERIAL);
#endif

// Variabel untuk menyimpan data
// Panel Surya (PZEM-017)
float solar_voltage = 0;
float solar_current = 0;
float solar_power = 0;
float solar_energy = 0;

// Piezoelectric (INA219)
float piezo_voltage = 0;
float piezo_current = 0;
float piezo_power = 0;

// Output AC (PZEM-004T)
```

```

float ac_voltage = 0;

float ac_current = 0;

float ac_power = 0;

float ac_energy = 0;


// Variabel delay untuk pengiriman data
unsigned long previousMillis = 0;

const long interval = 10000;


// Fungsi untuk memungkinkan atau menonaktifkan pengiriman data pada RS485
void preTransmission() {
    digitalWrite(MAX485_RE_NEG, 1);
    digitalWrite(MAX485_DE, 1);
}

void postTransmission() {
    digitalWrite(MAX485_RE_NEG, 0);
    digitalWrite(MAX485_DE, 0);
}

void setup() {
    // Inisialisasi Serial untuk debugging
    Serial.begin(115200);

    Serial.println("Memulai program monitoring sistem hybrid piezoelectric");


    // Inisialisasi pin RS485
    pinMode(MAX485_RE_NEG, OUTPUT);
    pinMode(MAX485_DE, OUTPUT);


    // Ini menandakan bahwa RS485 dalam mode penerima
    digitalWrite(MAX485_RE_NEG, 0);
    
```

```
digitalWrite(MAX485_DE, 0);

// Inisialisasi Serial1 untuk PZEM-017
Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, RX1_PIN, TX1_PIN);

// Inisialisasi I2C untuk INA219
Wire.begin();

// Inisialisasi node ModbusMaster untuk PZEM-017
node.begin(PZEM_ADDR, Serial2);

// Mengatur callback untuk transmisi RS485
node.preTransmission(preTransmission);
node.postTransmission(postTransmission);

// Inisialisasi INA219
if (!ina219.begin()) {
    Serial.println("Gagal menemukan chip INA219");
    while (1) { delay(10); }
}
Serial.println("INA219 berhasil diinisialisasi");

// Konfigurasi WiFi
WiFi.begin(SSID, SSID_PASSWORD);
Serial.println("Menghubungkan ke WiFi...");

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
```

```

    }

    Serial.println();
    Serial.println("WiFi terhubung");
    Serial.print("IP Address: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());

    // Konfigurasi Thinger.io
    thing["data"] >> [](pson& out){
        // Data Panel Surya
        out["solar_voltage"] = solar_voltage;
        out["solar_current"] = solar_current;
        out["solar_power"] = solar_power;
        out["solar_energy"] = solar_energy;

        // Data Piezoelectric
        out["piezo_voltage"] = piezo_voltage;
        out["piezo_current"] = piezo_current;
        out["piezo_power"] = piezo_power;

        // Data Output AC
        out["ac_voltage"] = ac_voltage;
        out["ac_current"] = ac_current;
        out["ac_power"] = ac_power;
        out["ac_energy"] = ac_energy;

    };
}

```

```
void loop() {
    // Lakukan pembacaan dan pengiriman data hanya pada interval tertentu
    unsigned long currentMillis = millis();
    if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
        previousMillis = currentMillis;

        // Baca data dari semua sensor
        readPVData();
        readPiezoData();
        readACData();

        // Tampilkan data di Serial Monitor
        printData();

        // perbarui koneksi ke thinger.io
        thing.handle();
        delay (2000);
    }
}
```

### Lampiran 3. Konfigurasi *fuzzy logic*

