

RANCANG BANGUN PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
SURYA (PLTS) AC MIKROGRID DENGAN SISTEM *OFF-GRID*



LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan diploma tiga
(D-3) Program Studi Teknik Konversi Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

| | |
|-----------------------|------------|
| RIFALDI ALKAUTSAR | 342 19 038 |
| WINARTY CATURINDAH P. | 342 19 043 |

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR

2022

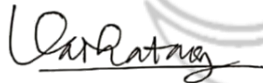
HALAMAN PENGESAHAN

Laporan tugas akhir dengan judul "Rancang Bangun *Prototype* Pembangkit listrik Tenaga Surya (PLTS) AC Mikrogrid dengan sistem *Off-grid*" oleh Rifaldi Alkautsar NIM 342 19 038 dan Winarty Caturindah NIM 342 19 043 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar diploma tiga (D-3) pada program studi D3 Teknik Konversi Energi jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 27 September 2022

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Marhatang, S.ST., M.T.
NIP 19741117 200212 1 002

Prof. A.M. Shiddiq Yunus, S.T., M.Eng.Sc.,Ph.D.
NIP 19780804 200112 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan
Teknik Mesin



Rusdi Nur, S.ST., M.T., Ph.D.
NIP 19741106 200212 1 002

HALAMAN PENGESAHAN

Pada hari ini, Tim Penguji Ujian Sidang Laporan Tugas Akhir telah menerima dengan baik Laporan Proposal Tugas Akhir oleh mahasiswa Rifaldi Alkautsar NIM 342 19 038 dan Winarty Caturindah P. NIM 342 19 043 dengan judul “Rancang Bangun *Prototype* Pembangkit listrik Tenaga Surya (PLTS) AC Mikrogrid dengan sistem *Off-grid*”

Makassar, 27 September 2022

Tim Penguji Ujian Laporan Tugas Akhir:

- | | | |
|---|---------------|---------|
| 1. Sonong, S.T., M.T. | Ketua | (.....) |
| 2. Muhammad Yusuf Yunus, S.ST., M.T. | Sekretaris | (.....) |
| 3. Gusri Emiyati Ali, S.Pd., M.Pd. | Anggota I | (.....) |
| 4. Muhammad Ruswandi Djalal, S.ST., M.T. | Anggota II | (.....) |
| 5. Marhatang, S.ST., M.T. | Pembimbing I | (.....) |
| 6. Prof. A.M. Shiddiq Yunus, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D. | Pembimbing II | (.....) |

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh,

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga Laporan Tugas Akhir yang berjudul **"Rancang Bangun *Prototype* Pembangkit listrik Tenaga Surya (PLTS) AC Mikrogrid dengan sistem *Off-grid*"** dapat terselesaikan sebagaimana mestinya.

Selama penulisan Laporan Tugas Akhir ini, banyak hal yang penulis alami baik suka maupun duka. Maka pada kesempatan kali ini, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak atas bimbingan, perhatian dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis, antara lain:

1. Kedua orang tua tercinta, juga kepada saudara-saudara kami yang telah memberikan banyak bantuan berupa dorongan moral, bantuan materi serta tak henti-hentinya memberikan doa yang tulus kepada kami dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Prof.Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak Rusdi Nur, S.S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Ibu Sri Suwasti, S.ST., M.T. selaku Koordinator Program Studi D-3 Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Marhatang, S.ST., M.T. selaku Pembimbing I dan Bapak Prof. A.M. Shiddiq Yunus, S.T., M.Eng.Sc.,Ph.D. selaku Pembimbing II yang telah

banyak mencurahkan waktu dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

6. Ibu Gusri Emiyati Ali, S.Pd., M.Pd. selaku Wali Kelas 3B D-3 Teknik Konversi Energi.
7. Segenap dosen Jurusan Teknik Mesin pada umumnya dan Program Studi Teknik Konversi Energi pada khususnya yang selama kurun waktu 3 tahun dengan ikhlas dan penuh kerelaan hati telah mendidik dan mengajar kami, serta para staf dan teknisi Program Studi Teknik Konversi Energi.
8. Seluruh teman-teman seperjuangan D-3 Teknik Konversi Energi untuk kerjasama yang telah dilakukan dalam melewati proses pembelajaran selama tiga tahun di Politeknik Negeri Ujung Pandang.
9. Ucapan terima kasih dan penghargaan juga disampaikan kepada keluarga besar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
10. Semua pihak yang tidak sempat kami sebutkan satu-persatu yang berjasa dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini ini.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini demi perbaikan pada masa mendatang. Semoga laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi pembacanya.

Wassalamu'alaikumussalam Warahmatullah Wabarakatuh.

Makassar, 27 September 2022

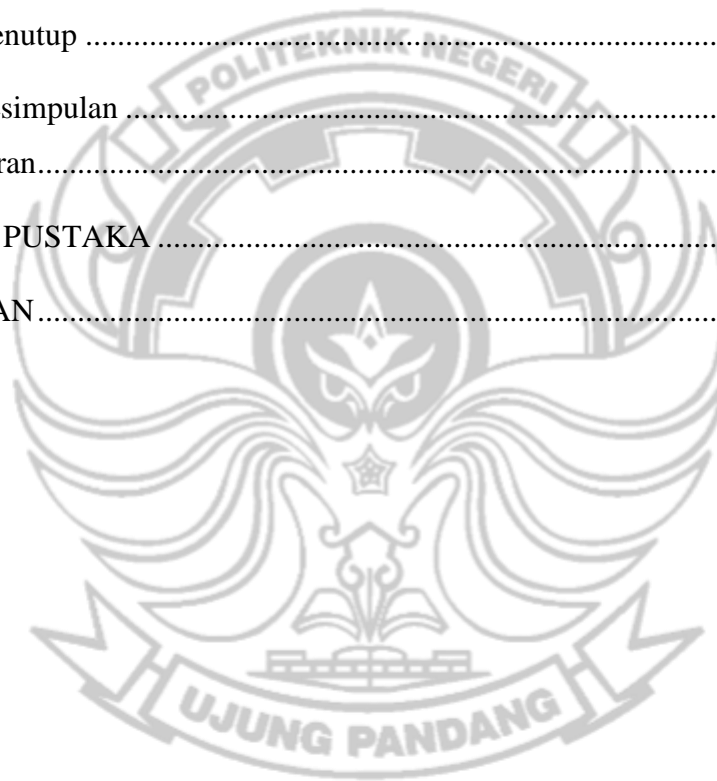
Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| HALAMAN PENERIMAAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR TABEL..... | ix |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| DAFTAR SIMBOL | xii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Ruang Lingkup Kegiatan..... | 3 |
| 1.4 Tujuan Kegiatan..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Kegiatan..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)..... | 5 |
| 2.2 Komponen PLTS | 5 |
| 2.2.1 Sel Surya | 5 |
| 2.2.2 Prinsip Kerja Panel Sel Surya | 6 |
| 2.2.3 Jenis-jenis Panel Surya..... | 8 |
| 2.3 Sistem pembangkit Listrik Tenaga Surya | 11 |
| 2.3.1 Sistem PLTS <i>off-grid</i> | 11 |
| 2.3.2 Sistem PLTS <i>on-grid</i> | 12 |
| 2.3.3 Sistem PLTS <i>hybrid</i> | 13 |
| 2.4 <i>Mikrogrid</i> | 14 |
| 2.4.1 <i>AC Mikrogrid</i> | 15 |
| 2.4.2 <i>DC Mikrogrid</i> | 15 |

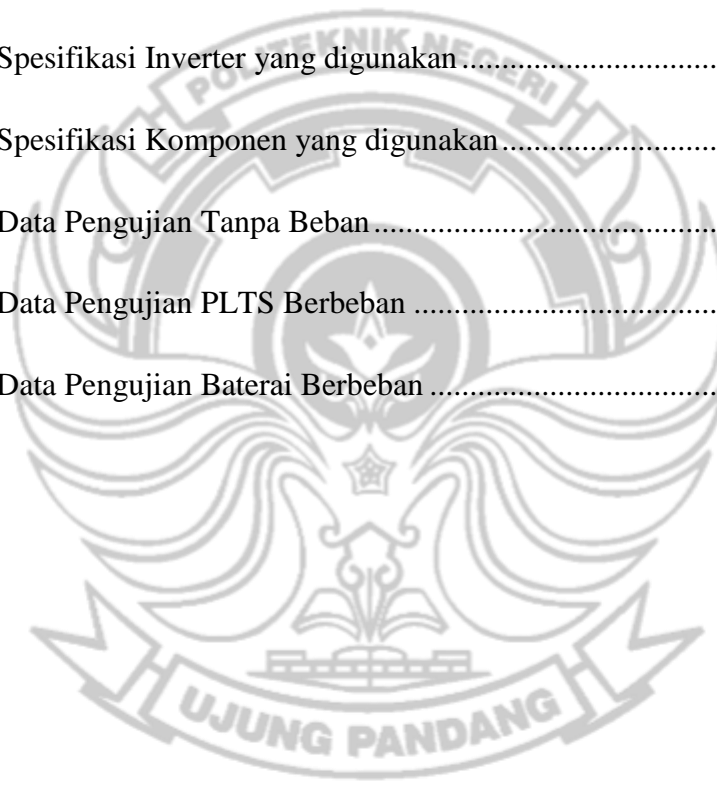
| | |
|---|-----------|
| 2.5 Solar Charge Controller | 16 |
| 2.6 Aki / Akumulator | 18 |
| 2.6.1 Jenis-jenis Aki..... | 20 |
| 2.7 Inverter | 22 |
| 2.8 MCB (Miniature Circuit Breaker)..... | 24 |
| 2.9 Perangkat Perlindungan Surge Protection Device (SPD) | 25 |
| BAB III METODE KEGIATAN | 28 |
| 3.1 Waktu dan Tempat Kegiatan..... | 28 |
| 3.2 Alat dan Bahan..... | 28 |
| 3.2.1 Alat..... | 28 |
| 3.2.2 Bahan | 28 |
| 3.3 Tahap Perancangan..... | 29 |
| 3.3.1 Perancangan sistem..... | 29 |
| 3.3.2 Menghitung total beban | 30 |
| 3.3.3 Menghitung kebutuhan energi harian | 30 |
| 3.3.4 Menghitung daya puncak dan modul surya | 30 |
| 3.3.5 Menghitung jumlah panel surya..... | 30 |
| 3.3.6 Menghitung kebutuhan energi dan baterai..... | 31 |
| 3.3.7 Memilih <i>inverter</i> sesuai daya..... | 31 |
| 3.3.8 Menghitung kebutuhan <i>Solar charge controller</i> | 32 |
| 3.3.9 Perancangan Konstruksi..... | 32 |
| 3.4 Tahap pembuatan dan perakitan | 33 |
| 3.4.1 Rangka panel surya | 33 |
| 3.4.2 <i>Combiner box</i> | 34 |
| 3.4.3 Rangka beban..... | 34 |
| 3.4.2 Rangka sistem | 35 |
| 3.5 Prosedur pengujian..... | 36 |
| 3.5.1 Prosedur pengujian PLTS berbeban..... | 36 |
| 3.5.1 Prosedur pengujian Aki berbeban | 37 |
| 3.5.1 Prosedur pengujian efisiensi panel surya | 38 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| 3.6 Teknik analisa data | 39 |
| BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN | 42 |
| 4.1 Hasil kegiatan..... | 42 |
| 4.1.1 Perakitan konstruksi PLTS | 42 |
| 4.1.2 Sistem kelistrikan..... | 42 |
| 4.2 Hasil Pengujian | 43 |
| 4.2.1 Data hasil pengujian alat..... | 44 |
| BAB V Penutup | 56 |
| 5.1 Kesimpulan | 56 |
| 5.2 Saran..... | 57 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 58 |
| LAMPIRAN..... | 61 |



DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 3.1 Keterangan skematik rangkaian sistem..... | 29 |
| Tabel 3.2 Total beban..... | 30 |
| Tabel 3.3 Spesifikasi Panel Surya yang digunakan | 31 |
| Tabel 3.4 Spesifikasi Baterai yang digunakan | 31 |
| Tabel 3.5 Spesifikasi Inverter yang digunakan | 32 |
| Tabel 3.6 Spesifikasi Komponen yang digunakan..... | 33 |
| Tabel 4.1 Data Pengujian Tanpa Beban | 46 |
| Tabel 4.2 Data Pengujian PLTS Berbeban | 50 |
| Tabel 4.3 Data Pengujian Baterai Berbeban | 54 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Prinsip Kerja Panel Surya | 6 |
| Gambar 2.2 Panel jenis <i>monocrystalline</i> | 9 |
| Gambar 2.3 Panel jenis <i>polycrystalline</i> | 10 |
| Gambar 2.4 Panel jenis <i>thin film</i> | 11 |
| Gambar 2.5 Skema PLTS sistem <i>off-grid</i> | 12 |
| Gambar 2.6 Skema PLTS sistem <i>on-grid</i> | 13 |
| Gambar 2.7 Skema PLTS sistem hybrid..... | 14 |
| Gambar 2.8 Solar Charger Controller | 17 |
| Gambar 2.9 Akumulator..... | 19 |
| Gambar 2.10 Aki basah..... | 20 |
| Gambar 2.11 Aki <i>Hybrid</i> | 21 |
| Gambar 2.12 Aki <i>Calcium</i> | 21 |
| Gambar 2.13 Aki kering..... | 22 |
| Gambar 2.14 Inverter | 22 |
| Gambar 2.15 <i>Bidirectional</i> Inverter | 23 |
| Gambar 2.16 <i>Grid Tie</i> Inverter..... | 24 |
| Gambar 2.17 <i>Miniature Circuit Breaker</i> | 25 |
| Gambar 2.18 Perangkat perlindungan SPD | 27 |
| Gambar 3.1 Skematik rangkaian sistem..... | 29 |
| Gambar 3.2 Perancangan rangka panel surya | 33 |

| | |
|---|----|
| Gambar 3.3 Perancangan Panel Box | 34 |
| Gambar 3.4 Perancangan rangka beban | 35 |
| Gambar 3.5 Rangka sistem | 35 |
| Gambar 3.4 Pengujian PLTS berbeban..... | 37 |
| Gambar 3.5 pengujian Aki berbeban | 38 |
| Gambar 3.6 pengujian efisiensi panel surya | 49 |
| Gambar 3.7 Diagram Alir Kegiatan | 41 |
| Gambar 4.1 Rangka Panel Surya | 42 |
| Gambar 4.2 Panel Box sistem kelistrikan | 43 |
| Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Intensitas Radiasi Matahari terhadap Tegangan Panel..... | 46 |
| Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Effisiensi Panel Surya dan Waktu..... | 50 |
| Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Intensitas Radiasi Matahari dan Daya Input Panel..... | 51 |
| Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Arus Beban AC terhadap waktu..... | 52 |
| Gambar 4.7 Grafik Hubungan Tegangan Vac Terhadap arus Ib | 54 |
| Gambar 4.8 Grafik Hubungan Tegangan baterai (Vb) Terhadap waktu..... | 55 |

DAFTAR SIMBOL

| SIMBOL | SATUAN | KETERANGAN |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| AC | Ampere (A) | Alternating Current |
| DC | Ampere (A) | Direct Current |
| A | Meter Persegi(m ²) | Luas Penampang |
| P | Meter (m) | Panjang Sel Surya |
| L | Meter (m) | Lebar Sel Surya |
| <i>P</i> | Watt (W) | Daya Listrik |
| <i>I_r</i> | W/m ² | Intensitas Radiasi Matahari |
| V | Volt(V) | Tegangan Listrik |
| I | Ampere(A) | Kuat Arus Listrik |
| α | Derajat (°) | Sudut Kemiringan |
| η | Persen (%) | Efisiensi |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| Lampiran 1 Data PLTS Berbeban | 62 |
| Lampiran 2 Data percobaan pengujian efisiensi panel surya dengan tahanan geser | 63 |
| Lampiran 3 Data percobaan aki berbeban..... | 64 |
| Lampiran 4 Dokumentasi kegiatan | 65 |



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Winarty Caturindah P.

NIM : 342 19 043

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam laporan tugas akhir ini, yang berjudul “Rancang Bangun Prototype Pembangkit listrik Tenaga Surya (PLTS) AC Mikrogrid dengan sistem Off-grid” merupakan gagasan, hasil karya sendiri dengan arahan pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya, sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan oleh penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka laporan tugas akhir ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, kami siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 27 September 2022



Winarty Caturindah P.

342 19 043

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rifaldi Alkautsar

NIM : 342 19 038

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam laporan tugas akhir ini, yang berjudul “Rancang Bangun Prototype Pembangkit listrik Tenaga Surya (PLTS) AC Mikrogrid dengan sistem Off-grid” merupakan gagasan, hasil karya sendiri dengan arahan pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya, sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan oleh penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka laporan tugas akhir ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, kami siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 27 September 2022



Rifaldi Alkautsar

342 19 038

RANCANG BANGUN PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) AC MIKROGRID DENGAN SISTEM OFF-GRID

RINGKASAN

PLTS AC mikrogrid dapat dijadikan salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan pemenuhan energi listrik di Indonesia yang belum tersebar secara merata. Namun sebelum hal itu diwujudkan, tentunya diperlukan model atau prototype untuk menguji keadaan serta menambah wawasan tentang wawasan tentang PLTS sebelum diaplikasikan secara aktual sebagai pembangkit energi listrik. Kegiatan ini dilakukan untuk menyediakan pembangkit listrik tenaga surya untuk beban AC, selain itu kegiatan ini juga bertujuan mengetahui kinerja PLTS AC Mikrogrid dengan sistem Off-grid. Dari hasil pengujian kami dapat disimpulkan bahwa efisiensi pembangkit listrik tenaga surya AC Mikrogrid dengan sistem Off-grid sangat bergantung pada tinggi rendahnya intensitas radiasi matahari yang mengenai panel. Nilai maksimum efisiensi panel surya adalah 5,54%, sedangkan nilai minimum efisiensi panel surya adalah 4,16%. Nilai maksimum efisiensi sistem adalah 8,65% , sedangkan nilai minimum efisiensi sistem adalah 7,95%.

Kata kunci: PLTS, AC mikrogrid, Off-grid

BAB I PENDAHULUAN

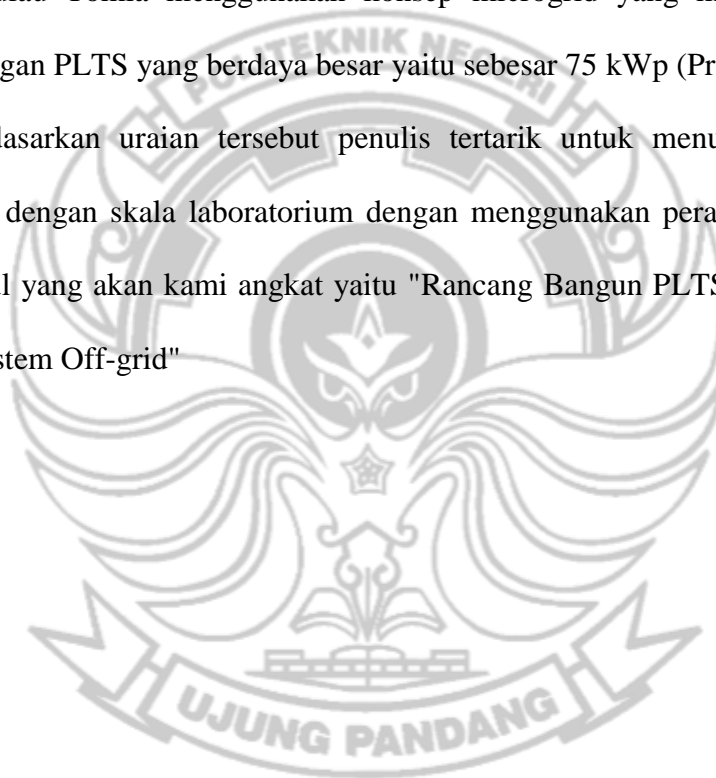
1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan dasar manusia, yang terus meningkat sejalan dengan tingkat kehidupannya. Bahan bakar minyak (BBM) memegang posisi yang sangat dominan dalam pemenuhan kebutuhan energi nasional. Meningkatnya kebutuhan energi mengakibatkan produksi minyak bumi Indonesia mengalami penurunan akibat adanya penurunan secara alamiah dan semakin menipisnya cadangan. Ditengah krisis energi saat ini timbul pemikiran untuk penganekaragaman energi (diversifikasi energi) dengan mengembangkan sumber energi lain sebagai energi alternatif untuk penyediaan konsumsi energi domestik. Pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan perlu dikembangkan mengingat peran dan harga BBM terus meningkat dan melambung tinggi sebagai pengganti untuk penyedia energi yang berkesinambungan (Kholiq, 2015).

Energi surya merupakan sumber energi terbarukan yang tersedia secara berlimpah di Indonesia. Indonesia terletak di garis katulistiwa, sehingga Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4.8 kWh/m² per hari di seluruh wilayah Indonesia. Dengan berlimpahnya sumber energi surya yang belum dimanfaatkan secara optimal, sedangkan di sisi lain ada sebagian wilayah Indonesia yang belum terlistriki karena tidak terjangkau oleh jaringan listrik PLN. Sehingga Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah solusi yang dapat dipertimbangkan sebagai salah satu pembangkit listrik alternatif (Sianipar, 2014).

Wujud pemanfaatan teknologi PLTS sebagai sumber energi alternatif dalam pemenuhan energi listrik adalah Mikrogrid. Mikrogrid sendiri dapat dijelaskan sebagai suatu sistem kelistrikan yang terintegrasi pada wilayah kecil dengan sumber-sumber pembangkit terdistribusi. Saat ini terdapat puluhan instalasi microgrid yang tersebar di Indonesia, salah satunya seperti yang terdapat di pulau Tomia. Pulau Tomia menggunakan konsep microgrid yang mengintegrasikan PLTD dengan PLTS yang berdaya besar yaitu sebesar 75 kWp (Pramana, 2021).

Berdasarkan uraian tersebut penulis tertarik untuk menulis tugas akhir mikrogrid dengan skala laboratorium dengan menggunakan peralatan listrik AC maka judul yang akan kami angkat yaitu "Rancang Bangun PLTS AC Mikrogrid dengan Sistem Off-grid"



1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka masalah dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana menyediakan pembangkit listrik tenaga surya untuk beban AC?
2. Bagaimana efisiensi PLTS AC Mikrogrid dengan sistem *Off-grid*?

1.3 Ruang Lingkup Kegiatan

Untuk memperjelas masalah yang akan dibahas dan tidak terjadi perluasan pembahasan maka dibuatlah suatu batasan masalah. Adapun ruang lingkup permasalahan yang akan dibahas dalam penulisan laporan tugas akhir ini yaitu:

1. Dapat merancang PLTS AC Mikrogrid dengan sistem *Off-grid*.
2. Dapat mengetahui efisiensi dari PLTS AC Mikrogrid dengan sistem *Off-grid*.

1.4 Tujuan Kegiatan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan di atas, maka tujuan yang ingin dicapai yaitu sebagai berikut :

1. Menyediakan pembangkit listrik tenaga surya untuk beban AC
2. Mengetahui kinerja PLTS AC Mikrogrid dengan sistem *Off-grid*.

1.5 Manfaat Kegiatan

Adapun manfaat yang didapatkan dari kegiatan ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil perancangan ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada mahasiswa dan masyarakat mengenai PLTS AC Mikrogrid dengan sistem *Off-grid*.
2. Menjadi referensi tambahan dalam pembuatan maupun pengembangan alat yang memanfaatkan energi surya.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu pembangkit yang merubah energi foton dari energi surya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya. PLTS pada dasarnya memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (*Direct Current*), yang dapat diubah menjadi listrik AC (*Alternating Current*) apabila diperlukan. PLTS adalah pencatu daya dan dapat dirancang untuk kebutuhan listrik dari yang kecil sampai dengan yang besar, baik secara mandiri maupun hibrida (Akmal, 2020).

2.2 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

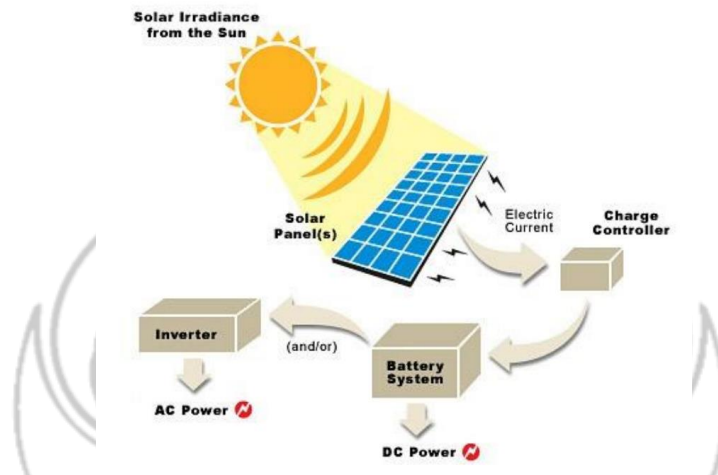
2.2.1 Sel Surya

Sel surya merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi sinar matahari secara langsung menjadi energi listrik. Pada asalnya sel tersebut merupakan suatu diode semikonduktor yang bekerja menurut suatu proses khusus yang dinamakan proses tidak seimbang (*non-equilibrium procces*) dan berlandasan efek (*photovoltaic effect*). Pada umumnya, dalam proses ini sebuah sel surya menghasilkan tegangan antara 0,5 dan 1 Volt, tergantung intensitas cahaya dan zat semikonduktor yang dipakai.

Dalam penggunaanya, sel-sel surya itu dihubungkan satu sama lain, sejajar dan atau dalm seri, tergantung dari apa yang diperlukan, untuk

menghasilkan daya dan kombinasi tegangan dan arus yang dikehendaki (Akmal, 2020).

2.2.2 Prinsip Kerja Panel Sel Surya



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Panel Surya
(Sumber: Rizky, 2020)

Prinsip kerja sel surya ini dimulai dari partikel yang disebut “*Foton*”, *Foton* adalah partikel sinar matahari yang sangat kecil, dan juga partikel matahari tersebut meghatam atom semikonduktor sel surya sehingga dapat menimbulkan energi yang besar untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya, elektron yang terpisah dan bermuatan negatif tersebut akan bebas bergerak pada daerah pita konduksi dari material semi konduktor, sehingga atom yang kehilangan elektron tersebut kekosongan pada strukturnya, kekosongan tersebut dinamakan “*Hole*” dengan muatan positif.

Daerah Semi konduktor dengan elektron bebas ini bersifat negatif dan bertindak sebagai Pendorong elektron, daerah semi konduktor ini disebut dengan

Semi konduktor tipe N. Sedangkan daerah semi konduktor dengan *hole* bersifat Positif dan bertindak sebagai Penerima elektron yang dinamakan dengan Semikonduktor tipe P. Di persimpangan daerah positif dan negatif akan menimbulkan energi yang mendorong elektron dan *hole* untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi daerah negatif sedangkan *hole* akan bergerak menjauhi daerah positif. Ketika diberikan sebuah beban berupa lampu maupun perangkat listrik lainnya di persimpangan positif dan negatif ini, maka akan menimbulkan arus listrik (Rizky, 2020).

Berikut ini adalah persamaan rumus yang digunakan pada panel surya:

- Daya input panel surya

$$P_{in} = I_r \times A \text{ (Watt) } \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana:

P_{in} = daya input panel surya, (Watt)

I_r = intensitas radiasi matahari, (Watt/ m^2)

A = luas panel surya, (m^2)

- Daya output panel surya

$$P_{out} = V \times I \text{ (watt) } \dots\dots\dots(2-2)$$

Dimana:

P_{out} = daya output panel surya, (Watt)

V = tegangan, (Volt)

I = arus, (Ampere)

- Efisiensi panel surya

$$\eta_{\text{panel surya}} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2-3)$$

Dimana:

P_{out} = daya masukan Panel Surya, (Watt)

P_{in} = daya keluaran Panel Surya, (Watt)

Hal-hal yang perlu diperhatikan sebelum merancang panel surya adalah sebagai berikut:

a) Mencari total beban listrik harian:

$$\text{Energi beban} = \text{Daya} \times \text{Lama Pemakaian} \dots\dots\dots(2-4)$$

b) Menentukan Jumlah panel surya yang dibutuhkan:

$$\text{Kapasitas panel surya} = \frac{\text{total beban pemakaian harian}}{\text{Waktu Optimal} \times \text{Kapasitas Panel Surya}} \dots\dots\dots(2-5)$$

c) Sudut kemiringan panel surya

$$\alpha = \delta - \text{lat} \dots\dots\dots(2-6)$$

Dimana:

δ = Sudut dari deklinasi matahari (23,45°)

lat = Titik koordinat lokasi penelitian

2.2.3 Jenis-Jenis Panel Surya

Jenis-jenis panel sel surya :

1.) Monokristal (*Mono-crystalline*)

Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini & menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik

besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan. Contoh gambar dari panel *monocrystalline* dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Panel jenis *monocrystalline*
(Sumber: Gautama, 2021)

2.) Polikristal (*Poly-Crystalline*)

Merupakan Panel Surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikan dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah. Contoh gambar dari panel *polycrystalline* dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Panel jenis *polycrystalline*
(Sumber: Gautama, 2021)

3.) *Thin Film Photovoltaic*

Merupakan Panel Surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokrystalsilicon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per Watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada monokristal & polykristal. Inovasi terbaru adalah *Thin Film Triple Junction Photovoltaic* (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari panel jenis lain dengan daya yang ditera setara (Purwoto, 2014). Contoh gambar dari panel *thin film* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



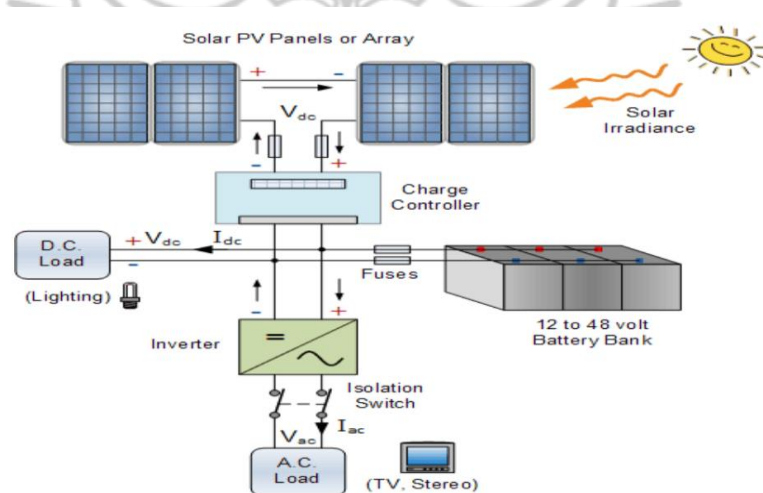
Gambar 2.4 Panel jenis *thin film*
(Sumber: Gautama, 2021)

2.3 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Umumnya ada 3 desain pembangkit listrik tenaga surya yaitu PLTS *Off-grid/stand alone*, PLTS *On-grid* dan PLTS *Hybird*.

2.3.1 Sistem PLTS *Off-Grid*

PLTS sistem *Off-Grid* biasa dikenal PLTS *Stand Alone* artinya sistem hanya disuplai oleh energi matahari yang diserap panel surya saja tanpa ada bantuan dari jenis pembangkit lain. PLTS sistem *Off-Grid* biasanya untuk melistriki daerah yang terisolasi atau daerah pelosok yang susah di jangkau jaringan PLN. Umumnya dalam sistem PLTS *Off-Grid*, kapasitas baterai harus untuk mengantisipasi hari berawan/tidak ada matahari yang disebut *Days of Autonomy* (DoA). Dalam perencanaan kapasitas PV harus menyalurkan kebutuhan beban minimal pada tingkat radiasi 1 kW/m^2 dan secara bersamaan, mampu mengisi baterai dengan jumlah energi yang dibutuhkan dalam periode *discharge* (Gautama, 2021):

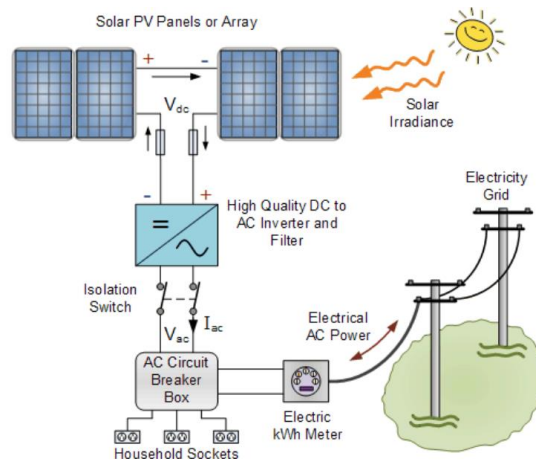


Gambar 2.5 Skema PLTS sistem *off-grid*
(Sumber: Gautama,2021)

2.3.2 Sistem PLTS *On-Grid*

PLTS *On-Grid* merupakan teknologi yang menggunakan sel photovoltaik (sel surya) untuk mengubah sinar matahari (surya) menjadi energi listrik. Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *On-Grid* adalah PLTS yang mampu terkoneksi langsung dengan pembangkit listrik PLN, sehingga dapat terkoneksi langsung dengan jaringan PLN. PLTS dengan konfigurasi *On-Grid* cocok untuk tempat-tempat di mana daya menyala dan sistem di tempat memiliki jam operasi siang hari. Disebut *on-grid* karena PLTS dikaitkan dengan sistem yang ada. Tujuan pengembangan PLTS adalah untuk mengurangi konsumsi bahan bakar.

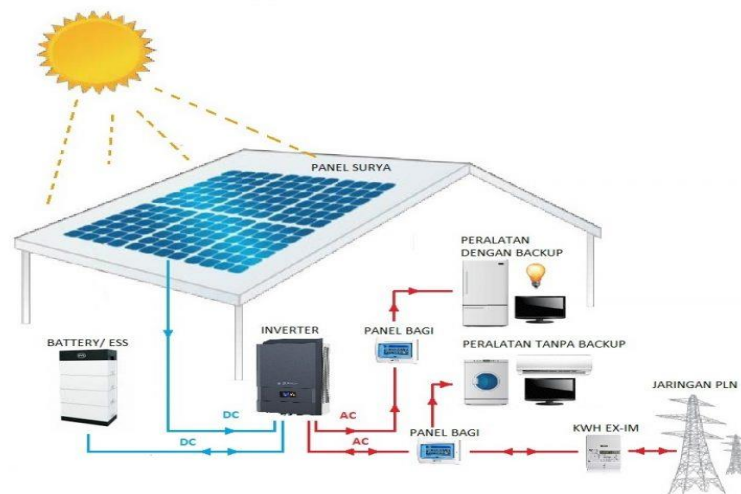
Jenis PLTS "*on-grid*" tidak dilengkapi baterai. Agar PLTS tidak mempengaruhi kestabilan sistem induknya, kapasitasnya hanya dapat dibatasi 20% dari beban rata-rata pada siang hari. PLTS inverter terhubung jaringan juga disebut inverter terhubung jaringan. Ketika jaringan listrik kehilangan tegangan, jenis ini memiliki kemampuan untuk memutuskan (*islanding system*). Sistem ini cocok untuk perkantoran, mall, dan rumah. Sehingga dapat menekan pembayaran biaya PLN atau bahkan dibayar oleh PLN untuk setiap listrik yang disuplai ke jaringan PLN (Gautama, 2021). Komponen-komponen pendukung sistem pembangkit listrik tenaga surya *on-grid* sebagai berikut :



Gambar 2.6 Skema PLTS sistem *on-grid*
(Sumber: Gautama, 2021)

2.3.3 Sistem PLTS *Hybird*

Sistem PLTS *hybird* adalah sistem yang menggabungkan modul surya dengan satu atau lebih pembangkit listrik pelengkap (seperti pembangkit listrik tenaga diesel, gas alam atau angin). Untuk mengoptimalkan koordinasi antara pembangkit listrik ini, sistem hibrida PLTS biasanya membutuhkan peralatan kontrol yang cukup kompleks, daripada sistem PLTS *off-grid* atau sistem mikrogrid fotovoltaik yang terhubung dengan jaringan. Misalnya, dalam kasus menggabungkan atau menggabungkan sistem mikrogrid fotovoltaik dengan pembangkit listrik tenaga diesel, mesin diesel harus dihidupkan saat baterai mencapai tingkat pelepasan tertentu, dan mesin diesel harus dihentikan saat baterai mencapai kondisi yang cukup. Genset merupakan perangkat cadangan yang dapat digunakan untuk mengisi daya baterai saja atau juga untuk menyuplai daya ke beban (Gautama, 2021).



Gambar 2.7 Skema PLTS sistem *hybrid*
 (Sumber: <https://rumahsolarraina.com/jasa-pelayanan/pembangkit-listrik-tenaga-hybrid/>)

2.4 Microgrid

Konsep mikrogrid pertama kali dikembangkan oleh R. H. Lasseter pada tahun 2002 (Lasseter, 2004). Microgrid merupakan jaringan suplai daya dengan skala kecil yang didisain untuk memenuhi daya pada daerah yang terbatas. Menggunakan pembangkit lokal untuk beban tertentu. Menggunakan bermacam-macam sumber energi yang memberikan fleksibilitas dan efisiensi yang tinggi. Terhubung ke pembangkit setempat dan jaringan distribusi terpasang yang dapat mengurangi pemadaman. Kelebihan dayanya dapat dijual ke perusahaan listrik. Ukurannya mulai dari perumahan hingga suatu daerah pemukiman (Haikal, 2020). Microgrid dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama: microgrid AC dan DC berdasarkan pengaturan operasionalnya. Berikut ini adalah deskripsi singkat dari masing-masing jenis ini.

2.4.1 AC Microgrid

Mikrogrid AC menghubungkan berbagai sumber dan beban pembangkit energi di jaringannya menggunakan sistem bus AC. Biasanya, microgrid AC terdiri dari sumber pembangkit terdistribusi seperti energi terbarukan, dan sumber pembangkit listrik konvensional seperti generator berbasis mesin. Generator terdistribusi ini terhubung melalui sistem bus AC dengan media penyimpanan energi seperti sistem penyimpanan energi baterai atau biasa disebut *Battery Energy Storage System* (BESS). Generator terbarukan seperti fotovoltaik surya, turbin angin, dll. menghasilkan keluaran DC. Output ini dapat diubah menjadi AC melalui konverter berbasis elektronika daya.

Keuntungan dari AC mikrogrid adalah :

- a. Kompatibilitas dengan peralatan AC seperti beban berbasis AC contohnya motor. Peralatan ini dapat diberi daya dengan mudah dengan AC yang dipasok dari mikrogrid.
- b. Efisiensi biaya dalam sistem proteksi daya.
- c. Tidak ada persyaratan inverter untuk beban AC.

2.4.2 DC microgrid

Jaringan listrik mikro arus serah (JLMAS) adalah suatu jaringan yang disuplai oleh beberapa pembangkit terdistribusi (*distributed generation/DG*) yang berskala kecil, jaringan listrik mikro terletak di sekitar pusat beban, yang dapat memenuhi kebutuhan sendiri dan dapat mensuplai ke jaringan utama dengan memperhatikan kesetabilan dan keandalan sistem yang ada. Jaringan listrik mikro

arus searah dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan daya listrik yang meningkat seiring dengan pengembangan sistem jaringan mikro.

Jaringan listrik mikro arus searah dapat menghilangkan konverter DC-AC atau AC-DC sehingga didapat efisiensi yang tinggi, biaya yang rendah dan jarak jaringan yang pendek. JLMAS menggunakan pembangkit yang ramah lingkungan dengan menggunakan sumber arus searah, demikian juga pada peralatan-peralatan beban juga menggunakan arus searah seperti pada peralatan elektronik dan digital (Budiyanto & Rudy Setiabudy, 2014).

2.5 Solar Charge Controller

Pengendali *Solar Charge* adalah perangkat, yang mengontrol pengisian baterai dari sel surya dan juga mengontrol baterai yang mengalir melalui beban. *Pengontrol Solar Charge* sederhana memeriksa baterai apakah memerlukan pengisian daya dan jika ya ia memeriksa ketersediaan tenaga surya dan mulai mengisi daya baterai. Setiap kali pengontrol menemukan bahwa baterai telah mencapai level tegangan pengisian penuh, itu kemudian menghentikan pengisian dari sel surya. Di sisi lain, ketika ditemukan tidak ada tenaga surya tersedia maka diasumsikan bahwa itu adalah malam hari dan menyalakan beban. Itu terus pada beban sampai baterai mencapai ke tingkat tegangan minimum untuk mencegah baterai *dip-discharge*. Pengendali Pengisian secara bersamaan juga memberikan indikasi seperti pengisian baterai, beban, pengisian daya, dll (Rahman, 2012). Contoh gambar dari panel *Solar Charger Controller* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 *Solar Charger Controller*
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/XJtVVRAScV4C7cFS8>)

Rangkaian *Solar Charge Controller* terdiri dari 2 jenis yaitu rangkaian seri dan paralel, perbedaan dari kedua rangkaian tersebut ialah letak komponen pemutus pada rangkaian dimana pada rangkaian seri komponen pemutus rangkaian disusun secara seri antara modul surya dan baterai, sedangkan pada rangkaian paralel komponen pemutus rangkaian disusun secara paralel sehingga mengizinkan terjadinya hubungan arus pendek pada modul surya.

Fungsi utama dari *charge controller* adalah untuk mempertahankan keadaan baterai dengan mencegah terjadinya distribusi arus dan tegangan yang berlebihan pada baterai. Terdapat setidaknya dua jenis *charge controller* yaitu yang menggunakan teknologi PWM (*Pulse width modulation*) dan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). *Charge controller* PWM akan melakukan pengisian muatan listrik ke aki dengan arus yang besar ketika aki kosong, dan kemudian arus pengisian diturunkan secara bertahap ketika aki semakin penuh (Astra, 2011).

2.6 Aki / Akumulator

Aki adalah sebuah sel atau elemen sekunder dan merupakan sumber arus listrik searah yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Aki termasuk elemen elektrokimia yang dapat mempengaruhi zat pereaksinya, sehingga disebut elemen sekunder. Kutub positif aki menggunakan lempeng oksida dan kutub negatifnya menggunakan lempeng timbal sedangkan larutan elektrolitnya adalah larutan asam sulfat. Ketika aki dipakai, terjadi reaksi kimia yang mengakibatkan endapan pada anode (reduksi) dan katode (oksidasi). Maka Akibatnya dalam waktu tertentu antara anode dan katode tidak ada beda potensial, artinya aki menjadi kosong.

Supaya aki dapat dipakai lagi, harus diisi dengan cara mengalirkan arus listrik kearah yang berlawanan dengan arus listrik yang dikeluarkan aki itu. Ketika aki diisi dengan arus akan terjadi pengumpulan muatan listrik. Pengumpulan jumlah muatan listrik dinyatakan dalam ampere jam disebut tenaga aki. Pada kenyataannya, pemakaian aki tidak dapat mengeluarkan seluruh energi yang tersimpan aki itu. Oleh karenanya, aki mempunyai rendemen atau efisiensi. Aki adalah sebuah alat yang dapat menyimpan energi (umumnya energi listrik) dalam bentuk energi kimia. Contoh-contoh aki adalah baterai dan kapasitor. Pada umumnya di Indonesia, kata akumulator (sebagai aki atau accu) hanya dimengerti sebagai "aki" mobil. Sedangkan di bahasa Inggris, kata akumulator dapat mengacu kepada baterai, kapasitor, kompulsator, dll. Contoh gambar dari akumulator dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Akumulator
 (Sumber: <https://images.app.goo.gl/T4x8yA9KJJAe18eMA>)

Kapasitas battery dalam Ampere-Hour (Ah) dapat dihitung berdasarkan total beban yang dilayani dan waktu beban tersebut beroperasi, dengan perhitungan sebagai berikut:

- Total energi konsumen

$$E_{ac} = V_{rms} \times I_{rms} \times PF \times t \dots\dots\dots(2-7)$$

Dimana:

E_{ac} = Total energy konsumen (Wh)

V_{rms} = Tegangan system (12 VDC)

I_{rms} = Arus listri yang disuplai (A)

PF = Asumsi factor konversi energy battery (power factor =0,9)

t = Waktu (jam)

- Jumlah baterai

$$\text{Jumlah baterai} = \frac{\text{Total daya konsumen}}{\text{Kapasitas baterai}} \dots\dots\dots(2-8)$$

2.6.1 Jenis-Jenis Akumulator atau AKI

1. Aki Basah

Hingga saat ini aki yang populer digunakan adalah aki model basah yang berisi cairan asam sulfat (H_2SO_4). Ciri-ciri utamanya memiliki lubang dengan penutup yang berfungsi untuk menambah air aki saat aki kekurangan akibat penguapan saat terjadi reaksi kimia antara sel dan air aki. Sel-selnya menggunakan bahan timbal (Pb). Kelemahan aki jenis ini adalah cairannya bersifat sangat korosif. Uap air aki mengandung *hydrogen* yang cukup rentan terbakar dan meledak jika terkena percikan api. Memiliki sifat *self-discharge* paling besar dibanding aki lain sehingga harus dilakukan penyetruman ulang saat aki didiamkan terlalu lama. Contoh gambar dari aki basah dapat dilihat pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 Aki Basah

(Sumber: <https://images.app.goo.gl/QRN2cyFq5py4ByNL8>)

2. Aki Hybrid

Pada dasarnya aki *hybrid* tak jauh berbeda dengan aki basah. Bedanya terdapat pada material komponen sel aki. Pada aki *hybrid* selnya menggunakan *low-antimonial* pada sel (+) dan kalsium pada sel (-). Aki jenis ini memiliki

performa dan sifat *self-discharge* yang lebih baik dari aki basah konvensional.

Contoh gambar dari aki *hybrid* dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Aki *Hybrid*

(Sumber: <https://images.app.goo.gl/QRN2cyFq5py4ByNL8>)

3. Aki *Calcium*

Kedua selnya, baik (+) maupun (-) menggunakan material kalsium. Aki jenis ini memiliki kemampuan lebih baik dibanding aki *hybrid*. Tingkat penguapannya lebih kecil dibanding aki basah konvensional. Contoh gambar dari aki *calcium* dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Aki *Calcium*

(Sumber: <https://images.app.goo.gl/WtcGtMMtggPs4Rxb6>)

4. Aki Bebas Perawatan/*Maintenance Free* (MF)/ Aki kering

Aki jenis ini dikemas dalam desain khusus yang mampu menekan tingkat penguapan air aki. Uap aki yang terbentuk akan mengalami kondensasi sehingga dan kembali menjadi air murni yang menjaga level air aki selalu pada kondisi ideal sehingga tak lagi diperlukan pengisian air aki. Aki jenis ini biasanya terbuat

dari basis jenis aki *hybrid* maupun aki kalsium. Contoh gambar dari aki kering dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Aki Kering
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/N2DmWUHERY3w5hU1A>)

2.7 Inverter

Inverter adalah komponen elektronika pendukung panel PV untuk mengubah arus searah (*direct current*, DC) menjadi arus bolak balik (*alternating current*, AC) yang umumnya peralatan listrik butuhkan. Pemilihan inverter yang tepat untuk aplikasi tertentu tergantung kepada kebutuhan beban dan juga kepada sistem itu sendiri, apakah sistem yang terhubung ke jaringan listrik (*grid connected*) atau sistem yang berdiri sendiri (*stand alone system*) (Haikal, 2020). Contoh gambar dari Inverter dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Inverter
(Sumber: Gautama, 2021)

Macam-macam inverter pada PLTS :

1) *Bidirectional* inverter

Bidirectional inverter dikenal juga dengan *Power Conditioner* ataupun PIM (*Power Inverter Modul*). Inverter jenis ini selain berfungsi untuk mengkonversi arus listrik DC ke AC, dapat juga berfungsi mengkonversi Arus AC menjadi arus DC (*rectifier*). Input DC untuk inverter ini dapat berasal Modul surya atau kelompok modul surya, Charge Controller ataupun baterai. Sedangkan input AC-nya dapat berasal dari Genset ataupun keluaran Grid Inverter untuk pengisian baterai (Haikal, 2020). Contoh gambar dari *Bidirectional Inverter* dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 *Bidirectional Inverter*
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/tzVxEBwRrTv4aEeu5>)

2) *Grid Tie* Inverter / *On Grid* Inverter

Grid Inverter atau *Grid Tie* Inverter atau *Grid Export Conditioner* (GEC) adalah merupakan perangkat konversi arus listrik DC yang dihasilkan modul surya atau kelompok modul surya menjadi arus AC yang langsung mensuplai ke beban AC (jaringan listrik). Inverter tipe ini disebut juga dengan *synchronous inverter* atau *grid-interactive inverter*. Inverter ini memiliki dua fitur yang handal dan penting, yakni kemampuannya dalam mencocokkan atau mensinkronisasi tegangan AC atau disebut juga “*Phase matching*” serta proteksi terhadap

gangguan pada *grid* atau “*reaction to Power outage*”. Sehingga *grid inverter* bekerja berdasarkan tegangan referensi dari jaringan listrik/PLN. Jika tidak ada tegangan referensi dari jaringan listrik (*grid*) maka inverter ini tidak akan bekerja. Contoh gambar dari *Grid Tie Inverter* dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 *Grid Tie Inverter*
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/f3PMaFgSZVcCJBRg6>)

Desain sistem inverter jenis inipun sedikit berbeda dengan inverter jenis *stand alone*. Tegangan *Output* dari inverter jenis GTI harus memenuhi beberapa persyaratan agar inverter dapat terhubung dengan jaringan listrik PLN (tersinkronisasi) dan mengirimkan daya ke jaringan listrik tersebut. Beberapa persyaratan tersebut adalah :

- Tegangan dan fasa inveter harus sama dengan yang dimiliki jaringan listrik PLN.
- Frekuensi dari tegangan yang dihasilkan haruslah sama dengan frekuensi jaringan listrik PLN, (50 Hz untuk Indonesia).

2.8 MCB (*Miniature Circuit Breaker*)

MCB (*Miniature Circuit Breaker*) adalah komponen dalam instalasi listrik rumah yang mempunyai peran sangat penting. Komponen ini berfungsi sebagai sistem proteksi dalam instalasi listrik bila terjadi beban lebih dan hubung singkat arus listrik (*short circuit*). Kegagalan fungsi dari MCB ini berpotensi menimbulkan masalah seperti timbulnya percikan api karena hubung singkat yang akhirnya bisa menimbulkan kebakaran. Contoh gambar dari *Miniature Circuit Breaker* dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 *Miniature Circuit Breaker*
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/2YPaTFR9jiM5mH4NA>)

Pada instalasi listrik rumah MCB dipasang di kWh meter listrik PLN dan juga pada kotak MCB. Jika di rumah terjadi trip disebabkan beban lebih atau hubung singkat, maka yang akan dicari untuk menyalakan listrik PLN adalah MCB yang ada di kWh meter atau pada kotak MCB.

2.9 Perangkat Perlindungan *Surge Protection Device (SPD)*

Surge Protection Device SPD juga dinamai *surge arrester*, Semua pelindung lonjakan arus untuk tujuan tertentu sebenarnya adalah sejenis sakelar cepat, dan pelindung lonjakan arus diaktifkan dalam rentang tegangan tertentu. Setelah diaktifkan, komponen penekan pelindung lonjakan arus akan diputuskan dari

status impedansi tinggi, dan kutub L akan diubah menjadi status resistansi rendah. Dengan cara ini, arus lonjakan energi lokal di perangkat elektronik dapat dilepaskan. Selama seluruh proses petir, pelindung lonjakan arus akan mempertahankan tegangan yang relatif konstan di seluruh kutub. Tegangan ini memastikan bahwa pelindung lonjakan arus selalu aktif dan dapat dengan aman melepaskan arus lonjakan ke bumi. Dengan kata lain, pelindung lonjakan arus melindungi peralatan elektronik yang sensitif dari efek peristiwa petir, aktivitas pengalihan di jaringan umum, proses koreksi faktor daya, dan energi lain yang dihasilkan oleh aktivitas jangka pendek internal dan eksternal.

Lonjakan, seperti namanya adalah tegangan lebih transien yang melebihi tegangan operasi normal. Intinya, pelindung lonjakan arus adalah denyut kuat yang terjadi hanya dalam beberapa sepersepuluh detik dan dapat menyebabkan lonjakan: alat berat, korsleting, sakelar daya, atau mesin besar. Produk yang mengandung arrester lonjakan dapat secara efektif menyerap semburan energi tiba-tiba untuk melindungi peralatan terhubung dari kerusakan. Pelindung lonjakan arus, disebut juga penangkal petir, adalah perangkat elektronik yang memberikan perlindungan keamanan untuk berbagai perangkat elektronik, instrumen, dan jalur komunikasi. Ketika arus atau tegangan tiba-tiba muncul secara tiba-tiba di sirkuit listrik atau jalur komunikasi karena gangguan eksternal, pelindung lonjakan arus dapat melakukan shunt dalam waktu yang sangat singkat, sehingga menghindari kerusakan pada peralatan lain di sirkuit tersebut oleh

lonjakan arus. Contoh gambar dari Perangkat Perlindungan *Surge Protection Device* dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Perangkat perlindungan SPD

(Sumber: <https://images.app.goo.gl/S8JxCY14FKFToCzJ7>)

Perangkat Perlindungan Surge adalah perangkat yang sangat diperlukan untuk proteksi petir peralatan elektronik. Dulu disebut "arrester" atau "pelindung tegangan lebih". Bahasa Inggris disingkat SPD. Peran pelindung lonjakan arus adalah untuk Tegangan lebih transien ke saluran listrik dan saluran transmisi sinyal dibatasi pada rentang tegangan yang dapat ditahan oleh peralatan atau sistem, atau arus petir yang kuat dibuang ke tanah untuk melindungi peralatan yang dilindungi atau sistem dari benturan dan kerusakan. Jenis dan struktur pelindung lonjakan bervariasi dari aplikasi ke aplikasi, tetapi harus berisi setidaknya satu komponen pembatas tegangan non-linier.

Penggunaan alat perlindungan surge SPD:

1. Pelindung daya: Pelindung daya AC, pelindung daya DC, pelindung daya switching, dll.
2. Pelindung sinyal: pelindung sinyal frekuensi rendah, pelindung sinyal frekuensi tinggi, pelindung pengumpan antena, dll.

BAB III METODE KEGIATAN

3.1 Waktu dan tempat kegiatan

Kegiatan ini dilakukan di Lab Konversi Energi, jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang. Waktu pengerjaan dilakukan selama 6 bulan, dimulai pada bulan Maret 2022 hingga bulan Agustus 2022.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan pada proses pembuatan rancang bangun ini adalah sebagai berikut:

- *Solar power meter (Pyranometer)*
- Las
- Mesin bor
- Gerinda
- Kipas angin
- Tang Potong
- Obeng + dan Obeng -
- Multimeter

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada proses pembuatan rancang bangun ini adalah sebagai berikut:

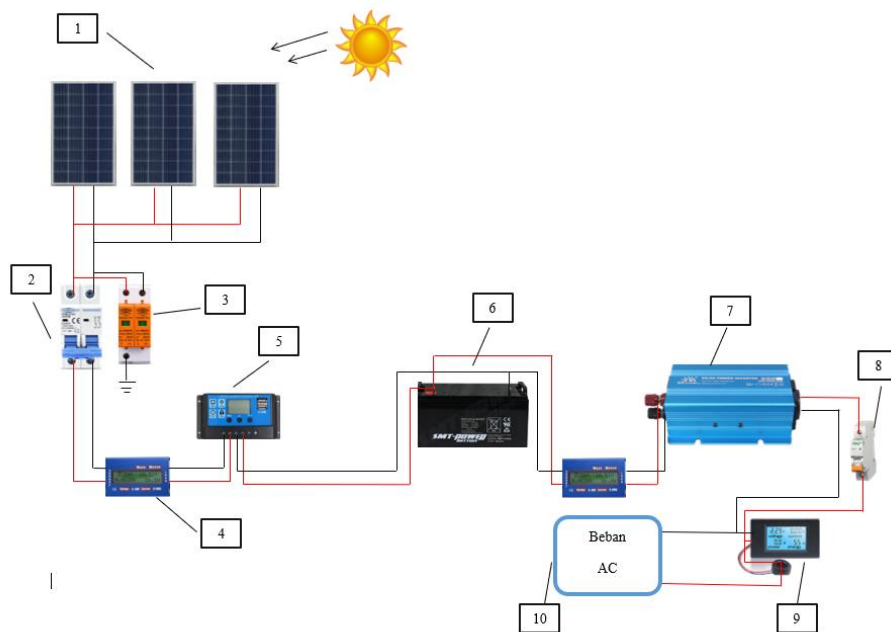
- Kabel serabut & kabel tunggal
- Panel surya
- Baut & mur
- Aki
- Inverter
- Besi *hollow*
- Panel box
- Besi serbaguna
- Digital Wattmeter
- MCB AC & MCB DC
- Stop kontak
- *Solar Charge Controller*

3.3 Tahap Perancangan

Dasar perancangan digunakan sebagai peninjau untuk memilih komponen-komponen apa saja yang akan digunakan.

3.3.1 Perancangan Sistem

Adapun skematik rangkaian sistem yang dirancang adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Skematik rangkaian sistem

Tabel 3.1 Keterangan skematik rangkaian sistem

| Part List | |
|-----------|--|
| Item | Nama |
| 1 | Panel Surya |
| 2 | MCB DC |
| 3 | SPD (<i>Surge protective Device</i>) |
| 4 | <i>Wattmeter Digital DC</i> |
| 5 | <i>Solar Charger Controller</i> |
| 6 | Aki |
| 7 | <i>Inverter</i> |
| 8 | MCB AC |
| 9 | <i>Wattmeter Digital AC</i> |
| 10 | Beban AC (Lampu & Kipas angin) |

3.3.2 Menghitung total beban

Tabel 3.2 Total Beban

| Beban Listrik | Daya beban listrik | Waktu | Total daya |
|-------------------------|--------------------|--------|------------|
| Lampu Pijar kamar | 1 x 10 Watt | 7 jam | 70 Wh |
| Lampu Pijar kamar mandi | 1 x 5 Watt | 8 jam | 40 Wh |
| Lampu Pijar teras | 1 x 10 Watt | 12 jam | 120 Wh |
| Kipas angin | 1 x 15 Watt | 7 jam | 105 Wh |
| Lampu Pijar dapur | 1 x 25 Watt | 6 jam | 150 Wh |
| Lampu Pijar Ruang Tamu | 1 x 25 Watt | 7 jam | 175 Wh |
| | | Total | 660 Wh |

3.3.3 Menghitung kebutuhan energi harian

total kebutuhan energi harian = 660 Wh = 0,66 kWh

3.3.4 Menghitung daya puncak dan modul surya

Daya puncak PLTS sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{kW(peak) PLTS} &= \text{kWh} : \text{irradiasi harian setepat} \dots\dots\dots(3-1) \\ &= 0,66 : 5,1 = 0,129 \text{ kWp} \end{aligned}$$

Nilai tersebut perlu ditambahkan dengan 15-25% sebagai rugi sistem sehingga daya puncak setelah penambahan sistem adalah 0,379 kWp.

3.3.5 Menghitung jumlah Panel surya

$$\begin{aligned} \text{Jumlah modul} &= \frac{\text{daya puncak modul Surya (total Wp)}}{Wp \text{ modul}} \dots\dots\dots(3-2) \\ &= \frac{379}{150} = 2,5 \\ &= 3 \text{ Pcs} \end{aligned}$$

Tabel 3.3 Spesifikasi Panel Surya yang digunakan:

| Tesla | |
|--|----------------|
| Kapasitas | Nilai |
| Rated Maximum Power (Pmax) | 150 W |
| Power Tolerance(W) | ±3 % |
| Voltage at pamx(Vmp) | 18.50 V |
| Current at pamx(Imp) | 8.40 A |
| Open-circuit voltage(Voc) | 22.40 V |
| Short-circuit Current(Isc) | 9.19 A |
| Dimension | 1480×670×35 cm |
| ALL technical data at standard condition E = 1000 W/m ² ; T = 25°C | |

3.3.6 Menghitung kebutuhan energi dan baterai

Kapasitas Baterai = 12 Volt

DoD = 80 %

Autonomy = 1 Hari

Kuat Arus per Jam = 100 Ah

$$\text{Kapasitas baterai} = \frac{\text{Total kebutuhan listrik rumah} \times 1}{\text{Dod} \times \text{Vs}} \dots\dots\dots(3-3)$$

$$= \frac{660 \times 1}{0,8 \times 12} = 68,75 \text{ Ah}$$

$$\text{Jumlah baterai yang dibutuhkan} = \frac{68,75 \text{ Ah}}{100 \text{ Ah}} = 0,68 \rightarrow 1 \text{ buah.}$$

Tabel 3.4 Spesifikasi Baterai yang digunakan

| Luminous 12V 100 Ah | |
|----------------------------|---------------|
| Nominal Voltage | 12 V |
| Number Of Cell | 6 |
| Cycle use | 14.1 1-14,4 V |
| Maximum Charging current | 27 A |

| | |
|--------------------------|----------------|
| Temperature Compensation | -30m V/C |
| Standby Use | 13.6-13-13.8 V |
| DoD | 80 % |
| Temperature Compensation | -20 mV/C |

3.3.7 Memilih inverter sesuai daya

$$\begin{aligned}
 \text{Daya Inverter} &= W_{\text{maks}} + (25\% \times W_{\text{maks}}) \dots \dots \dots (3-4) \\
 &= 660 + (25\% \times 660) \\
 &= 825 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Tabel 3.5 Spesifikasi Inverter yang digunakan

| Inverter Technical Meter | |
|--------------------------|-----------------------------|
| Model | 800 W |
| Inout Voltage | DC 10-14.8 V (DC 20-30 V) |
| Output Voltage | Ac 200-230 V / Ac 100-120 V |
| Output Frequency | 50 Hz – 60 Hz |
| Efficiency up to | 90.5 % |
| Operating temperature | -15°C--50°C |
| LowVoltage range | <9.6 V (<19,5 V) |
| Over voltage range | >15 V (>30 V) |

3.3.8 Menghitung kebutuhan Solar Charge Controller

$$\begin{aligned}
 \text{Daya Scc} &= I_{\text{sc}} \times \text{Jumlah Panel} \dots \dots \dots (3-5) \\
 &= 9,19 \text{ A} \times 3 \\
 &= 27,57 \\
 &= 30 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Tabel 3.6 Spesifikasi Komponen yang digunakan

| Komponen | Parameter | Nilai |
|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| Solar Charge Controller | Rated Voltage | 12V/24 V |
| | Rated Current | 40 A |
| | Max. PV Voltage | 50 V |
| | Max. PV Input Power | 390 W (12 V) 780 W (24 V) |
| Surge Protection Device DC | I _{max} | 40 kA |
| | I _n | 20 kA |
| | U _c | 1000 VDC |
| | U _p | ≤ 1,8 kV |
| MCB DC | Rated Voltage | DC 440V |
| | Rated Current | 40 A |
| | poles | 2 P |
| | Breaking Current I _{cu} (A) | 6 kA |
| MCB AC | Rated Current | 10 A |
| | Rated operational Voltage | 220...240 V AC 50 Hz |
| | poles | 1 P |
| | Breaking capacity | 4500 A |
| Wattmeter DC | Voltage | 0-600 V |
| | Current | 0-100 A.P |
| | Power | 0-6554 W |
| | Charge | 0-65 AH |
| | Energy | 0-6554 Wh |
| Watt KWH meter | Model | P06S-20 |
| | Working voltage | 110-250 V |
| | Rated Current | 20 A |
| | Rated Power | 4400 W |

3.3.9 Perancangan Konstruksi

Pada proses pembuatan konstruksi panel surya diperlukan ketelitian saat menentukan sudut kemiringan panel surya untuk mendapatkan pancaran sinar matahari yang optimal. Orientasi dan kemiringan panel surya dengan titik koordinat 5,12° LS 119,48° BT menggunakan rumus pada persamaan 2.6 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\alpha &= \delta - \text{lat} \\ &= 23,45^\circ - 5,12^\circ \\ &= 18,33^\circ\end{aligned}$$

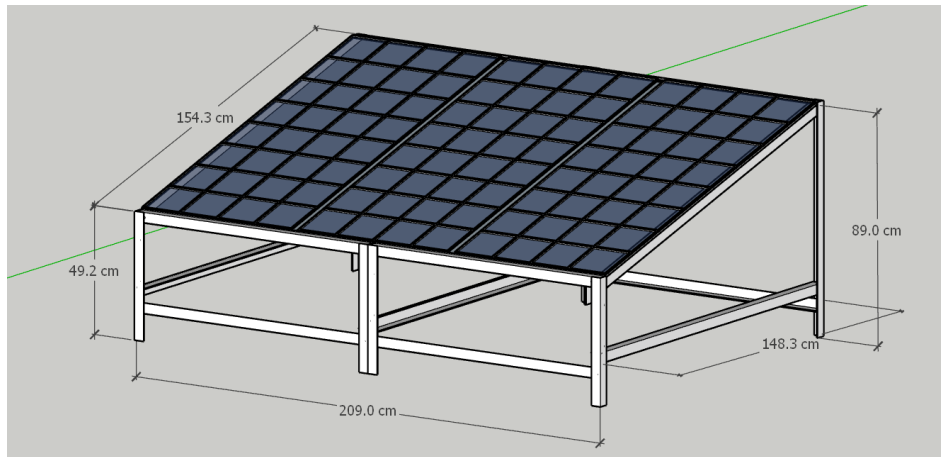
3.4 Tahap Pembuatan dan Perakitan

3.4.1 Rangka Panel Surya

Prosedur pembuatan dan perakitan rangka panel surya yaitu sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan
- 2) Memotong besi serbaguna sesuai dengan ukuran dimensi panel surya yang akan digunakan.
- 3) Menyusun potongan besi serbaguna secara memanjang untuk menopang pael surya, setelah itu disatukan dengan memasang baut dan mur.
- 4) Setelah mengetahui sudut kemiringan rangka panel surya, selanjutnya mengukur dan memotong besi serbaguna yang akan digunakan

sebagai kaki rangka kemudian memasang kembali baut dan mur untuk menyatukan besi serbaguna.



Gambar 3.2 Perancangan rangka panel surya

3.4.2 Combiner Box

Prosedur pembuatan *Combiner Box* yaitu:

- 1) Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan
- 2) Menentukan ukuran panel box sesuai dengan jumlah dan ukuran komponen yang akan dirangkai.
- 3) Memasang komponen pada panel box yang terdiri dari MCB, *wattmeter digital*, *Solar Charge Controller*, dan *Inverter*.
- 4) Setelah Komponen-komponen tersebut dipasang kemudian dirangkai agar dapat berfungsi.

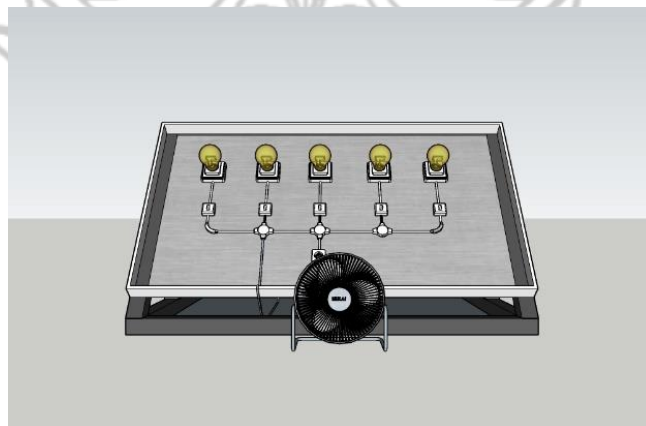


Gambar 3.3 Perancangan Panel Box

3.4.3 Rangka Beban

Prosedur pembuatan rangka beban yaitu:

- 1) Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan
- 2) Menentukan ukuran rangka beban sesuai dengan jumlah dan ukuran beban yang akan digunakan.
- 3) Memotong dan melakukan pengelasan besi hollow sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan.

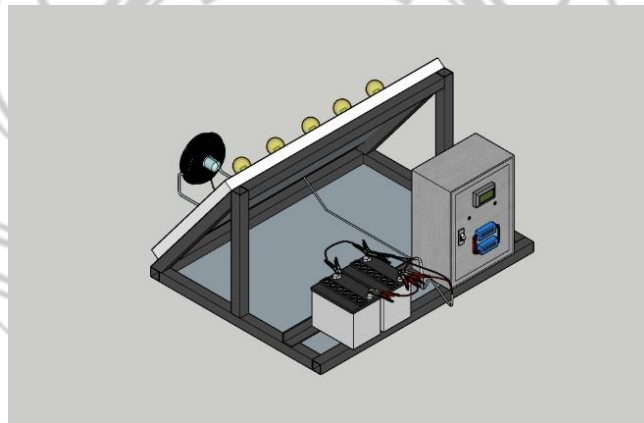


Gambar 3.4 Perancangan rangka beban

3.4.4 Rangka Sistem

Prosedur pembuatan rangka sistem yaitu:

- 1) Menyiapkan panel surya, panel box dan rangka beban
- 2) Memasang komponen pada panel box yang terdiri dari *MCB*, *wattmeter digital*, *Solar Charge Controller*, dan *Inverter*.
- 3) Memasang beban lampu dan kipas angin pada rangka beban
- 4) Setelah komponen-komponen tersebut dipasang kemudian dirangkai agar dapat berfungsi



Gambar 3.5 Rangka sistem

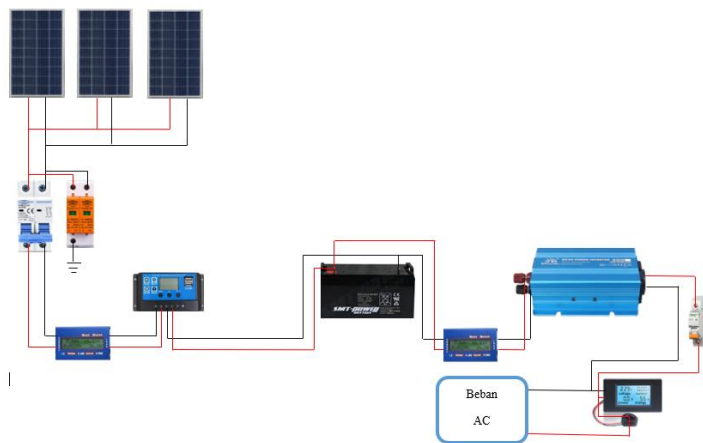
3.5 Prosedur Pengujian

3.5.1 Prosedur pengujian PLTS berbeban

- 1) Memasang dan merangkai panel surya, panel box dan beban untuk pengujian.
- 2) Mengaktifkan saklar beban lampu dan menyalakan kipas angin.
- 3) Mencatat hasil pengukuran kedalam tabel pengamatan.

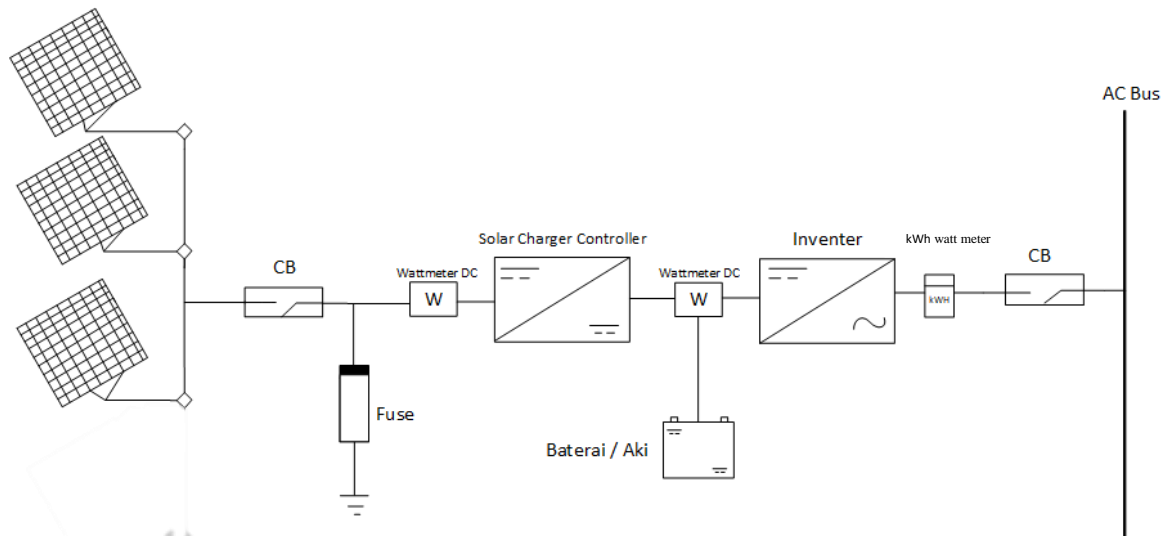
Adapun parameter yang akan diukur adalah :

- a. Intensitas radiasi matahari, I_r (Watt/m^2)
 - b. Tegangan keluaran panel surya, V (Volt)
 - c. Arus Keluaran panel surya, I (Ampere)
 - d. Tegangan input aki, V (Volt)
 - e. Arus input aki, I (Ampere)
 - f. Tegangan input inverter, V (Volt)
 - g. Arus input inverter, I (Amperer)
 - h. Tegangan Beban AC, V (Volt)
 - i. Arus beban AC, I (Ampere)
- 4) Menganalisis hasil pengamatan.
 - 5) Membuat kesimpulan tentang pengujian yang telah dilakukan.
 - 6) Pengujian selesai.
- a) Rangkaian kontrol Plts Ac microgrid dengan sistem off-grid



Gambsr 3.6 pengujian PLTS berbeban

b) Rangkaian Single Line diagram



Gambar 3.7 Rangkaian single line diagram plts ac microgrid dengan sistem off-grid

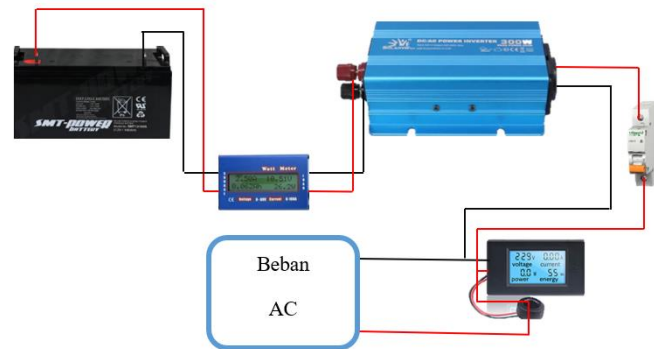
3.5.2 Prosedur pengujian Aki berbeban

- 1) Memasang dan merangkai panel box dan beban untuk pengujian.
- 2) Mengaktifkan saklar beban lampu dan menyalakan kipas angin.
- 3) Mencatat hasil pengukuran kedalam tabel pengamatan.

Adapun parameter yang akan diukur adalah :

- a. Tegangan Output aki, V (Volt)
 - b. Arus Output aki, I (Ampere)
 - c. Tegangan input inverter, V (Volt)
 - d. Arus input inverter, I (Amperer)
 - e. Tegangan Beban AC, V (Volt)
 - f. Arus beban AC, I (Ampere)
- 4) Menganalisis hasil pengamatan.

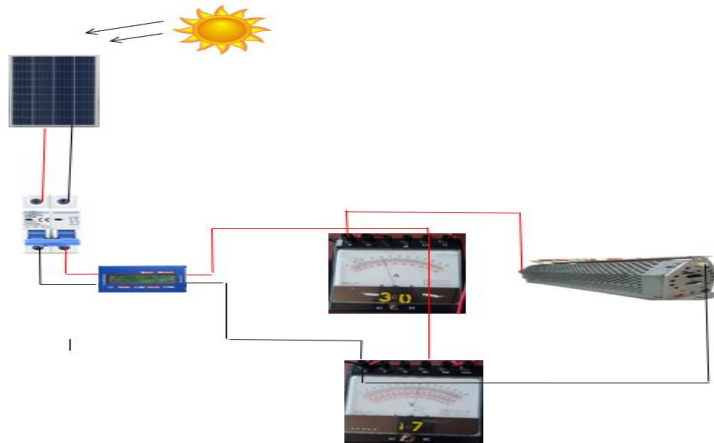
- 5) Membuat kesimpulan tentang pengujian yang telah dilakukan.
- 6) Pengujian selesai.



Gambar 3.8 Pengujian Aki berbeban

3.5.3 Prosedur pengujian efisiensi panel surya

- 1) Memasang dan merangkai tahanan geser, Voltmeter, dan amperemeter untuk pengujian.
- 2) Mencatat hasil pengukuran kedalam tabel pengamatan.
Adapun parameter yang akan diukur adalah :
 - a. Intensitas radiasi matahari, I_r (Watt/m^2)
 - b. Tegangan keluaran panel surya, V (Volt)
 - c. Arus Keluaran panel surya, I (Ampere)
 - d. Tegangan tahanan geser, V (Volt)
 - e. Arus tahanan geser, I (Ampere)
- 3) Menganalisis hasil pengamatan.
- 4) Membuat kesimpulan tentang pengujian yang telah dilakukan.
- 5) Pengujian selesai.



Gambar 3.9 Pengujian efisiensi Panel Surya

3.6 Teknik Analisa Data

Adapun teknik analisis data diperoleh dari persamaan-persamaan yang akan digunakan sebagai berikut:

- Daya input panel surya menggunakan rumus pada persamaan 2.1

$$P_{in} = I_r \times A$$

Dimana :

P_{in} = Daya input panel surya, (Watt)

I_r = Intensitas radiasi matahari, (Watt/m²)

A = Luas panel surya, (m²)

- Daya output panel surya menggunakan rumus pada persamaan 2.2

$$P_{out} = V \times I$$

Dimana :

P_{out} = Daya output panel surya, (Watt)

V = Tegangan, (Volt)

I = Arus, (Ampere)

- Efisiensi Panel Surya menggunakan rumus pada persamaan 2.3

$$\eta \text{ panel surya} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

Dimana :

- $\eta_{\text{panel surya}}$ = Efisiensi panel surya, (%)
- P_{out} = Daya keluaran panel surya, (Watt)
- P_{in} = Daya masukan panel surya, (Watt)

- Efisiensi Inverter

$$\eta_{\text{Inverter}} = \frac{P_{out \text{ Inverter}}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(3-6)$$

Dimana :

- η_{Inverter} = Efisiensi inverter, (%)
- $P_{out \text{ Inverter}}$ = Daya output Inverter, (Watt)
- P_{in} = Daya input panel surya, (Watt)

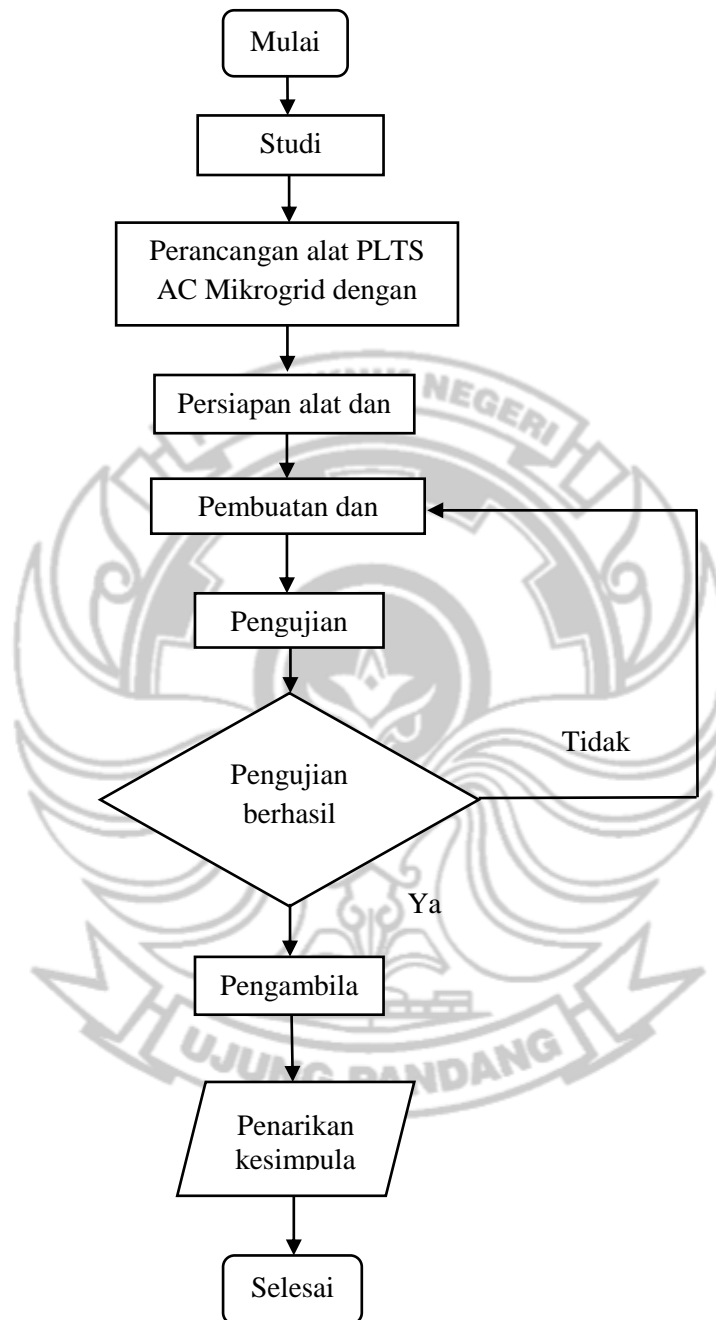
- Efisiensi Sistem

$$\eta_{\text{Sistem}} = \frac{P_{out \text{ aki}} + P_{out \text{ Inverter}}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (3-7)$$

Dimana :

- η_{sistem} = Efisiensi sistem (%)
- $P_{out \text{ Aki}}$ = Daya output Aki, (Watt)
- $P_{out \text{ Inverter}}$ = Daya output Inverter, (Watt)
- P_{in} = Daya input panel surya, (Watt)

Prosedur pelaksanaan kegiatan dapat digambarkan melalui diagram alir berikut ini:



Gambar 3.10 Diagram Alir Kegiatan

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Kegiatan

4.1.1 Perakitan Konstruksi PLTS

Berikut ini adalah gambar rancangan rangka panel surya yang diletakkan diatas besi siku serbaguna yang digunakan sebagai tempat untuk panel surya dengan kemiringan yang sudah ditentukan untuk mendapatkan data intensitas dari matahari.



Gambar 4.1 Rangka Panel Surya

4.1.2 Sistem Kelistrikan

Rancangan sistem kelistrikan dengan menggunakan komponen-komponen kelistrikan yang dibutuhkan untuk penyediaan listrik sebagai berikut:



Gambar 4.2 Panel Box sistem kelistrikan

4.2 Hasil Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian yang dibuat dapat beroperasi dengan baik atau tidak. Pengujian dilakukan dengan tiga jenis yaitu dipagi hari sampai sore dilakukan pengisian baterai, kemudian pengisian yang dibebani langsung dengan komponen-komponen listrik. Terakhir aki di bebani langsung setelah pengisian sampai indikator pengingat yaitu buzzer akan berbunyi sebagai penanda baterai aki telah low. Sebelum memulai pengujian, output keluaran masing-masing komponen disambungkan pada panel box untuk memudahkan pembacaan parameter-parameter yang diukur. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui daya keluaran yang dihasilkan oleh setiap komponen-komponen kelistrikan yang digunakan.

4.2.1 Data Hasil Pengujian alat

Data hasil pengujian tanpa beban

1) Menghitung Daya Input (P_{in}) Panel Surya

Untuk menghitung daya input panel surya menggunakan rumus pada persamaan 2.1 dengan menggunakan data pertama pada Tabel 4.1, maka didapatkan nilai daya input panel surya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{in} &= I_r \times A \\ &= (720 \text{ W/m}^2) (2,9748 \text{ m}^2) \\ &= 2141,86 \text{ W} \end{aligned}$$

2) Menghitung Daya Output (P_{out}) Panel Surya

Untuk menghitung daya output panel surya menggunakan rumus pada persamaan 2.2 dengan menggunakan data pertama pada Tabel 4.1, maka didapatkan nilai daya output panel surya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{out} &= V \times I \\ &= (13,2 \text{ V}) (3,4 \text{ A}) = 44,88 \text{ W} \end{aligned}$$

3) Menghitung Efisiensi Panel Surya, (%)

Untuk menghitung efisiensi panel surya menggunakan rumus pada persamaan 2.3 menggunakan data pertama pada tabel 4.1 maka didapatkan nilai efisiensi panel surya sebagai berikut:

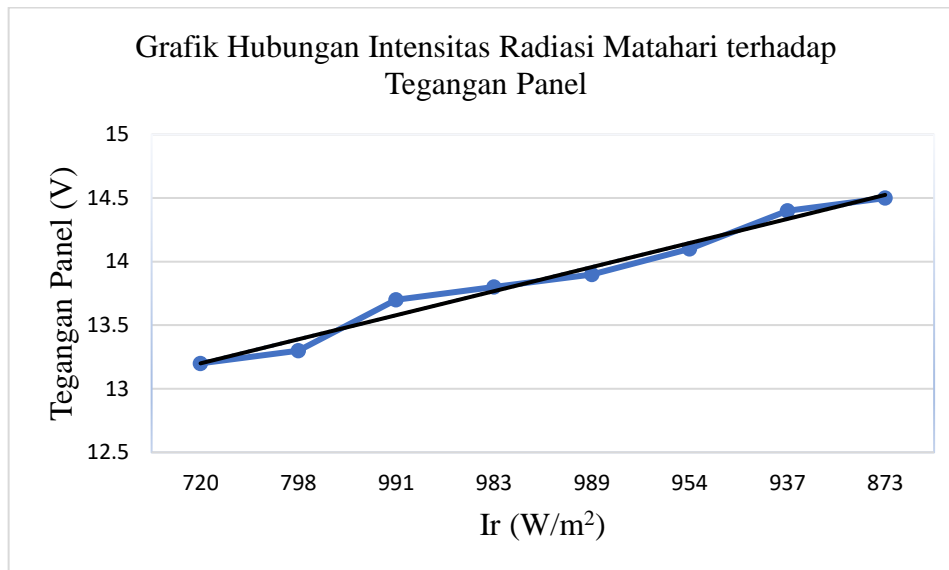
$$\begin{aligned} \eta_{\text{panel surya}} &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{44,88}{2141,86} \times 100\% \\ &= 2,1 \% \end{aligned}$$

Adapun data hasil pengujian alat dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 4.1 Data Pengujian Tanpa Beban

Jumat, 05 Agustus 2022

| No | Waktu | Wattmeter PLTS | | | I _r (W/m ²) | Luas Panel (A) | P _{in} (W) | Tegangan Aki (V) | η _{Panel} (%) | Ket. |
|----|-------|-----------------|-------------|-------------------------|---------------------------------------|----------------------|------------------------|---------------------|---------------------------|-------|
| | | Tegangan (V) | Arus (A) | P _{out} (W) | | | | | | |
| 1 | 10.00 | 13,2 | 3,4 | 44,88 | 720 | 2,9748 | 2141,86 | 13 | 2,1 | Cerah |
| 2 | 10.30 | 13,3 | 3,01 | 40,033 | 798 | 2,9748 | 2373,89 | 13 | 1,7 | Cerah |
| 3 | 11.00 | 13,7 | 3,7 | 50,69 | 991 | 2,9748 | 2948,03 | 13,2 | 1,7 | Cerah |
| 4 | 11.30 | 13,8 | 4,2 | 57,96 | 983 | 2,9748 | 2924,23 | 13,5 | 2,0 | Cerah |
| 5 | 12.00 | 13,9 | 3,5 | 48,65 | 989 | 2,9748 | 2942,08 | 13,4 | 1,7 | Cerah |
| 6 | 12.30 | 14,1 | 3,17 | 44,697 | 954 | 2,9748 | 2837,96 | 13,7 | 1,6 | Cerah |
| 7 | 13.00 | 14,4 | 4,2 | 60,48 | 937 | 2,9748 | 2787,39 | 13,9 | 2,2 | Cerah |
| 8 | 13.30 | 14,5 | 3,7 | 53,65 | 873 | 2,9748 | 2597 | 13,9 | 2,1 | Cerah |



Gambar 4.3 Grafik hubungan Antara Intensitas Radiasi Matahari terhadap Tegangan Panel

Berdasarkan Gambar 4.3 tampak trend Grafik meningkat atau berbanding lurus dimana semakin besar nilai intensitas radiasi matahari yang dihasilkan maka nilai tegangan pada panel surya juga akan meningkat hal tersebut disebabkan pada pengujian ini panel mengisi aki tanpa adanya pembebanan. Nilai maksimum intensitas radiasi adalah 991 W/m² pada pukul 11.00 WITA. Sedangkan nilai minimum intensitas matahari adalah 720 W/m² pada pukul 10.00 WITA. Nilai maksimum untuk tegangan panel adalah 14,5 pada pukul 13.30 WITA dan nilai minimum untuk tegangan panel adalah 13,2 pada pukul 10.00 WITA.

Data hasil pengujian PLTS Berbeban

1) Menghitung Daya Input (P_{in}) Panel Surya

Untuk menghitung daya input panel surya menggunakan rumus pada persamaan 2.1 dengan menggunakan data pertama pada Tabel 4.2, maka didapatkan nilai daya input panel surya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{in} &= I_r \times A \\ &= (945 \text{ W/m}^2) (2,9748 \text{ m}^2) \\ &= 2811,19 \text{ W} \end{aligned}$$

2) Menghitung Daya Output (P_{out}) Panel Surya

Untuk menghitung daya output panel surya menggunakan rumus pada persamaan 2.2 dengan menggunakan data pertama pada Tabel 4.2, maka didapatkan nilai daya output panel surya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{out} &= V \times I \\ &= (14,51 \text{ V}) (9,95 \text{ A}) \\ &= 144 \text{ W} \end{aligned}$$

3) Menghitung Efisiensi Panel Surya, (%)

Untuk menghitung efisiensi panel surya menggunakan rumus pada persamaan 2.3 menggunakan data pertama pada tabel 4.2 maka didapatkan nilai efisiensi panel surya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{panel surya}} &= (P_{out}/P_{in}) \times 100\% \\ &= \frac{144}{2811,19} \times 100\% \\ &= 5,11 \text{ \%} \end{aligned}$$

4) Menghitung Efisiensi Inverter, (%)

Untuk menghitung efisiensi Sistem menggunakan rumus pada persamaan 3.6 menggunakan data pertama pada tabel 4.2 maka didapatkan nilai efisiensi inverter sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\eta_{\text{Inverter}} &= \frac{P_{\text{inverter}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \\ &= \frac{21,40 \text{ Watt}}{1838,43 \text{ Watt}} \times 100\% \\ &= 12,59 \%\end{aligned}$$

5) Menghitung Efisiensi Sistem, (%)

Untuk menghitung efisiensi Sistem menggunakan rumus pada persamaan 3.7 menggunakan data pertama pada tabel 4.2 maka didapatkan nilai efisiensi inverter sebagai berikut:

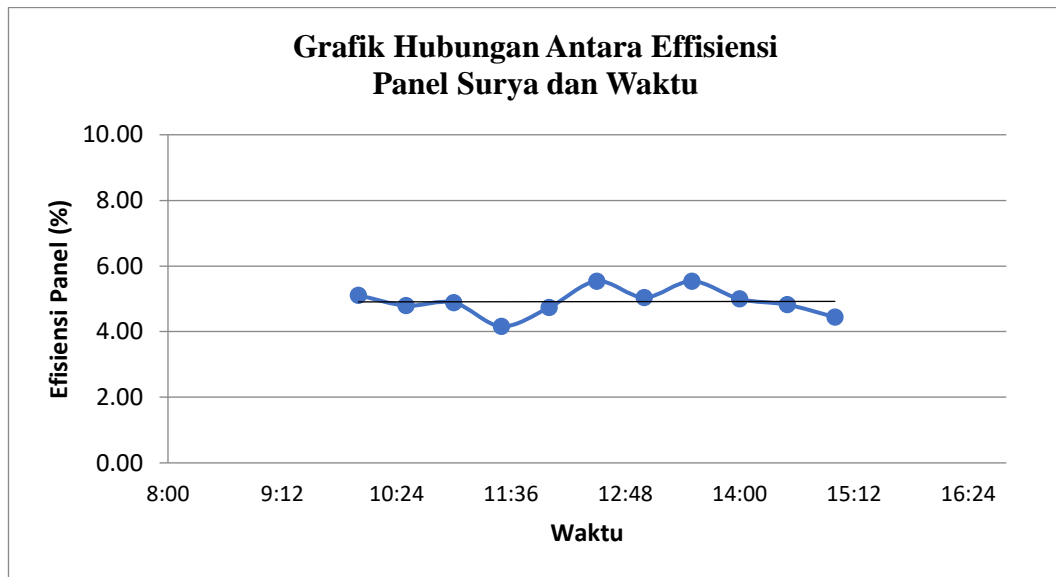
$$\begin{aligned}\eta_{\text{Sistem}} &= \frac{P_{\text{Aki}} + P_{\text{inverter}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \\ &= \frac{21,40 \text{ Watt}}{1838,43 \text{ Watt}} \times 100\% \\ &= 12,59 \%\end{aligned}$$

Tabel 4.2 Data Pengujian PLTS Berbeban

| No | Jam | I _r (W/m ²) | Panel Surya | | | | Output Baterai | | | kWh Digital | | | | η _{Panel} (%) | η _{Inverter} (%) | η _{Sistem} (%) | Ket, |
|----|-------|---------------------------------------|-----------------|-------------|------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------|-------------------------|------|---------------------------|------------------------------|----------------------------|-------|
| | | | Tegangan (V) | Arus (A) | P _{in} (W) | P _{out} (W) | Arus (A) | Tegangan (V) | P _{Aki} (W) | Tegangan (V) | Arus (A) | P _{out} (W) | PF | | | | |
| 1 | 10:00 | 945 | 14,51 | 9,9 | 2811,19 | 144 | 9,26 | 13,11 | 121,40 | 231 | 102 | 102 | 0,97 | 5,11 | 3,63 | 7,95 | Cerah |
| 2 | 10:30 | 913 | 14,53 | 8,96 | 2715,99 | 130,19 | 9,26 | 12,98 | 120,19 | 231 | 102,2 | 102,2 | 0,97 | 4,79 | 3,76 | 8,19 | Cerah |
| 3 | 11:00 | 927 | 15,15 | 8,89 | 2757,64 | 134,68 | 9,45 | 12,97 | 122,57 | 232 | 103,1 | 103,1 | 0,97 | 4,88 | 3,74 | 8,18 | Cerah |
| 4 | 11:30 | 936 | 15,31 | 7,57 | 2784,41 | 115,90 | 9,46 | 12,88 | 121,84 | 232 | 103,2 | 103,2 | 0,97 | 4,16 | 3,71 | 8,08 | Cerah |
| 5 | 12:00 | 919 | 15,61 | 8,29 | 2733,84 | 129,41 | 9,26 | 12,9 | 119,45 | 232 | 103,1 | 103,1 | 0,97 | 4,73 | 3,77 | 8,14 | Cerah |
| 6 | 12:30 | 938 | 15,54 | 9,94 | 2790,36 | 154,47 | 9,25 | 12,88 | 119,14 | 232 | 103,6 | 103,6 | 0,97 | 5,54 | 3,71 | 7,98 | Cerah |
| 7 | 13:00 | 903 | 14,64 | 9,25 | 2686,24 | 135,42 | 9,4 | 12,94 | 121,64 | 233 | 103,3 | 103,3 | 0,96 | 5,04 | 3,85 | 8,37 | Cerah |
| 8 | 13:30 | 924 | 14,86 | 10,24 | 2748,72 | 152,17 | 9,65 | 12,89 | 124,39 | 233 | 103,5 | 103,5 | 0,97 | 5,54 | 3,77 | 8,29 | Cerah |
| 9 | 14:00 | 893 | 14,33 | 9,26 | 2656,50 | 132,70 | 9,33 | 13,01 | 121,38 | 232 | 103,4 | 103,4 | 0,97 | 5,00 | 3,89 | 8,46 | Cerah |
| 10 | 14:30 | 898 | 13,5 | 9,54 | 2671,37 | 128,79 | 10,16 | 11,92 | 121,11 | 234 | 105,1 | 105,1 | 0,97 | 4,82 | 3,93 | 8,47 | Cerah |
| 11 | 15:00 | 864 | 13,05 | 8,75 | 2570,23 | 114,19 | 10,1 | 11,78 | 118,98 | 231 | 103,4 | 103,4 | 0,97 | 4,44 | 4,02 | 8,65 | Cerah |

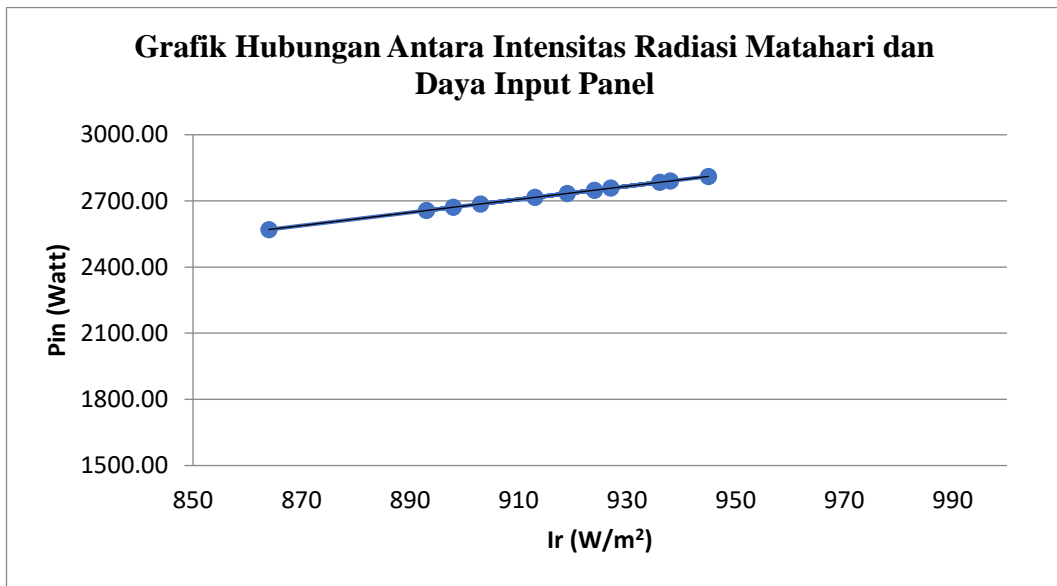
Senin, 22 Agustus 2022

Ket: Luasan Panel = 2,9748 m² ; Total Beban = 75 Watt.



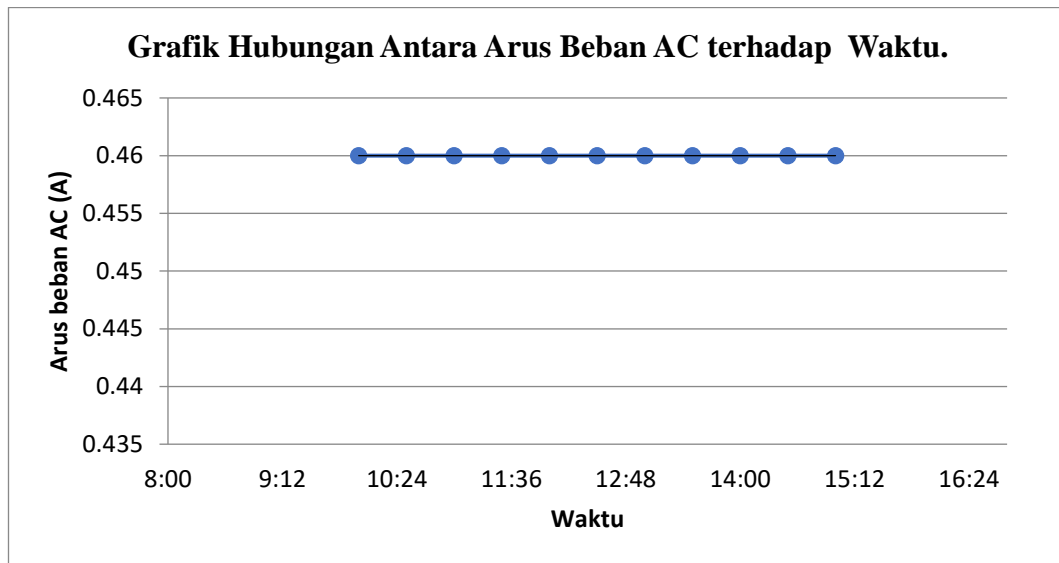
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Efisiensi Panel Surya dan Waktu.

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa nilai tertinggi untuk efisiensi panel surya berada pada pukul 12.30 WITA yaitu 5,54 % dan nilai terendah berada pada pukul 11.30 WITA yaitu 4,16 %. Hal ini dikarenakan ketika cuaca cerah maka efisiensi sel surya naik dan ketika berawan maka efisiensi panel surya juga turun. Dari trend grafik dapat dilihat bahwa Efisiensi mengalami fluktuasi naik turun di sebabkan oleh cuaca yang cerah dan mendung.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Intensitas Radiasi Matahari dan Daya Input Panel.

Berdasarkan Gambar 4.5 tampak trend grafik meningkat. Dimana semakin besar intensitas radiasi matahari maka nilai daya input pada panel surya juga akan semakin besar, begitu pula sebaliknya jika intensitas radiasi matahari menurun maka nilai daya input pada panel surya juga akan menurun. Nilai intensitas radiasi matahari tertinggi adalah 945 W/m^2 dengan nilai daya input $2811,19 \text{ Watt}$. Dan intensitas radiasi matahari terendah adalah 864 W/m^2 dengan nilai daya input sebesar $2570,23 \text{ Watt}$.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Arus Beban AC terhadap Waktu.

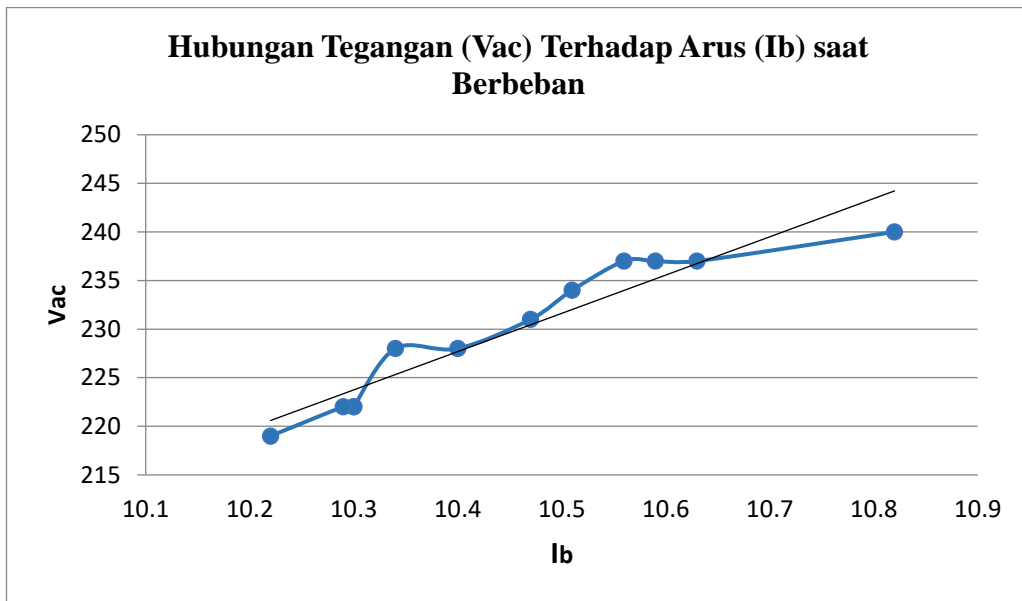
Berdasarkan Gambar 4.6 terlihat grafik konstan. Dimana arus beban tidak berubah dari pukul 10.00 WITA sampai dengan pukul 15.00 WITA yaitu bernilai 0,46A hal ini dikarenakan beban yang digunakan tidak berubah yakni lampu pijar 25 Watt dua buah, lampu pijar 10 Watt dua buah dan lampu pijar 5 Watt satu buah dengan total pembebanan 75 Watt.

Tabel 4.3 Data Pengujian Baterai Berbeban

Sabtu, 27 Agustus 2022

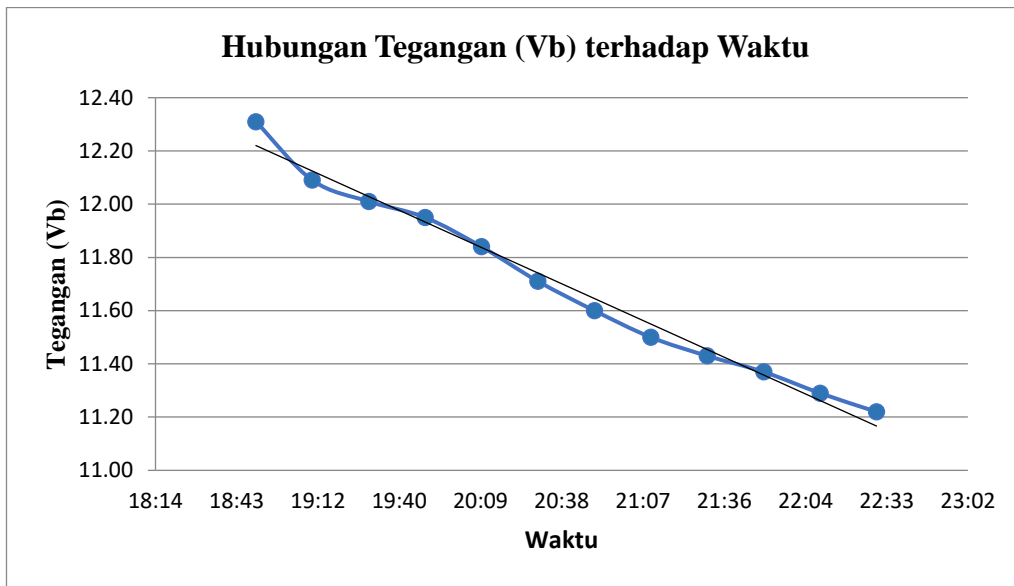
| No | Waktu | Output Baterai | | | kWh Digital | | | | |
|----|-------|----------------|----------------|----------|--------------|----------|----------|------|-----------|
| | | Tegangan (V) | Persentasi (%) | Arus (A) | Tegangan (V) | Arus (A) | Daya (W) | PF | Beban (W) |
| 1 | 18:50 | 12,31 | 100% | 10,8 | 240 | 0,41 | 65 | 0,66 | 90 |
| 2 | 19:10 | 12,09 | 100% | 10,6 | 237 | 0,40 | 70 | 0,74 | 90 |
| 3 | 19:30 | 12,01 | 100% | 10,6 | 237 | 0,40 | 75 | 0,79 | 90 |
| 4 | 19:50 | 11,95 | 98% | 10,6 | 237 | 0,40 | 70 | 0,74 | 90 |
| 5 | 20:10 | 11,84 | 96% | 10,5 | 234 | 0,40 | 70 | 0,75 | 90 |
| 6 | 20:30 | 11,71 | 93% | 10,5 | 231 | 0,39 | 70 | 0,78 | 90 |
| 7 | 20:50 | 11,60 | 90% | 10,4 | 228 | 0,39 | 70 | 0,79 | 90 |
| 8 | 21:10 | 11,50 | 88% | 10,3 | 228 | 0,38 | 65 | 0,75 | 90 |
| 9 | 21:30 | 11,43 | 85% | 10,3 | 222 | 0,38 | 65 | 0,77 | 90 |
| 10 | 21:50 | 11,37 | 79% | 10,3 | 222 | 0,38 | 65 | 0,77 | 90 |
| 11 | 22:10 | 11,29 | 73% | 10,3 | 222 | 0,38 | 60 | 0,71 | 90 |
| 12 | 22:30 | 11,22 | 64% | 10,2 | 219 | 0,38 | 60 | 0,72 | 90 |





Gambar 4.7 Grafik Hubungan Tegangan Vac Terhadap arus Ib

Berdasarkan grafik diatas terlihat bahwa tren grafik naik dimana semakin besar tegangan Vac maka arus baterai juga akan semakin naik, begitu pula sebaliknya jika nilai tegangan Vac menurun maka nilai arus baterai juga akan menurun. Nilai tertinggi untuk tegangan Vac berada pada 240 V dengan arus baterai (Ib) 10,8 A dan nilai terendah berada pada 219 V dengan arus baterai 10,2 A.



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Tegangan baterai (V_b) Terhadap waktu

Berdasarkan grafik diatas terlihat tren grafik menurun semakin lama baterai digunakan (terbebani) maka tegangan baterai (V_b) akan semakin turun. Nilai tertinggi untuk tegangan baterai adalah 12,31 V pada pukul 18.50 WITA dan nilai terendah adalah 11,22 pada pukul 22.30 WITA.

BAB V PENUTUP

5.1. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang telah diperoleh dari hasil pembuatan dan pengujian alat maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk menyediakan pembangkit listrik tenaga surya untuk beban AC maka dilakukan beberapa tahapan seperti menyediakan alat dan bahan yang dibutuhkan, melakukan perancangan konstruksi panel surya, kemudian melakukan perancangan sistem kelistrikan pembangkit listrik tenaga surya untuk beban AC. Yang dalam pembuatan rancang bangun ini digunakan 3 buah panel surya 150 Wp, 1 buah Aki 100 Ah dan 1 buah inverter 800 W dimana total kebutuhan listrik yaitu 660 Wh/hari.
2. Efisiensi pembangkit listrik tenaga surya AC Mikrogrid dengan sistem *Off-grid* sangat bergantung pada tinggi rendahnya intensitas radiasi matahari yang mengenai panel. Nilai maksimum efisiensi panel surya adalah pada pukul 12.30 dengan nilai 5,54%, sedangkan nilai minimum efisiensi panel surya adalah pada pukul 11.30 dengan nilai 4,16%. Nilai maksimum efisiensi sistem adalah 8,65% pada pukul 15.00, sedangkan nilai minimum efisiensi sistem adalah 7,95 % pada pukul 10.00.

5.2. SARAN

1. Sebaiknya menggunakan lampu LED agar lebih hemat dan baterai dapat bertahan lebih lama.
2. Membuat sistem Kontrol penggerak otomatis pada panel surya sehingga dapat menyerap cahaya matahari secara optimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Alfian, Kevin Razak. 2017. Analisis Harmonisa pada Sistem AC-DC Hybrid Mikrogrid Menggunakan Etap. *Online*, (<https://e-pdfs.hu/doc/64997925/te-141599-analisis-harmonisa-pada-sistem-ac-dc-hybrid-microgrid->), Diakses 15 Februari 2022.
- Budiyanto, dan Rudy Setiabudy. 2014. Jaringan Mikro Arus Searah (Dc Microgrid) sebagai Upaya Ketersediaan Energi Listrik dalam Pengembangan Energi Terbarukan. *Online*, (<https://www.neliti.com/id/publications/173586/jaringan-mikro-arus-searah-dc-microgrid-sebagai-upaya-ketersediaan-energi-listri>), Diakses 18 Februari 2022.
- D. N. Prambudi. 2018. Perencanaan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Off-grid pada PEMukiman Penduduk di Perkebunan Kelapa Sawit. Laporan tugas akhir. Sekolah Tinggi Teknik-PLN.
- DGS, 2008. "Planing And Installing Photovoltaic System : A guide for installer, architects and engineers". ISBN-13: 978-1-84407-442-6.
- Dunlop, JamesP. 1997. "Battery and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic System". Florida Slar Energy Centeer, USA.
- Energising Development (EnDev) Indonesia, "Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts," Jakarta, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) Republik Indonesia, 2018.

- F. Hidayat, B. Winardi and A. Nugroho. 2019. "Analisis Ekonomi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Departemen Teknik elektro Universitas Diponegoro," Jurnal Ilmiah Elektro, vol. 7.
- Gautama, Panji Wijasa. 2021. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem Off grid dengan Kapasitas 2 kWp pada Instalasi Menara Suar Bulukumba.
- Haikal, Andri. 2020. Perencanaan Microgrid pada Gedung Admin PLTU Banten 3 Lontar untuk Pemakaian Sendiri
- Hanif, Muhammad. 2012. "Studying Power Output of PV Solar Panels at Different Temperatures and Tilt Angel". Khyber Pakhtunkhwa Agricultural University, Peshawar, Pakistan.
- Julisman, Andi,dkk. 2017. Prototipe Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Sumber Energi pada Sistem Otomasi Atap Stadion Bola. Jurnal teknik elektro, Vol. 2, No. 1.
- Kholiq, Imam. 2015. Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Subsitusi BBM. jurnal iptek, Vol. 19, No. 2.
- Marcelino. Randi. 2017. "Perancangan PLTS terpusat Off-Grid System untuk pedesaan terpencil (studi kasus: desa kasang padang, Kabupaten Rokan Hulu, Riau)". UIN Suka Riau. Pekanbaru.
- Pramana, Putu Agus Aditya. 2021. Revitalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada Sistem Mikrogrid Pulau Tomia. JTech, Vol. 9 No. 1.

- Purwoto, Bambang Hari,dkk. 2014. Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif. *Jurnal Teknik Elektro*, Vol. 18, No. 01.
- Sianipar, Rafael. 2014. Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Jurnal ilmiah teknik elektro*, Vol. 11, No. 2.
- Sihotang, Michael Parningotan. 2019. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Off-grid Sistem (Studi Kasus: Desa Tanjung Beringin, Kabupaten Kampar, Riau).
- United States Agency International Development (USAID), 2018. *Panduan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat*. Jakarta: Indonesia Clean Energy Development II.





LAMPIRAN 1

Hari/tanggal: Senin 22 Agustus 2022

Tabel 1 Data PLTS Berbeban

| No | Jam | I _r (W/m ²) | Panel Surya | | | | Output Baterai | | | kWh Digital | | | | η _{Panel} (%) | η _{Inverter} (%) | η _{Sistem} (%) | Beban (Watt) | Ket, |
|----|-------|---------------------------------------|-----------------|-------------|------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|-------------|-------------------------|------|---------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------|---------|
| | | | Tegangan (V) | Arus (A) | P _{in} (W) | P _{out} (W) | Arus (A) | Tegangan (V) | P _{Baterai} (W) | Tegangan (V) | Arus (A) | P _{out} (W) | PF | | | | | |
| 1 | 09:00 | 618 | 14,36 | 9,95 | 1838,43 | 142,88 | 5,55 | 12,91 | 122,00 | 230 | 0,46 | 102,1 | 0,97 | 7,77 | 5,55 | 12,19 | 75 | Cerah |
| 2 | 09:30 | 789 | 14,33 | 10,29 | 2347,12 | 147,46 | 4,44 | 13,31 | 130,84 | 233 | 0,46 | 104,3 | 0,97 | 6,28 | 4,44 | 10,02 | 75 | Cerah |
| 3 | 10:00 | 869 | 15,19 | 9,4 | 2585,10 | 142,79 | 4,02 | 12,6 | 123,48 | 233 | 0,46 | 104 | 0,97 | 5,52 | 4,02 | 8,80 | 75 | Cerah |
| 4 | 10:30 | 558 | 15,19 | 9,64 | 1659,94 | 146,43 | 6,18 | 11,82 | 120,21 | 232 | 0,46 | 102,6 | 0,97 | 8,82 | 6,18 | 13,42 | 75 | Berawan |
| 5 | 11:00 | 980 | 15,7 | 11,15 | 2915,30 | 175,06 | 3,57 | 12,34 | 133,15 | 234 | 0,46 | 104,2 | 0,97 | 6,00 | 3,57 | 8,14 | 75 | Cerah |
| 6 | 11:30 | 159,3 | 11,96 | 2,65 | 473,89 | 31,69 | 20,11 | 11,11 | 109,10 | 219 | 0,45 | 95,32 | 0,98 | 6,69 | 20,11 | 43,14 | 75 | Mendung |
| 7 | 12:00 | 221 | 12,22 | 4,85 | 657,43 | 59,27 | 14,68 | 11,19 | 110,56 | 221 | 0,45 | 96,49 | 0,98 | 9,01 | 14,68 | 31,49 | 75 | Mendung |
| 8 | 12:30 | 997 | 16,01 | 11,01 | 2965,88 | 176,27 | 3,42 | 11,57 | 116,05 | 229 | 0,46 | 101,5 | 0,97 | 5,94 | 3,42 | 7,34 | 75 | Cerah |
| 9 | 13:00 | 1065 | 15,58 | 10,44 | 3168,16 | 162,66 | 3,33 | 12,76 | 122,11 | 234 | 0,46 | 105,6 | 0,97 | 5,13 | 3,33 | 7,19 | 75 | Cerah |
| 10 | 13:30 | 979 | 14,87 | 10,63 | 2912,33 | 158,07 | 3,59 | 12,78 | 125,12 | 233 | 0,46 | 104,6 | 0,97 | 5,43 | 3,59 | 7,89 | 75 | Cerah |
| 11 | 14:00 | 1065 | 14,36 | 11,1 | 3168,16 | 159,40 | 3,28 | 12,84 | 120,31 | 232 | 0,46 | 103,9 | 0,97 | 5,03 | 3,28 | 7,08 | 75 | Cerah |
| 12 | 14:30 | 147,9 | 12,03 | 2,41 | 439,97 | 28,99 | 21,75 | 11,06 | 108,06 | 218 | 0,45 | 95,7 | 0,97 | 6,59 | 21,75 | 46,31 | 75 | Berawan |
| 13 | 15:00 | 854 | 12,86 | 8,05 | 2540,48 | 103,52 | 4,01 | 11,54 | 116,44 | 229 | 0,46 | 102 | 0,97 | 4,07 | 4,01 | 8,60 | 75 | Cerah |

LAMPIRAN 2

Hari/tanggal: Jumat, 19 Agustus 2022

Tabel 2 Data percobaan pengujian efisiensi panel surya dengan tahanan geser

| No | Jam | Ir (W/m ²) | Panel Surya | | | | Beban | | η Panel (%) | Ket, |
|----|-------|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|-------------------------|----------|-----------------|---------------------|---------|
| | | | Tegangan (V) | Arus (A) | P _{in} (W) | P _{out} (W) | Arus (A) | Tegangan (V) | | |
| 1 | 08.00 | 346 | 19,38 | 0,18 | 1029,2 | 3,49 | 0,26 | 19 | 1,01 | Berawan |
| 2 | 08.30 | 511 | 19,18 | 0,16 | 1520,1 | 3,07 | 0,26 | 18,8 | 0,60 | Cerah |
| 3 | 09.00 | 680 | 19,01 | 0,15 | 2022,8 | 2,85 | 0,26 | 18,8 | 0,42 | Cerah |
| 4 | 09.30 | 845 | 18,8 | 0,16 | 2513,7 | 3,01 | 0,26 | 18,6 | 0,35 | Cerah |
| 5 | 10.00 | 923 | 18,74 | 0,15 | 2745,7 | 1 | 0,26 | 18,4 | 0,30 | Cerah |
| 6 | 10.30 | 745 | 17,36 | 0,12 | 2216,2 | 2,08 | 0,26 | 18,4 | 0,28 | Cerah |
| 7 | 11.00 | 1007 | 18,66 | 0,14 | 2995,6 | 2,61 | 0,26 | 18,4 | 0,26 | Cerah |
| 8 | 11.30 | 1022 | 18,81 | 0,14 | 3040,2 | 2,63 | 0,26 | 18,4 | 0,26 | Cerah |
| 9 | 12.00 | 204 | 18,41 | 0,12 | 606,86 | 2,21 | 0,24 | 18 | 1,09 | Berawan |
| 10 | 12.30 | 177,3 | 18,47 | 0,13 | 527,43 | 2,40 | 0,24 | 18,2 | 1,36 | Cerah |
| 11 | 13.00 | 810 | 18,2 | 0,12 | 2409,5 | 2,18 | 0,24 | 18,4 | 0,27 | Cerah |
| 12 | 13.30 | 1021 | 18,9 | 0,13 | 3037,2 | 2,46 | 0,24 | 18,6 | 0,24 | Cerah |
| 13 | 14.00 | 596 | 18,51 | 0,12 | 1772,9 | 2,22 | 0,24 | 18,2 | 0,37 | Berawan |

LAMPIRAN 3

Hari/tanggal: Minggu, 28 Agustus 2022

Tabel 3 Data Percobaan Aki berbeban

| Waktu | Output Baterai | | | kWh | | | |
|-------|----------------|--------------|----------|--------------|----------|----------|------|
| | Persentasi (%) | Tegangan (V) | Arus (A) | Tegangan (V) | Arus (A) | Daya (W) | PF |
| 15.00 | 95% | 11,16 | 10,56 | 234 | 0,41 | 55 | 0,57 |
| 15.10 | 92% | 11,13 | 10,59 | 234 | 0,41 | 60 | 0,63 |
| 15.20 | 91% | 11,10 | 10,55 | 234 | 0,41 | 60 | 0,63 |
| 15.30 | 90% | 11,09 | 10,53 | 234 | 0,41 | 60 | 0,63 |
| 15.40 | 89% | 11,05 | 10,50 | 234 | 0,41 | 60 | 0,63 |
| 15.50 | 87% | 11,06 | 10,49 | 231 | 0,40 | 60 | 0,65 |
| 16.00 | 86% | 10,98 | 10,47 | 231 | 0,40 | 60 | 0,65 |
| 16.10 | 84% | 10,93 | 10,44 | 234 | 0,40 | 60 | 0,64 |
| 16.20 | 82% | 10,90 | 10,40 | 234 | 0,39 | 60 | 0,66 |
| 16.30 | 81% | 10,86 | 10,38 | 234 | 0,39 | 60 | 0,66 |
| 16.40 | 80% | 10,82 | 11,35 | 234 | 0,39 | 60 | 0,66 |
| 16.50 | 78% | 10,79 | 10,34 | 234 | 0,39 | 60 | 0,66 |
| 17.00 | 77% | 10,72 | 10,33 | 234 | 0,39 | 60 | 0,66 |
| 17.10 | 74% | 10,68 | 10,30 | 225 | 0,38 | 60 | 0,70 |
| 17.20 | 72% | 10,64 | 10,28 | 225 | 0,38 | 60 | 0,70 |
| 17.30 | 69% | 10,52 | 10,21 | 222 | 0,38 | 60 | 0,71 |
| 17.40 | 68% | 10,43 | 10,15 | 219 | 0,38 | 60 | 0,72 |

LAMPIRAN 4 DOKUMENTASI KEGIATAN

1. Pembuatan Rangka Panel Surya



2. Pembuatan Instalasi pembebanan



3. Pembuatan rangka Instalasi pembebanan



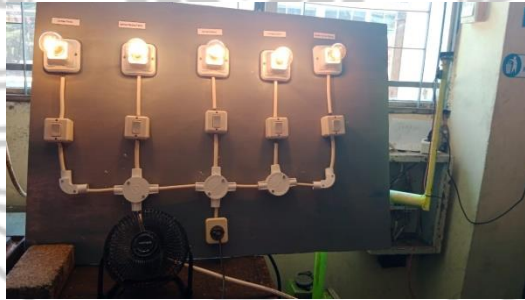
4. Pengecetan rangka instalasi beban



5. Pengambilan data intensitas radiasi matahari dengan menggunakan Pyranometer



6. Pembebanan



7. Pengambilan data aki berbeban pada malam hari

