

SKRIPSI

ANALISIS PLTS *ON GRID*



RYAN REZKY RAMADHANA

105821115717

MUH. IQBAL M

105821115217

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2022

HALAMAN JUDUL

“ANALISIS PLTS ON GRID”

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Elektro

Disusun dan Diajukan Oleh :

RYAN REZKY RAMADHANA
105821115717

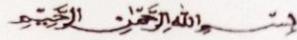
MUH. IQBAL M.
105821115217

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2022



HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **ANALISIS PLTS ON GRID**

Nama : 1. Ryan Rezky Ramadhana
2. Muh. Iqbal. M

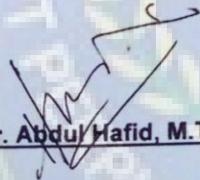
Stambuk : 1. 105 82 11157 17
2. 105 82 11152 17

Makassar, 30 Agustus 2022

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II


Ir. Abdul Hafid, M.T


Adriani, S.T., M.T.

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Elektro


Adriani, S.T., M.T.

NBM : 1044 202



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
FAKULTAS TEKNIK



**Kampus
Merdeka**
INDONESIA JAYA

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3
 Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221
 Website : <https://teknik.unismuh.ac.id>, Email : teknik@unismuh.co.id

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Ryan Rezky Ramadhana** dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 11157 17 dan **Muh. Iqbal. M** dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 11152 17, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0008/SK-Y/20201/091004/2022, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Selasa, 30 Agustus 2022.

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

Makassar, 03 Shafar 1443 H
 30 Agustus 2022 M

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T

2. Penguji

a. Ketua : Rizal Ahdiyati Duyo, S.T.,M.T

b. Sekertaris : Ridwang, S.Kom.,M.T

3. Anggota : 1. Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng :

2. Rahmania, S.T.,M.T

3. Dr. Umar Katu, S.T.,M.T

Mengetahui :

Pembimbing I

Ir. Abdul Hafid, M.T

Pembimbing II

Adriani, S.T., M.T.

Dekan



Dr. Ir. Hj. Nurnawaty, S.T., M.T.,IPM

NBM : 795 108

ABSTRAK

Sudah banyak pengembangan pembangkit listrik tenaga surya dengan menggunakan media penyimpanan baterai. Namun penggunaan baterai justru menambah biaya pemasangan dan pemeliharaan. Oleh karena itu penelitian dilakukan untuk menganalisis sistem plts on-grid yang mana penggunaannya tidak memerlukan media penyimpanan. Melainkan langsung terhubung ke jaringan PLN untuk membagi daya terhadap beban bersama dengan jaringan PLN. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar sendiri di Kampus unismuh makassar, Jl. Talasalapang, Karunrung, Kec. Rappocini, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90221 pada hari Kamis 30 Juni 2022, Mulai pukul 08.40 - 15.00 WITA. Adapun jenis penelitian yang dilakukan yaitu Metode Kualitatif dengan cara penelitian langsung atau disebut direct observation. Penelitian diawali dengan pengambilan data secara langsung kemudian melakukan analisis. Dengan hasil Input inverter menghasilkan lebih besar 0.106 KWh/Day daripada output inverter yang menghasilkan 0,073 Kwh/Day. Dan besar daya PLN sebelum tersinkronisasi grid inverter 0,351 KWh/Day kemudian menurun atau menghemat 0.272 KWh/Day. Hal itu menyebabkan adanya selisih penghematan selama sehari penyinaran mencapai 0,079 KWh/Day. Terlihat bahwasanya antara daya output panel surya sangat mempengaruhi besar kecilnya daya output grid/PLN. Kapasitas panel surya menggunakan grid inverter dalam hal ini menghemat pengeluaran listrik dengan cara membagi beban bersama dengan PLN. Untuk mendalami kemampuan sistem sistem plts on grid sebaiknya menggunakan Kwh Exim yang dapat mengetahui ekspor energi ke PLN.

Kata Kunci : Panel Surya, Sistem *On Grid*, PLN, *Grid Inverter*

ABSTRACT

There have been many developments in solar power plants using battery storage media. However, the use of batteries actually adds to the cost of installation and maintenance. The study was conducted to analyze the on-grid solar power system in which its use does not require storage media. Instead, it is directly connected to the PLN network to share power with the load along with the PLN network. The research was conducted at the Electrical Engineering Laboratory of the University of Muhammadiyah Makassar itself at the Unismuh Makassar Campus, Jl. Talasalapang, Karunrung, Kec. Rappocini, Makassar City, South Sulawesi 90221 on Thursday 30 June 2022, starting at 08.40 - 15.00 WITA. The type of research conducted is the qualitative method using direct research or called direct observation. The study begins with direct data collection and then performs the analysis. The resulting inverter input is 0.106 KWh/Day greater than the inverter output which is 0.073 Kwh/Day. And the amount of PLN power before synchronizing the inverter grid is 0.351 KWh/Day and then decreases or saves 0.272 KWh/Day. This causes the difference in savings during a day of irradiation to reach 0.079 KWh/Day. It can be seen that the solar panel output power greatly affects the size of the grid/PLN output power. The capacity of solar panels using a grid inverter in this case saves electricity expenditure by sharing the load with PLN. To explore the capabilities of the on-grid solar power system, it is better to use Kwh Exim which can find out energy exports to PLN.

Keywords: Solar Panel, On Grid System, PLN, Grid Inverter

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan Rahmat dan Hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal ini dengan sebaik mungkin. Salawat dan salam semoga senantiasa dicurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat dan para pengikutnya.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus ditempuh dalam rangka penyelesaian program studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul Skripsi kami adalah : **“ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ON GRID”**

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini mendapat banyak bantuan, bimbingan, saran-saran dari berbagai pihak, sehingga penyusunan skripsi ini dapat berjalan dengan lancar. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag. Selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar
2. Ibu Dr. Ir. Hj Nurnawaty, S.T., M.T., IPM. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar
3. Ibu Adriani, S.T., M.T Selaku Ketua Prodi Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar
4. Bapak Ir. Abdul Hafid M.T selaku Pembimbing I dan Ibu Adriani, S.T., M.T selaku Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing kami.

5. Bapak serta Ibu Dosen dan para staff Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani kami selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Kepada Ayah dan Ibu tercinta, kami mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanan terutama dalam bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.
7. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik Khususnya angkatan 017 dengan akrab dan persaudaraan banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran sangat penulis harapkan demi perbaikan skripsi ini. Akhirnya penulis harap semoga dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca umumnya.

Makassar, 16 Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL

HALAMAN JUDUL.....ii

HALAMAN PENGESAHAN.....iii

ABSTRAK.....v

KATA PENGANTAR.....vii

DAFTAR ISI.....vi

DAFTAR GAMBAR.....xiii

DAFTAR TABEL.....xv

BAB I PENDAHULUAN.....1

1.1 Latar Belakang.....1

1.2 Rumusan Masalah3

1.3 Pembatasan Masalah.....3

1.4 Tujuan.....3

1.5 Manfaat.....4

1.6 Sistematika Penulisan.....4

BAB II KAJIAN PUSTAKA.....6

2.1 Energi Matahari.....6

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....8

2.3 Prinsip Kerja Sel Surya.....9

2.4 Konfigurasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....13

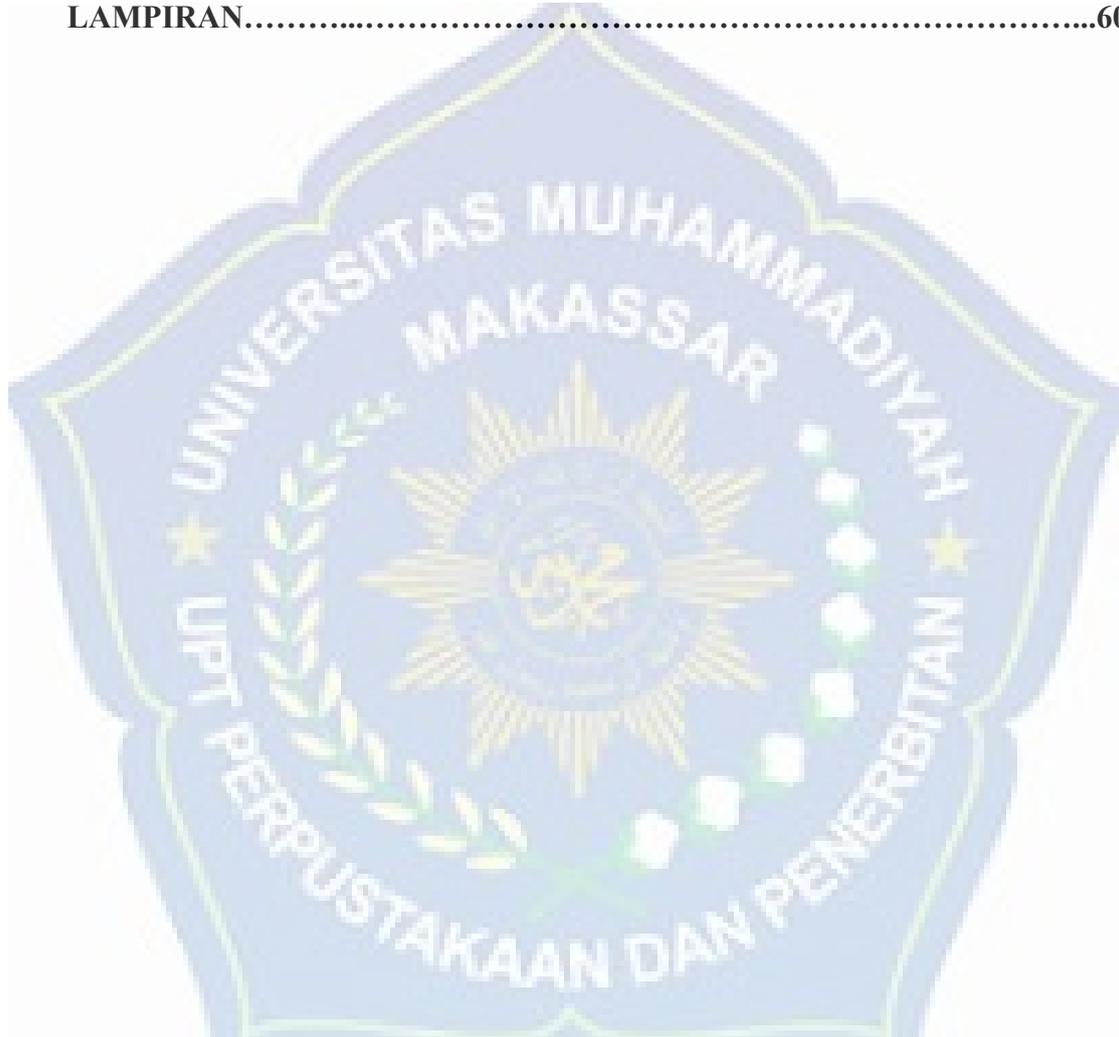
2.4.1 Sistem PLTS *Off-Grid*.....14

2.4.2 Sistem PLTS *On-Grid*.....15

2.4.3 Sistem PLTS <i>Hybrid</i>	16
2.5 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	18
2.5.1 Panel Surya.....	18
2.5.2 <i>Combiner Box</i>	20
2.5.3 <i>Inverter</i>	21
2.5.4 Kwh Meter EXIM.....	24
2.6 Daya Listrik.....	24
2.6.1 Defenisi Daya Listrik.....	24
2.6.2 Daya Aktif.....	26
2.6.3 Daya Reaktif.....	26
2.6.4 Daya Nyata.....	27
2.7 Beban Listrik.....	28
BAB III METODE PENELITIAN.....	30
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	30
3.2 Alat dan Bahan.....	30
3.2.1 Alat.....	31
3.2.2 Bahan.....	31
3.2 Metode Penelitian.....	32
3.3 Diagram Alur Penelitian.....	33
3.4 Sistem PLTS On Grid.....	35
3.4.1 Panel Surya.....	36
3.4.2 Inverter On Grid.....	38
3.4.3 Grid PLN.....	37

3.4.4 Beban.....	37
3.5 Analisis dan Hasil Perhitungan.....	38
3.5.1 Studi Literatur.....	38
3.5.2 Metode Pengumpulan Data.....	38
3.5.3 Menghitunga Daya Listrik.....	39
3.5.4 Melakukan Analisa Hasil Perhitungan.....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1 Data Pengukuran.....	41
4.1.1 Data Pengukuran Intensitas Matahari.....	41
4.1.2 Data Pengukuran Daya Output Panel Surya.....	43
4.1.3 Data Pengukuran Daya Output Inverter On Grid.....	45
4.1.4 Data Pengukuran Daya Output PLN Sebelum Tersinkronisasi Grid Inverter.....	47
4.1.5 Data Pengukuran Daya Output PLN Setelah Tersinkronisasi Grid Inverter.....	48
4.1 Perhitungan Data.....	50
4.1.1 Perhitungan Daya Panel Surya/Input Inverter.....	50
4.2.2 Perhitungan Daya Output On Grid.....	51
4.2.3 Perhitungan Daya PLN Sebelum dan Setelah Tersinkronisasi Grid Inverter.....	51
4.3 Hasil Analisis.....	54
4.3.1 Hasil Analisis Pembagian Beban antara Modul surya dengan Grid/PLN.....	55

BAB V PENUTUP.....	56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA.....	58
LAMPIRAN.....	60



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penyebaran jenis radiasi matahari.....	6
Gambar 2.2 Alat ukur pyranometer.....	7
Gambar 2.3 Kondisi struktur Kristal silicon dan konduktivitas intrinsik electron...11	
Gambar 2.4 Konduksi ekstrinsik di dalam silicon dengan doping p dan n.....11	
Gambar 2.5 Daerah ruang muatan sambung p-n.....	13
Gambar 2.6 Skema system PLTS OFF-Grid.....	14
Gambar 2.7 Skema system PLTS On Grid.....	15
Gambar 2.8 Sistem Hybrid Seri.....	16
Gambar 2.9 Sistem Hybrid Paralel.....	17
Gambar 2.10 Sistem Hybrid Switched.....	17
Gambar 2.11 Panel Surya.....	18
Gambar 2.12 Monokristal panel.....	19
Gambar 2.13 Polikristal panel.....	20
Gambar 2.14 Thin Film Panel.....	20
Gambar 2.15 Combiner Box.....	21
Gambar 2.16 Inverter.....	22
Gambar 2.17 Exim Meter.....	24
Gambar 2.18 Arah Aliran Arus Listrik.....	25
Gambar 2.19 Penjumlahan Trigonometri Daya Aktif, Reaktif dan Semu.....	27
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian.....	30
Gambar 3.2 Flowchart Penelitian.....	33
Gambar 3.3 Diagram Sistem PLTS On Grid.....	35

Gambar 3.4 Panel Surya.....	36
Gambar 3.5 Inverter on Grid.....	37
Gambar 4.1 Diagram Pengukuran PLTS On Grid.....	40
Gambar 4.2 Pembagian Beban Antara Modul Surya dengan Grid untuk Beban 56,7 W.....	55



DAFTAR TABEL

3.1 Spesifikasi Panel Surya.....	36
3.2 Spesifikasi Inverter On Grid.....	37
4.1 Hasil Pengukuran Intensitas Matahari.....	42
4.2 Hasil Pengukuran Output Panel Surya.....	44
4.3 Hasil Pengukuran Output Inverter On Grid.....	46
4.4 Hasil Pengukuran Output PLN sebelum tersinkronisasi grid inverter.....	47
4.5 Hasil Pengukuran Output PLN setelah tersinkronisasi grid inverter.....	48
4.3 Total Keluaran Daya Selama Penyinaran.....	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan hal yang penting di dunia saat ini. Pertambahan penduduk menyebabkan bertambahnya kebutuhan energi di masyarakat. Selama ini masyarakat mengandalkan sumber energi yang berasal dari bahan-bahan yang tidak ramah lingkungan. Atas dasar itu timbulnya kesadaran masyarakat untuk mencari sumber energi yang tidak menyebabkan kerusakan lingkungan yaitu, energi terbarukan. Salah satunya yang sangat cocok diterapkan di Indonesia adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Potensi Pengembangan PLTS di Indonesia tergolong masih sangat menjanjikan karena letak geografis Indonesia terletak di garis khatulistiwa. Bukan hanya itu PLTS sebagai energi terbarukan berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan energi. Hal ini disebabkan penggunaan bahan bakar untuk pembangkit-pembangkit listrik konvensional dalam jangka waktu yang panjang akan menguras sumber minyak bumi, gas dan batu bara yang makin menipis dan juga dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan.

Pembelian suatu panel sel surya yang digolongkan masih mahal bagi konsumsi listrik yang kurang mampu, teknologi konversinya yang begitu mahal menjadikan alat yang biasa digunakan energi listriknya, dan tidak membangkitkan harmonisa, merupakan dampak negatif dari teknologi tersebut. Kehidupan masyarakat khusus di pedesaan biasanya menggunakan suatu alat yang praktis, yaitu mengubah energi listrik DC menjadi AC yang sudah siap diaplikasikan, dan tidak menimbulkan masalah pada instalasi listriknya dikarenakan alat listrik yang

dirancang masih belum sempurna. Oleh sebab itu diperlukan yang namanya *grid inverter*.

Permasalahan hemat daya listrik merupakan hal yang perlu diangkat kembali dalam penelitian karena energi harus berkelanjutan terhadap kelangsungan kehidupan manusia di muka bumi. Pemakaian *renewable energy* bersumber dari cahaya matahari tidak hanya diperuntukkan untuk kehidupan rumah mewah saja, tetapi mengingat krisis sudah mendekati ambang batas krisis energi dunia pada tahun 2050. Sudah banyak pengembangan pembangkit listrik tenaga surya dengan menggunakan media penyimpanan baterai untuk menyimpan energi yang dihasilkan panel surya. Namun penggunaan baterai justru menambah biaya pemasangan dan pemeliharaan. Berdasarkan hal tersebut di atas, maka penelitian dilakukan untuk menganalisis sistem *plts on-grid* yang mana penggunaannya tidak memerlukan media penyimpanan. Melainkan langsung terhubung ke jaringan PLN untuk membagi daya terhadap beban bersama dengan jaringan PLN.

Terkait penelitian kinerja PLTS telah dibahas pada penelitian sebelumnya oleh Erfan Andicha Pratama Dengan judul “Analisis Kemampuan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem 240 Volt DC di Pantai Baru Yogyakarta”. Serta pada penelitian sebelumnya telah membahas analisa kemampuan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On Grid* Oleh Syofiya Azkhia Delsa “Analisa Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On Grid* Berbasis IoT *Thinkspeak*”. Adapun penelitian ini membahas “Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On Grid*” dengan pengukuran langsung menggunakan panel 50 WP.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Berapa daya yang dapat dihasilkan panel surya selama penyinaran
2. Berapa daya yang dikeluarkan *inverter on grid* selama penyinaran
3. Berapa daya yang dikeluarkan *grid/pln* setelah tersinkronisasi dengan *grid inverter*.
4. Bagaimana kemampuan *grid inverter* dalam membagi daya terhadap beban bersama dengan PLN

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dan untuk menghindari meluasnya masalah maka di berikan Batasan-batasan masalah sebagai berikut.

1. PLTS yang dianalisis adalah *plts* dengan sistem *on-grid*
2. Melakukan pengukuran dan perhitungan daya terhadap beban baik pada saat tidak tersinkronisasi *inverter on grid* maupun tersinkronisasi *inverter on grid*

1.4 Tujuan

Pembuatan laporan skripsi ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui daya yang dapat dihasilkan sistem *plts on-grid*.
2. Mengetahui daya yang dikeluarkan *inverter on grid* selama penyinaran
3. Mengetahui daya yang dikeluarkan *grid/pln* setelah tersinkronisasi dengan *grid inverter*.

4. Mengetahui kemampuan *grid inverter* dalam membagi daya terhadap beban bersama dengan PLN.

1.5 Manfaat

Penulisan laporan skripsi ini dapat dijadikan pengetahuan mengenai plts *on-grid* yang dapat menghemat pengeluaran listrik rumah tanpa adanya media penyimpanan daya berupa baterai yang menambah biaya pemasangan dan pemeliharaan. Serta diharapkan lebih banyak lagi yang menggunakan plts *on-grid* untuk rumah dan instansi-instansi lain dikarenakan sistem *on grid* lebih menekan biaya operasional agar cepat terciptanya kebutuhan energi terbarukan di Indonesia.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Uraian tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematik penulisan.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang teor dasar yang bersangkutan tentang judul yang diangkat menjadi skripsi.

BAB III: METODE PENELITIAN

Membahasa tentang langkah-langkah penelitian dan juga tentang pembuatan sistem serta prinsip kerja.

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan tentang hasil-hasil pengujian dan pengukuran dari penelitian

BAB V: PENUTUP

Membuat kesimpulan dan saran yang didapat dalam pembahasan masalah

DAFTAR PUSTAKA

Berisi daftar yang mencantumkan spesifikasi sebuah buku yang meliputi judul buku, nama pengarang, penerbit dan informasi yang terkait.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Matahari

Indonesia memiliki intensitas energi matahari yang sangat besar. Hampir di setiap pelosok Indonesia, matahari menyinari sepanjang pagi sampai sore. Energi matahari yang dipancarkan dapat diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya. Matahari adalah salah satu contoh dari energi terbarukan (*renewable energy*) dan merupakan salah satu energi yang penting dalam kehidupan manusia.

Matahari menghasilkan energi dalam bentuk radiasi. Energi dihasilkan dalam inti matahari melalui proses perpaduan antara atom hidrogen dan helium. Bagian dari massa hidrogen dikonversi menjadi energi. Dengan kata lain, matahari adalah reaktor fusi nuklir yang sangat besar dengan masa hidup (umur) sekitar $4,5 \times 10^9$ tahun. Karena matahari jauh dari bumi maka hanya sebagian kecil radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi. Ada beberapa jenis radiasi matahari yaitu Radiasi langsung (*direct radiation*), radiasi tersebar (*diffuse radiation*), radiasi pantulan (*albedo*), dan radiasi total (*total radiation*)



Gambar 2.1 Penyebaran jenis radiasi matahari

Dalam gambar 2.1 memperlihatkan tentang peristiwa radiasi dan jenis radiasi matahari. Intensitas radiasi matahari dari atmosfer bumi tergantung pada jarak antara matahari dan bumi. Dalam setahun variasi jarak ini antara $1,47 \times 10^8$ km dan $1,52 \times 10^8$ km. Sebagai hasilnya, fluktuasi intensitas radiasi matahari antara 1325 W/m^2 dan 1412 W/m^2 . Nilai rata-rata yang dibuat sebagai ketetapan intensitas radiasi matahari yaitu 1367 W/m^2 . Tingkat intensitas tersebut tidak tercapai pada permukaan bumi. Atmosfer bumi mengurangi tingkat intensitas tersebut melalui refleksi (pemantulan), penyerapan (oleh ozon uap air, oksigen dan karbon dioksida) dan penyebaran (disebabkan oleh molekul udara, partikel debu atau polusi). Pada saat cuaca yang baik di tengah hari, tingkat intensitas radiasi matahari dapat mencapai 1000 W/m^2 pada permukaan bumi. Nilai tersebut relatif tergantung pada lokasi. Tingkat intensitas radiasi matahari maksimum terjadi pada saat cuaca berawan sebagian dan hari yang cerah. Radiasi matahari secara langsung dapat diukur menggunakan *pyranometer*.



Gambar 2.2 Alat ukur *pyranometer*

Dalam gambar 2.2 memperlihatkan bentuk alat ukur *pyranometer*. *Pyranometer* adalah sebuah alat pengukur radiasi matahari. *Pyranometer* merupakan inovasi dalam *industry test & measurement* sebagai alat ukur untuk tenaga matahari atau perangkat *solar cell* yang digunakan untuk mengukur besarnya pengaruh radiasi cahaya pada permukaan bidang dengan satuan W/m^2 .

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah suatu pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi energi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (*Direct Current*), yang dapat di ubah menjadi listrik AC (*Alternating Current*) apabila diperlukan. PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya yang dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik mulai dari skala kecil maupun skala besar, baik secara mandiri maupun *hibrida*.

Kendati demikian sistem pembangkit listrik tenaga surya saat ini memiliki kelebihan dan kekurangan dalam penggunaannya. Kelebihan penggunaan listrik tenaga surya

- a. Energi yang terbarukan/tidak pernah habis (berkelanjutan dan diperbaharui terus menerus)
- b. Bersih, ramah lingkungan
- c. Tidak membutuhkan bahan bakar/energi matahari relatif mudah didapat dimana saja
- d. Umur panel surya investasi jangka panjang

- e. Praktis, tidak memerlukan perawatan
- f. Sangat cocok untuk daerah tropis seperti Indonesia

Sedangkan kekurangannya adalah :

- a. Harga pemasangan/pembuatan panel surya relatif mahal
- b. Pada malam hari atau saat radiasi matahari berkurang, panel surya sedikit tidak berfungsi
- c. Membutuhkan perangkat tambahan dalam pemakaiannya

Sistem panel surya mirip dengan sistem pemanenan air hujan. Jumlah air yang terkumpul berbeda-beda tergantung cuaca, sehingga terkadang banyak air yang terkumpul, terkadang tidak sama sekali. Dalam sistem panel surya, jumlah listrik yang terkumpul bergantung pada cuaca. Pada hari yang cerah, banyak listrik akan dihasilkan, dan pada hari yang mendung, lebih sedikit listrik yang dihasilkan.

PLTS pada dasarnya adalah sejenis sumber tenaga, yang dapat dirancang untuk memenuhi skala kecil hingga besar secara mandiri atau melalui tenaga hibrida (digabungkan dengan sumber energi lain) melalui metode desentralisasi (rumah *generator*) atau metode terpusat (didistribusikan oleh listrik) Permintaan listrik jaringan berkabel.

2.3 Prinsip Kerja Sel Surya

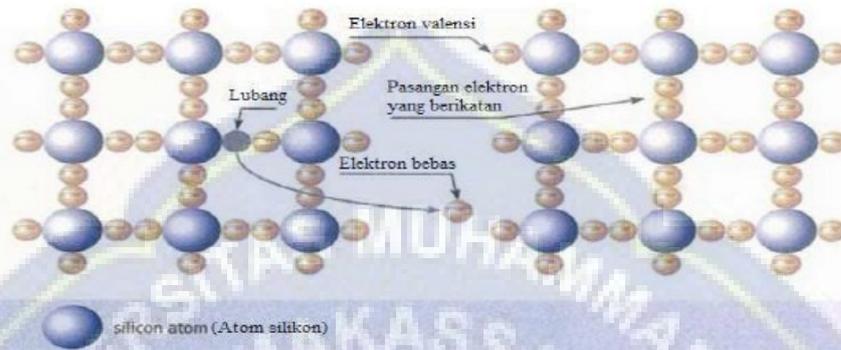
Pada siang hari saat matahari bersinar, radiasi yang dihasilkan dari cahaya matahari ditangkap oleh panel surya, maka elektron-elektron yang ada pada sel surya akan bergerak dari N ke P, sehingga pada terminal keluaran dari panel

berbeda-beda tergantung dari jumlah sel surya yang dikombinasikan di dalam panel surya tersebut. Keluaran dari panel surya ini adalah berupa listrik arus searah (DC) yang besar tegangan keluarannya tergantung dengan jumlah sel surya yang dipasang dalam panel surya dan banyaknya sinar matahari yang menyinari panel surya tersebut. Keluaran dari panel surya ini sudah dapat digunakan langsung ke beban yang memerlukan sumber tegangan DC dengan konsumsi arus yang kecil.

Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip *p-n junction*, yaitu *junction* antara *semikonduktor* tipe-p dan tipe-n. *Semikonduktor* ini terdiri dari ikatan ikatan atom yang dimana terdapat elektron-elektron sebagai penyusun dasar. *Semikonduktor* tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan *semikonduktor* tipe-p mempunyai kelebihan *hole* (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan *hole* tersebut bias terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant. Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon di *doping* oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n silikon di *doping* oleh atom posfor. Ilustrasi *n junction* ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron dan *hole* bias diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik.

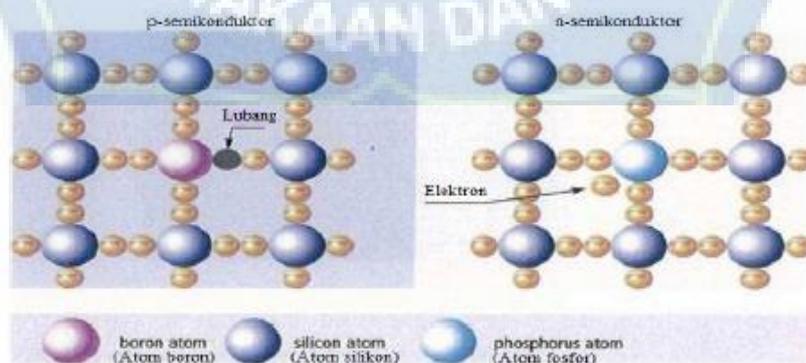
Ketika *semikonduktor* tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari *semikonduktor* tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada *semikonduktor* tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada *semikonduktor* tipe-p. Akibat dari elektron dan *hole* ini maka terbentuk medan listrik ketika cahaya matahari mengenai susunan sambungan p-n maka akan mendorong elektron bergerak dari *semikonduktor* menuju kontak negatif, yang

selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik dan sebaliknya *hole* bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang, seperti diilustrasikan pada gambar di bawah.



Gambar 2.3 Kondisi struktur kristal silikon dan konduktivitas intrinsik elektron

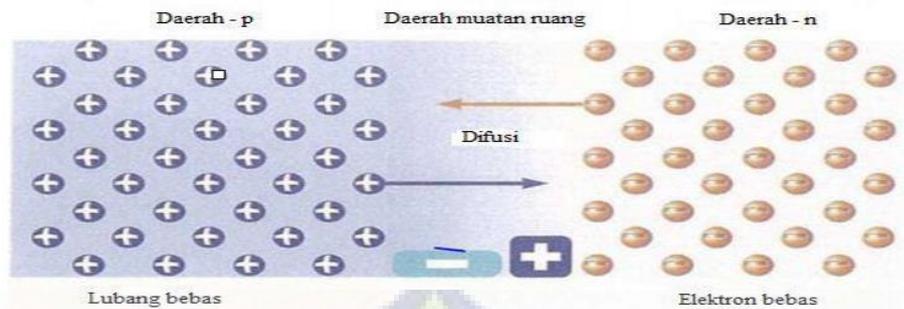
Konduktivitas instrinsik tidak dapat digunakan untuk menghasilkan listrik. Agar material silikon dapat digunakan untuk menghasilkan energi, pengotoran (*doping*) sengaja dilakukan ke dalam kisi Kristal. Ini dikenal sebagai atom *doping*. Atom-atom ini memiliki satu elektron lebih (fosfor) atau satu elektron kurang (boron) dari silikon di kulit elektron terluarnya. Dengan Demikian, atom *doping* menghasilkan atom pengotor dalam kisi Kristal.



Gambar 2.4 Kondisi ekstrinsik di dalam silikon dengan *doping* p dan n

Dalam gambar 2.4 memperlihatkan kondisi ekstrinsik di dalam silikon dengan *doping* p dan n. Pada kondisi fosfor sebagai *doping* n, maka ada kelebihan elektron untuk setiap atom fosfor di kisi. Elektron ini dapat bergerak dengan bebas di dalam Kristal dan oleh karena itu mengangkut muatan listrik. Dengan boron sebagai *doping* P, maka ada lubang (ikatan elektron yang hilang) untuk setiap atom boron dalam kisi. Elektron dari atom silikon tetangga (terdekat) dapat mengisi lubang ini, menciptakan sebuah lubang (*hole*) baru di tempat lain. Metode konduksi berdasarkan atom doping dikenal sebagai konduksi pengotor atau konduksi ekstrinsik. Dengan mempertimbangkan material *doping* p dan n, muatan bebas tidak memiliki arah yang untuk pergerakan mereka.

Jika lapisan *semikonduktor* dengan doping p dan n dibawa bersama, sebuah sambungan p-n (positif) terbentuk. Pada sambungan (*junction*) ini, elektron yang berlebih dari semikonduktor n berdifusi ke dalam lapisan *semikonduktor* p. Hal ini menciptakan satu daerah dengan beberapa pembawa muatan bebas. Wilayah ini dikenal sebagai daerah muatan ruang. Atom *doping* bermuatan positif tetap di wilayah n dan atom *doping* bermuatan negatif tetap di wilayah p dalam priode transisi. Medan listrik yang diciptakna berlawanan dengan gerakan pembawa muatna, akibatnya difusi tidak berkelanjutan terus-menerus.



Gambar 2.5 Daerah ruang muatan sambungan p-n

Pada gambar 2.5 memperlihatkan bentuk daerah ruang muatan pada sambungan p-n. Jika *semikonduktor* p-n (sel surya) terkena cahaya, foton diserap oleh elektron. Energi yang masuk tersebut memecah ikatan elektron sehingga elektron yang terlepas di tarik melalui medan listrik ke wilayah n. Lubang yang terbentuk bermigrasi dalam arah yang berlawanan ke wilayah p. Proses ini secara keseluruhan disebut efek *fotovoltaik*. Penyebaran pembawa muatan ke kontak listrik menyebabkan tegangan timbul pada sel surya. Pada keadaan tanpa beban, tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) timbul pada sel surya. Jika rangkaian listrik tertutup, maka arus listrik akan mengalir.

2.4 Konfigurasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pada system pembangkit listrik tenaga surya konfigurasi terhadap jaringan yang terhubung dibedakan menjadi tiga, yaitu *system PLTS* yang dihubungkan langsung dengan jaringan PLN atau bias disebut *PLTS On-Grid*. Sistem *PLTS* yang tidak dihubungkan ke jaringan PLN atau yang biasa disebut *PLTS Off-Grid/Stand-Alone*. Dan *PLTS* yang sistemnya digabung dengan jenis pembangkit lain atau biasa disebut system *PLTS Hybrid*.

2.4.1 Sistem PLTS *Off-Grid*

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (*Off-Grid*) merupakan system pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari tanpa terhubung dengan jaringan PLN atau dengan kata lain satu satunya sumber pembangkitnya yaitu hanya menggunakan radiasi matahari dengan bantuan panel surya atau *photovoltaic* untuk dapat menghasilkan energi listrik system PLTS *Off-Grid* sendiri juga hanya dimanfaatkan untuk daerah yang tidak terjangkau pasokan listrik dari PLN seperti daerah pedesaan.



Gambar 2.6 Skema system PLTS *Off-Grid*

2.4.2 Sistem PLTS *On-Grid*

Sistem PLTS terinterkoneksi (*On Grid*) atau yang disebut dengan *Grid Connected PV Sistem* adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari untuk menghasilkan listrik. Dan sesuai dengan namanya, maka sistem ini akan dihubungkan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi matahari melalui modul surya atau *photovoltaic* modul yang menghasilkan listrik semaksimal mungkin. Sistem ini juga dianggap ramah lingkungan dan bebas emisi. Sistem PLTS terinterkoneksi juga merupakan sebuah solusi *green energy* bagi masyarakat perkotaan baik perkantoran maupun perumahan yang bertujuan untuk dapat memperkecil tagihan rekening listrik PLN dan dapat memberikan nilai tambah kepada pemiliknya.



Gambar 2.7 Skema System PLTS *On-Grid*

2.4.3 Sistem PLTS Hybrid

Didefinisikan sebagai suatu sistem pembangkit tenaga listrik yang menggabungkan dua atau lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda, umumnya digunakan untuk *isolated grid*, sehingga diperoleh sinergi yang memberikan keuntungan ekonomis maupun teknis. Konfigurasi *hybrid* tersebut dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu :

A. Sistem Hybrid Seri

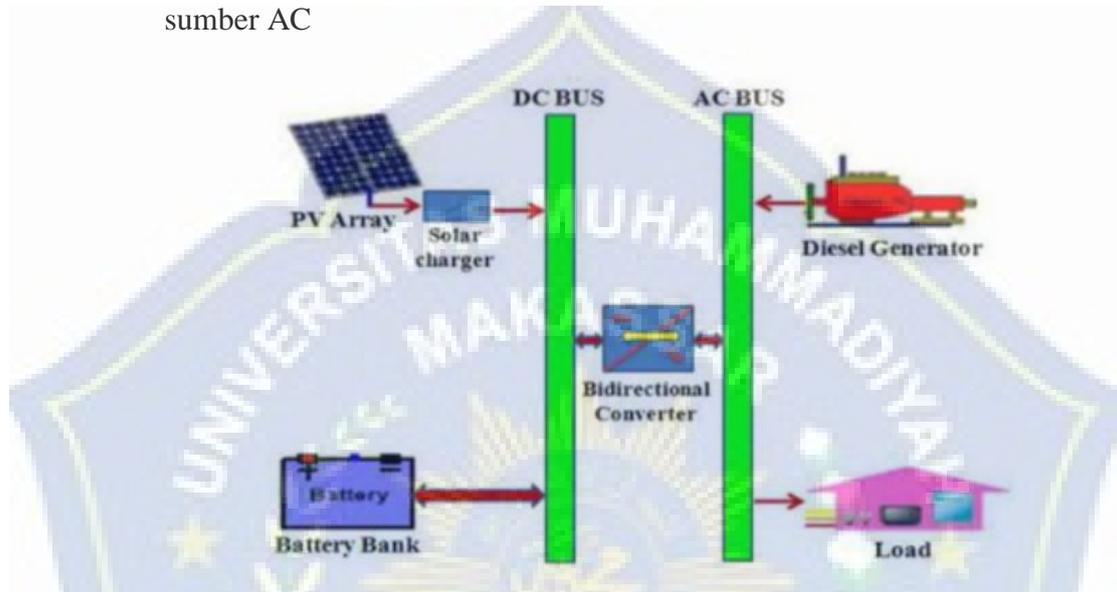
Untuk system seri semua pembangkit daya mensuplai daya DC kedalam baterai, setiap komponen harus dilengkapi dengan *charger controller* sendiri. Pada sistem ini sejumlah besar energi yang dibangkitkan dilewatkan melalui baterai, siklus baterai bank menjadi naik dan mengurangi efisien sistem, daya listrik dari genset disearahkan dan diubah kembali menjadi AC sebelum disupai ke beban sehingga tidak terjadi rugi-rugi yang signifikan.



Gambar 2.8 Sistem Hybrid Seri

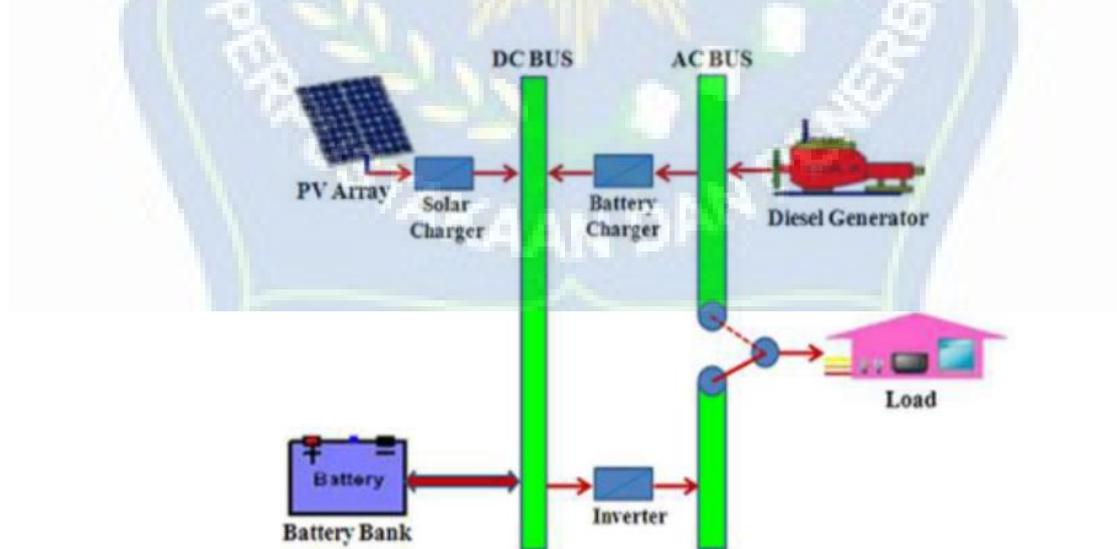
B. System Hybrid Paralel

Pada PLTS dan PLN yang menggunakan sistem paralel, beban disuplai baik dari generator diesel maupun *inverter* secara paralel. *Bidirectional converter* digunakan untuk menjembatani antara baterai dan sumber AC



Gambar 2.9 Sistem Hybrid Paralel

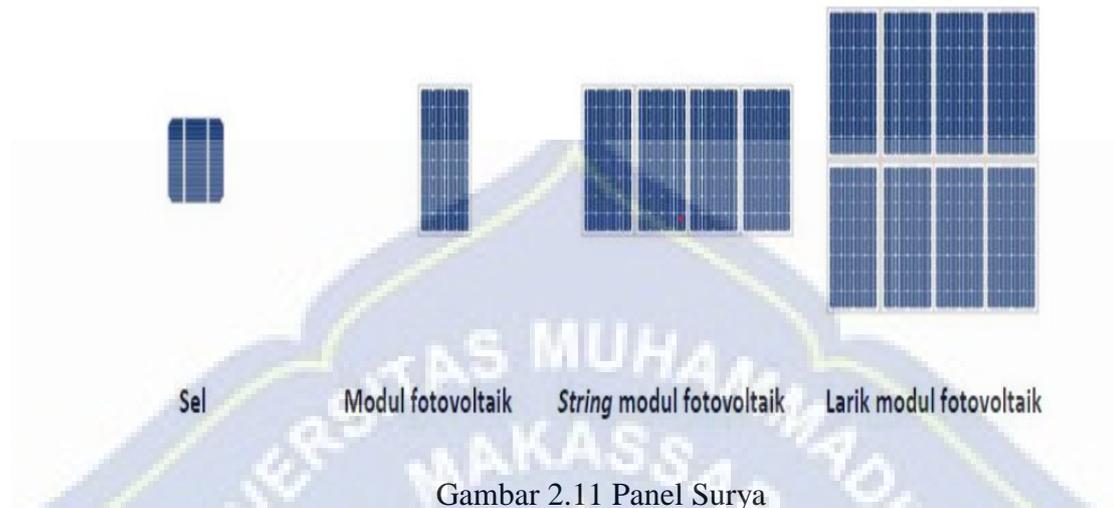
C. Sistem Hybrid Switched



Gambar 2.10 Sistem Hybrid Switched

2.5 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.5.1 Panel Surya



Gambar 2.11 Panel Surya

Energi listrik dapat dibangkitkan dengan mengubah sinar matahari melalui sebuah proses yang dinamakana *photovoltaic* (PV). *Photo* merujuk kepada cahaya dan *voltaic* merujuk kepada tegangan. Terminologi ini digunakan untuk menjelaskan sel elektronik yang memproduksi energi listrik arus searah dari *energy* radian matahari. Tegangan listrik yang dihasilkan oleh sebuah sel surya sangat kecil, sekitar 0,6 v tanpa beban atau 0,45 v dengan beban.

Sel surya tersusun seri akan menghasilkan tegangan sekitar 16 V. Tegangan ini cukup unutup digunakan mensuplay aki 12 v. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih besar lagi maka diperlukan lebih banyak sel surya.

Jenis-jenil Panel 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 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik di tempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.



Gambar 2.12 Monokristal panel

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.



Gambar 2.13 Polikristal panel

3. *Thin Film Photovoltaic*

Merupakan panel surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokrystal-silikon dan *amorphous*



Gambar 2.14 Thin Film Panel

2.5.2 *Combiner Box*

Fungsi utama dari kotak penggabung (*combiner box*) adalah saluran untuk menggabungkan *string* modul surya sehingga mendapatkan arus output larik modul surya yang lebih tinggi. Setiap rentetan *string* modul surya disambungkan ke busbar yang sama dan akan dilindungi baik secara mekanis maupun elektrik di dalam *enclouser*

Kotak penggabung umumnya berisi perangkat proteksi arus lebih (*overcurrent protection*) *string*, busbar atau terminal tambahan, perangkat proteksi tegangan surja (*surge protection device*), batang pembumian penggabungan tersebut kemudian dihubungkan langsung ke *inverter* jaringan pada sistem *AC-coupling*.



Gambar 2.15 *Combiner Box*

2.5.3 *Inverter*

Inverter adalah *converter* tegangan arus searah (DC) ke tegangan bolak balik (AC). Fungsi dari sebuah *inverter* adalah untuk mengubah tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran AC yang simetris dengan besar *magnitude* dan frekuensi yang diinginkan. Tegangan keluaran dapat bernilai tetap atau berubah-ubah dapat diperoleh dengan bervariasi tegangan masukan DC tetap dan tidak terkontrol, tegangan keluaran yang berubah-ubah dapat diperoleh dengan bervariasi tegangan masukan DC dan menjaga penguatan *inverter* bernilai tetap. Sebaliknya jika tegangan masukan DC tetap dan tidak terkontrol, tegangan keluaran yang berubah-ubah dapat diperoleh dengan menggunakan pengendali *pulse-width-modulation (PWM)* dan *Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)* yang ada di dalam *inverter*



Gambar 2.16 *Inverter*

Perhitungan *Inverter*

Untuk mengetahui daya *inverter* yang dibutuhkan jika total beban belum diketahui:

$$\text{Jumlah Inverter} = \frac{N \text{ Panel Surya} \times \text{Max Power Panel Surya}}{\text{Kapasitas Inverter}} \quad (1)$$

Keterangan :

Jumlah *inverter* = *inverter* yang digunakan

N Panel Surya = Jumlah Panel Surya

Max Power Panel Surya = Kapasitas *power* panel surya

Kapasitas *Inverter* = Daya *Inverter*

Jenis-jenis *inverter* pada PLTS

- *Stand-Alone Solar Panel*

Inverter ini adalah jenis solar *inverter* yang berfungsi mengubah arus DC yang berasal dari panel surya atau baterai menjadi arus AC. Jenis *inverter* ini banyak digunakan untuk sistem *off grid* dan dapat berfungsi tanpa harus terkoneksi dengan jaringan listrik lainnya.

Untuk dapat berfungsi secara optimal, jenis *inverter* ini harus digunakan berdampingan dengan *Solar Charge Controller* (SCC), baik tipe PWM ataupun MPPT, Sebuah alat berfungsi untuk mengatur *charge* dan *discharge* sebuah sistem listrik surya.

Cara kerjanya yaitu panel surya menghasilkan listrik kemudian di hubungkan oleh SCC untuk di simpan di baterai atau pengguna. Listrik dari baterai atau ke pengguna langsung dapat dimanfaatkan melalui fungsi *inverter*, yang merubah listrik DC menjadi AC.

- *Inverter On Grid sistem*

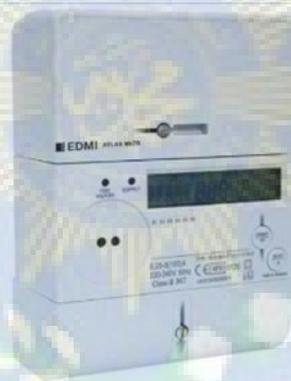
Inverter ini memiliki fungsi yang sama dengan *stand-alone solar inverter*, namun sumber utama arus DC nya adalah hanya solar panel dan hanya dapat berfungsi hanya jika terhubung dengan jaringan listrik utama (PLN).

Cara kerjanya adalah panel surya memproduksi daya listrik yang kemudian diteruskan langsung ke *inverter*, untuk kemudian dialirkan kembali ke jaringan pengguna. Listrik tersebut dapat dikonsumsi pengguna

atau jika ada kelebihan, maka kelebihan tersebut akan dikembalikan ke Jaringan PLN

2.5.4 Kwh Meter EXIM

KWh meter EXIM (EXPOR-IMPOR) adalah *system* layanan yang diberikan PLN untuk pelanggan PLN yang memasang Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di properti mereka. Melalui *Net Metering*, pelanggan PLN yang telah memasang PLTS di propertinya dapat mengekspor kelebihan listrik yang dihasilkan oleh PLTS ke jaringan PLN, begitu pula sebaliknya. Jika PLTS tidak dapat memenuhi kebutuhan listrik pelanggan, maka memperoleh/mengimpor listrik dari jaringan PLN.



Gambar 2.17 *Exim Meter*

2.6 Daya Listrik

2.6.1 Definisi Daya listrik

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau *Horsepower* (HP), *Horsepower* merupakan daya listrik dimana 1 HP setara

746 *Watt* atau *lbft/second*. Sedangkan *Watt* merupakan unit daya listrik dimana 1 watt memiliki daya setara dengan daya yang dihasilkan oleh perkalian arus *I Ampere* dan tegangan *I volt*

Daya dinyatakan dalam *P*, Tegangan dinyatakan dalam *V* dan Arus dinyatakan dalam *I*, sehingga besarnya daya dinyatakan :

$$P = V \times I \quad (2.2)$$

$$P_{rata-rata} = \frac{\text{Jumlah Daya}}{\text{Jumlah Data}} \quad (2.3)$$

$$P_{TOTAL} = P (\text{rata - rata}) \times \text{lama penyinaran} \quad (2.4)$$

$$P(\text{hemat}) = (P \text{ sebelum sinkron} - P \text{ sinkron}) \quad (2.5)$$

Keterangan :

P : Daya (Watt)

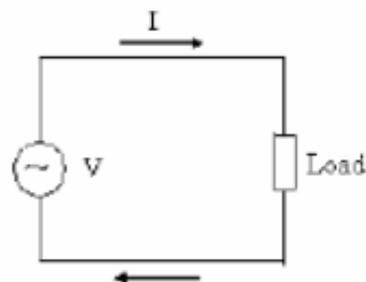
V : Tegangan (Volt)

I : Arus (Ampere)

P_{rata-rata} : Nilai rata-rata daya (Watt)

P_{TOTAL} : Nilai total keseluruhan daya (Watt)

P(hemat) : Selisih daya sebelum sinkron dan setelah sinkron (Watt)



Gambar 2.18 Arah aliran arus listrik

2.6.2 Daya Aktif

Daya aktif (*Active Power*) adalah daya yang dipakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah *Watt*. Misalnya energi panas, cahaya, mekanik dan lain-lain.

$$P = V.I. \cos\varphi \quad (2.6)$$

$$P = 3 . V_1 . I_1 . \cos\varphi \quad (2.7)$$

Keterangan :

P : Daya aktif (W)

V : Tegangan (V)

I : Arus Listrik (A)

Cosφ : Faktor Daya

Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversi dalam bentuk kerja.

2.6.3 Daya reaktif

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk *fluks* medan magnet. Satuan daya reaktif adalah Var.

$$Q = V . I . \sin \varphi \quad (2.8)$$

$$Q = 3 . V_1 . I_1 . \sin \varphi \quad (2.9)$$

Keterangan :

Q : Daya reaktif (VAR)

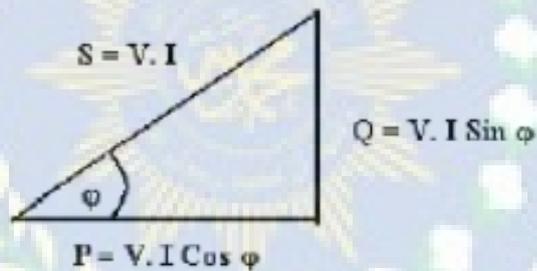
V : Tegangan (V)

I : Arus Listrik (A)

$\sin \varphi$: Faktor Reaktif

2.6.4 Daya nyata

Daya nyata (*Apparent Power*) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan rms dan arus rms dalam suatu jaringan atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif dan daya reaktif. Satuan daya nyata adalah VA.



Gambar 2.19 Penjumlahan trigonometri daya aktif, reaktif dan semu

$$S = V \cdot I$$

(2.10)

Keterangan :

S : Daya Semu (VA)

V : Tegangan (V)

I : Arus Listrik (A)

2.7 Beban Listrik

Pengembangan sistem ketenagalistrikan tidak lepas dari pengembangan sistem distribusi dan dalam pengembangan sistem distribusi tenaga listrik ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, salah satunya adalah karakteristik beban pada jaringan distribusi tenaga listrik. Dalam sistem arus bolak-balik (Arus AC), karakteristik beban listrik dikelompokkan menjadi tiga macam, yaitu : Beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Dari ketiga sifat beban listrik diatas yang paling berdampak pada sistem distribusi tenaga listrik adalah sifat dari beban induktif, karena sifat dari beban dapat menimbulkan gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik.

Berdasarkan jenis konsumen energi listrik, beban dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis, yaitu

- a. Beban rumah tangga, beban rumah tangga dapat berupa lampu untuk penerangan dan alat-alat rumah tangga, seperti pemanas air kipas angin, lemari es, *mixer*, AC, *oven*, pompa air, dan lain sebagainya. Beban rumah tangga tertinggi biasanya terjadi pada malam hari.
- b. Beban komersial, pada umumnya terdiri atas penerangan untuk penerangan papan iklan di jalan, AC, kipas angin dan alat-alat listrik lain yang digunakan ditempat umum, seperti rumah sakit, restoran, hotel, perkantoran, dan lainnya. Beban perkantoran secara cepat akan naik pada siang hari sedangkan beban pertokoan akan menurun diwaktu sore.
- c. Beban fasilitas umum, lebih dominan pada siang hari

- d. Beban industri dibedakan menjadi beban industri skala kecil dan beban industri skala besar. Untuk beban industri skala kecil beroperasi pada siang hari sedangkan beban industri besar sering beroperasi selama 24 jam.

Pentingnya pengklasifikasian ini adalah untuk melakukan analisa karakteristik beban dalam suatu sistem yang besar. Perbedaan dari keempat jenis beban di atas, adalah data yang digunakan dan waktu pembebanannya. Daya yang digunakan pada beban rumah tangga lebih dominan pada pagi dan malam hari. Untuk beban komersial lebih dominan pada siang dan sore hari.

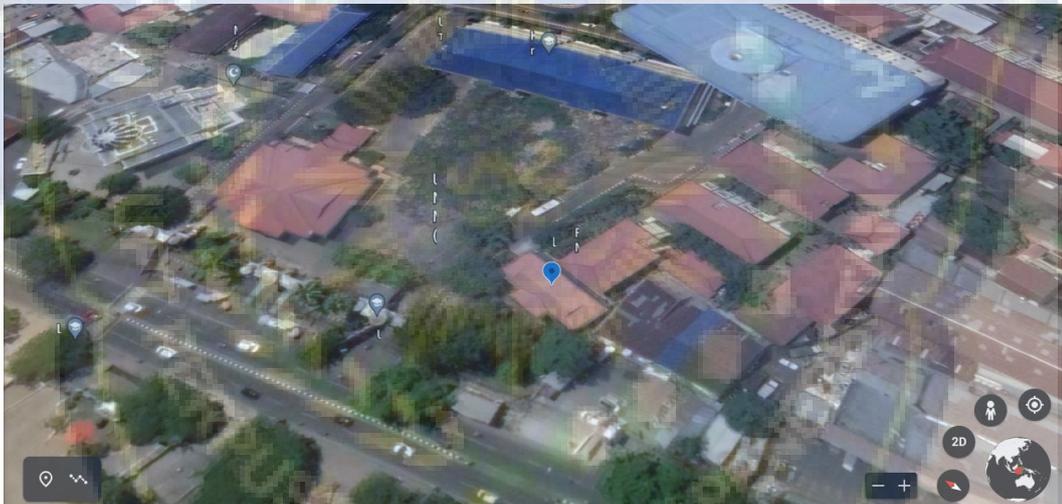


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar sendiri di Kampus unismuh makassar, Jl. Talasalapang, Karunrung, Kec. Rappocini, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90221. Waktu penelitian dilaksanakan selama sehari pada hari Kamis 30 Juni 2022, Mulai pukul 08.40 sampai pukul 15.00 WITA.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian
(Sumber : Google Earth Satelit)

3.2. Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini perlu adanya alat dan bahan untuk melakukan analisis, sebagai penunjang kelancaran dalam menyelesaikan penelitian. Adapun alat dan bahan pendukung diantaranya :

A. Alat

Alat pendukung yang digunakan untuk membantu dalam penyusunan laporan skripsi antara lain :

- 1) Suatu unit laptop sebagai (*Human Machine Interface*)
- 2) Satu set alat printer
- 3) *Software Microsoft Office word* digunakan dalam penyusunan laporan skripsi
- 4) *Software Microsoft Office Excel* digunakan untuk mengolah data
- 5) *Software Microsoft Office Visio* untuk membuat diagram blok dan *flowchart* penelitian.
- 6) LUXmeter, digunakan untuk mengukur intensitas cahaya matahari
- 7) *Wattmeter DC*, digunakan untuk mengukur daya output panel surya
- 8) *Wattmeter AC*, digunakan untuk mengukur output PLN dan *grid inverter*

B. Bahan

Bahan bahan pendukung dalam penyusunan laporan penelitian ini adalah berupa data-data yang sudah didapat dan dikumpulkan penulis antaranya :

a. Data Primer

Data yang didapat di lapangan :

1. Data pengukuran intensitas cahaya matahari selama penyinaran yaitu 6 jam 20 menit (sehari).

2. Data pengukuran tegangan, arus dan daya output panel surya selama penyinaran
3. Data pengukuran tegangan, arus dan daya *output inverter on grid* sebelum dan setelah tersinkronisasi *grid inverter*.

b. Data Sekunder

Data yang didapat sebagai penunjang dalam penyusunan laporan penelitian ini yang bersumber dari beberapa penelitian, jurnal, dan referensi lainnya. Data lain berupa spesifikasi panel surya dan *inverter on grid*.

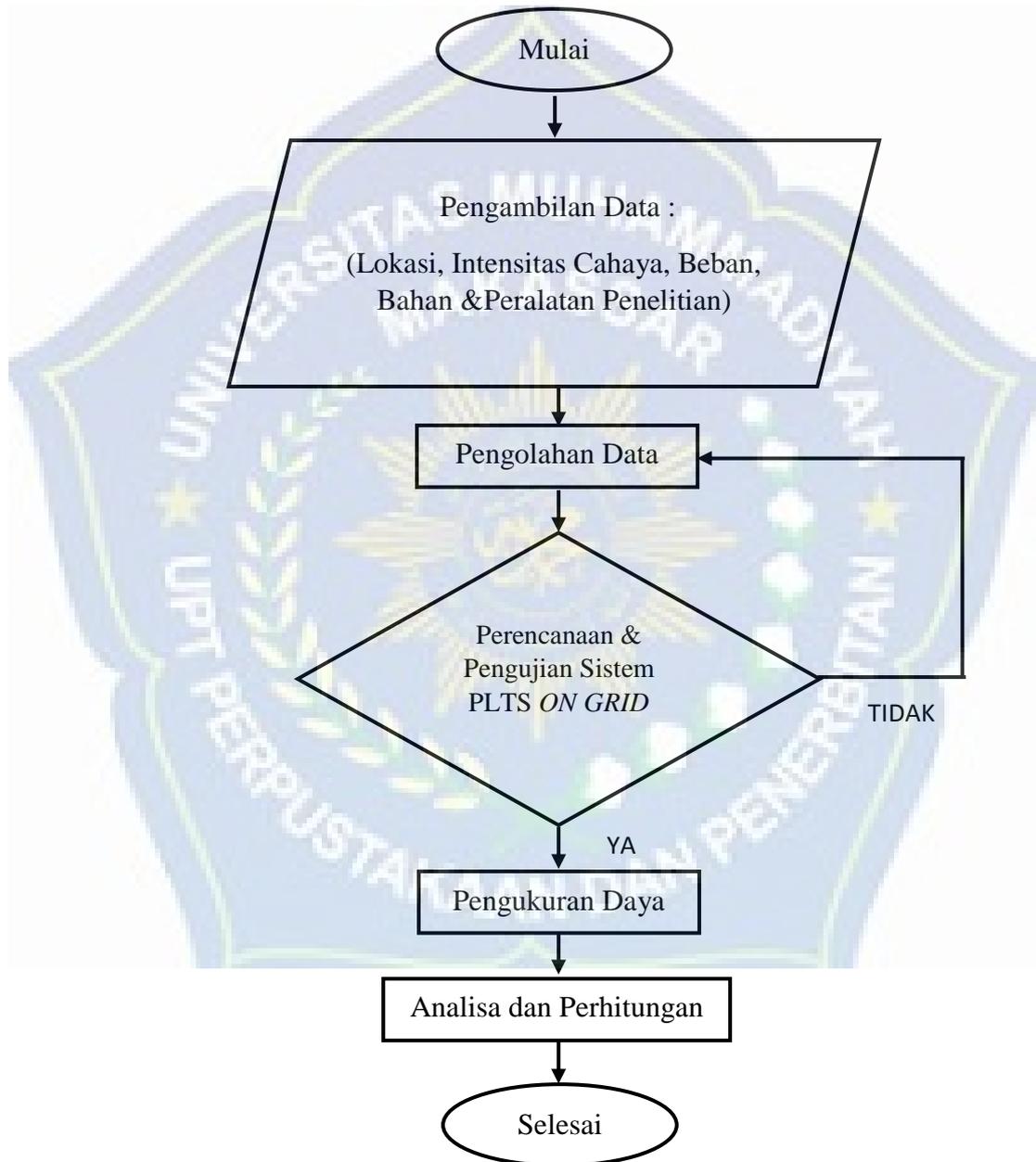
3.3. Metode Penelitian

Adapun jenis penelitian yang akan dilakukan adalah Metode penelitian Kualitatif dengan cara penelitian langsung atau biasa disebut *direct observation*. Penelitian diawali dengan pengambilan data secara langsung kemudian melakukan analisis. Pada penelitian ini akan dilakukan pengambilan data daya yang dihasilkan panel surya, keluaran daya dari *inverter on grid* dan keluaran daya dari *grid/PLN* terhadap beban rumah sebelum dan setelah tersinkronisasi *grid inverter*.

Dalam penelitian ini dilakukan analisa daya yang dihasilkan panel surya dan daya PLN sebelum dan sesudah tersinkronisasi *grid inverter*. Adapun hasil yang diinginkan yaitu dapat mengetahui kemampuan sistem PLTS on grid dalam membagi daya terhadap beban rumah bersama dengan *grid/PLN*.

3.4. Diagram Alur Penelitian

Sebelum melakukan penelitian adakalanya menentukan *flowchart* penelitian supaya memperoleh hasil penelitian yang terstruktur dan terarah. Adapun *flowchart* penelitian sebagai berikut.



Gambar 3.2 *Flowchart* Penelitian

Gambar 3.2 merupakan *flowchart* penelitian atau alur penelitian yang akan mengarahkan penelitian sesuai dengan ekspektasinya. Diantaranya diawali dengan:

A. Pengambilan Data

Tahapan alur penelitian yang pertama adalah mengumpulkan data yang diperlukan untuk dapat melakukan penelitian diantaranya menentukan lokasi penelitian, mengumpulkan data intensitas matahari, mengumpulkan bahan dan peralatan yang menunjang penelitian.

B. Pengolahan Data

Setelah semua data telah diperoleh kemudian data tersebut diolah untuk dapat melanjutkan tahapan penelitian selanjutnya.

C. Perencanaan dan Pengujian Sistem PLTS *On Grid*

Tahapan perencanaan dilakukan setelah pengolahan data kemudian merancang modul pengujian sistem PLTS *On Grid*. Setelah pengujian selesai jika pengujian berhasil, dilanjutkan ke tahapan selanjutnya. jika belum berhasil kembali ke tahap pengolahan data.

D. Pengukuran Daya

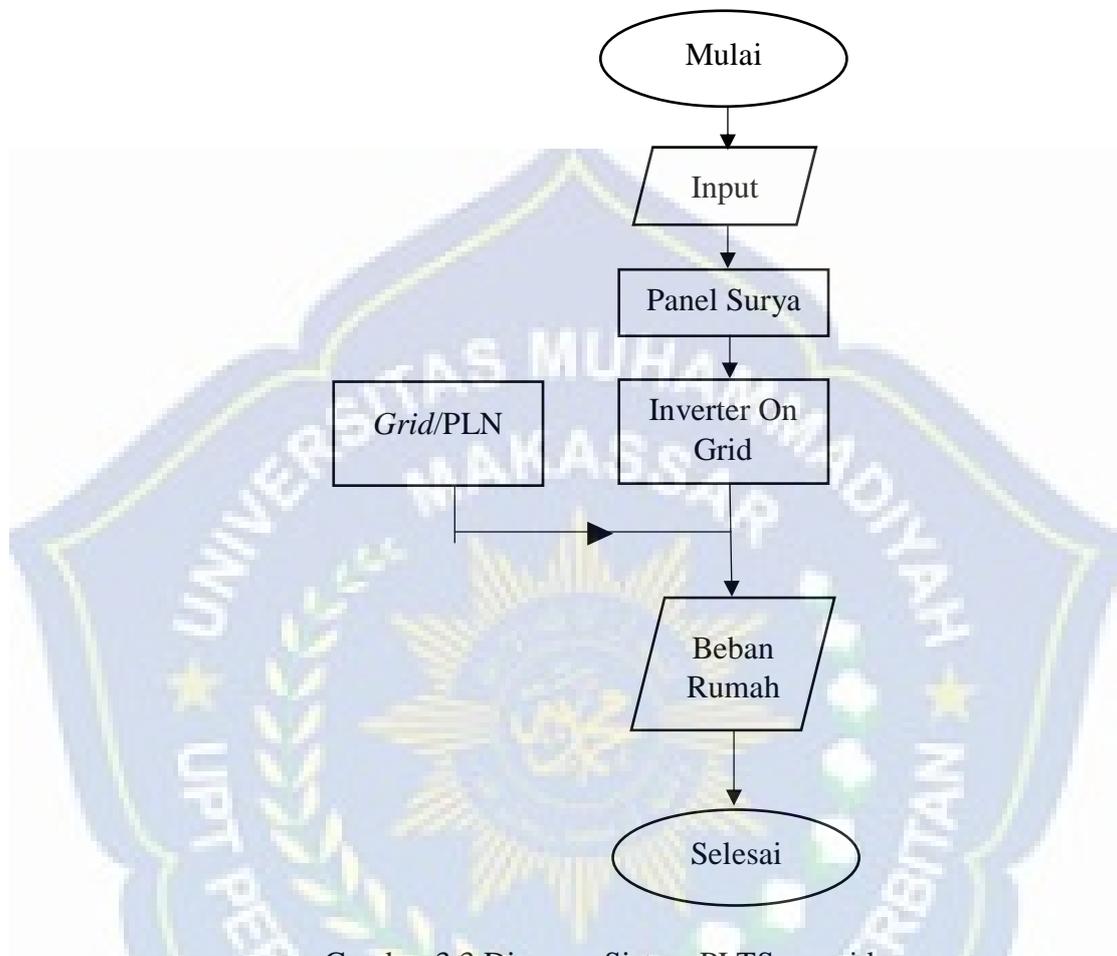
Setelah pengujian sistem berhasil tahapan selanjutnya yaitu melakukan pengukuran daya terhadap sistem PLTS *On Grid*.

E. Analisa dan Perhitungan

Setelah data pengukuran diperoleh kemudian data dianalisa dan dihitung pada tahapan ini.

3.4 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On Grid*

Sistem pembangkit listrik tenaga surya *on grid* ditunjukkan dalam gambar 3.2



Gambar 3.3 Diagram Sistem PLTS on grid

Gambar 3.3 menunjukkan sistem pembangkit listrik tenaga surya *on grid*. Dimulai dengan input berupa sinar matahari yang dikonversi menjadi energi listrik DC oleh panel surya. Energi listrik yang dihasilkan panel surya akan diubah menjadi arus AC oleh *inverter on grid*. Dimana *inverter on grid* tersinkronisasi langsung dengan *Grid/PLN*.

Spesifikasi sistem pembangkit listrik tenaga surya sistem *on grid*

3.4.1 Panel Surya



Gambar 3.4 Panel surya

Pemilihan panel surya dengan daya 50 Wp dikarenakan ukuran yang tidak terlalu besar sehingga mempermudah dalam proses mobilisasi untuk pemasangan panel, seperti yang diketahui semakin besar daya yang dibangkitkan sebuah panel maka semakin besar juga ukurannya.

Tabel 3.1. Spesifikasi Panel Surya

Rated Max Power (Pmax)	50 W
Current at Pmax (Imp)	2,91 A
Voltage at Pmax (Vmp)	17.2 V
Short Circuit Current (Isc)	3.23 A
Open Circuit Voltage (Voc)	21.5 V
Normal Operating Cell Temp	45°C
Weight	2.6 Kg
Max System Voltage	1000V DC

3.4.2 Inverter On Grid 1000 W



Gambar 3.5 Inverter on grid 1000 W

Pemilihan inverter on grid 1000 w, karena jumlah daya plts yang di bangkitkan tidak terlalu tinggi di bawah dari daya *inverter* tersebut. Serta sesuai dengan tegangan kerja yang ditentukan oleh pembimbing.

Tabel 3.2 Spesifikasi *Inverter On-Grid*

<i>Rate Power</i>	1000 watt
<i>Solar Panels</i>	36 cells-Vmp:18-21V:Voc:20-24v
<i>DC input</i>	10.8 – 30 VDC
<i>DC Max. Current</i>	70A
<i>AC output</i>	120VAC(90-140 VAC)
<i>Frequency</i>	50 Hz
<i>Peak Efficiency</i>	85
<i>Stable Efficiency</i>	83
<i>Working Temperature</i>	-20°C - 65°C

3.4.3 *Grid* PLN

Listrik yang berasal dari *inverter on grid* disinkronisasikan langsung ke *Grid* PLN. Kondisi dimana PLN akan membagi beban bersama dengan Daya yang berasal dari *inverter*. *Grid* PLN berasal dari jaringan listrik rumah yang tersambung melalui Kwh Meter.

3.4.4 Beban

Setelah listrik yang dibangkitkan panel surya dirubah menjadi AC oleh inverter, kemudian bersama dengan *grid*/PLN energi listrik didistribusikan ke beban. Sample beban yang digunakan adalah beban rumah.

3.5 Analisis dan Hasil Perhitungan

Dalam penelitian ini dilakukan analisis kemampuan pembangkit listrik tenaga surya sistem *on grid*. Analisis dilakukan dengan melakukan perhitungan manual setelah melakukan pengukuran.

3.5.1 Studi literature

Studi Literatur dilakukan dengan mempelajari teori-teori pendukung analisis dan perhitungan dalam penelitian ini.

3.5.2 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh dengan melakukan pengukuran selama observasi. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui intensitas cahaya matahari, daya yang dapat dihasilkan panel surya, daya *output inverter*, dan daya *output pln* sebelum dan setelah tersinkronisasi PLN. Pengukuran dilakukan selama 20 menit sekali selam 6 jam 20 menit penyinaran. Hal ini dilakukan agar data dapat

digunakan sebagai perbandingan. Pengukuran yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain :

- 1) Pengukuran tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya
- 2) Pengukuran tegangan dan arus *output inverter on grid*
- 3) Pengukuran tegangan dan arus terhadap beban antara *output grid* PLN dengan *Inverter on grid*

3.5.3 Menghitung Daya Listrik

Dari pengukuran tegangan dan arus diatas kemudian dilakukan perhitungan daya dengan menggunakan rumus yang terdapat didalam kajian teori. Perhitungan dilakukan untuk mencari nilai daya pada sistem pembangkit listrik tenaga surya yang meliputi :

- 1) Perhitungan daya yang dihasilkan panel surya.
- 2) Perhitungan daya output inverter *on grid*
- 3) Perhitungan daya output PLN sebelum dan setelah tersinkronisasi *grid* inverter

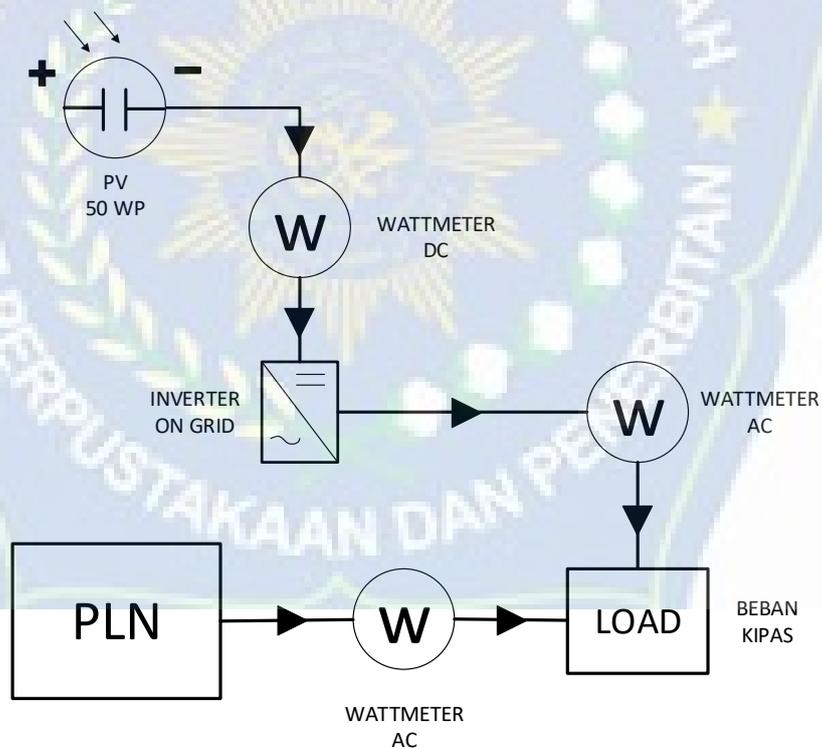
3.5.4 Melakukan Analisa Hasil Perhitungan

Setelah didapatkan hasil dari perhitungan daya diatas, langkah selanjutnya melakukan analisa kemampuan pembangkit listrik sistem *on grid* dalam menghasilkan energi listrik selama tersinkronisasi *grid*/PLN. Hasil analisa dan perbandingan akan ditampilkan dalam bentuk grafik.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kemampuan pembangkit listrik tenaga surya sistem *on grid*. Dimana penelitian ini mensimulasikan pembangkit listrik tenaga surya sistem *on grid* yang disinkronisasikan langsung ke jaringan PLN. Hasil dari penelitian tersebut dijadikan sebagai data untuk menganalisis perbandingan antara hasil output pembangkit tenaga surya dengan hasil output jaringan PLN, pada saat bagaimana kondisi PLTS melakukan penghematan terhadap beban rumah selama tersinkronisasi jaringan PLN.



Gambar 4.1 Diagram pengukuran plts *on grid*

Dalam bab ini dibahas mengenai hasil pengukuran dan perhitungan daya dalam sistem pembangkit tenaga surya *on grid*. Dan bagaimana hasil analisis

perbandingan daya yang terjadi sebelum jaringan PLN tersinkronisasi *grid inverter* dan setelah tersinkronisasi jaringan PLN.

4.1 Data Pengukuran

Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengukuran secara langsung selama observasi. Untuk memperoleh data yang dibutuhkan, pengukuran dilakukan di beberapa waktu dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya sistem *on grid*. Dalam penelitian ini, pengukuran dilakukan setiap 20 menit sekali dalam kurun waktu 6 jam 20 menit. Pengukuran dilakukan pada Hari Kamis, 6 Juni 2022 pukul 8.40.

4.1.1 Data pengukuran Intensitas Matahari

Dalam penelitian ini, pengukuran dilakukan setiap 20 menit sekali dalam kurun waktu 6 jam 20 menit, mulai pukul 8.40 WITA sampai 15.00 WITA selama sehari penyinaran.

Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur luxmeter untuk mengetahui intensitas cahaya matahari atau iluminasi pada saat pengukuran. Nilai pengukuran luxmeter akan dikonversi menjadi irradiasi (W/m^2) sebagai berikut.

$$1 \text{ lux} = 0,0079 \text{ W/m}^2$$

$$1000 \text{ lux} = 7,9 \text{ W/m}^2$$

Berikut merupakan data hasil pengukuran cahaya matahari menggunakan luxmeter.

- Pukul 8.40 WITA

$$210 \times 10^2 \text{ Lux} = 165.900 \text{ W/m}^2$$

- Pukul 9.00 WITA

$$228 \times 10^2 \text{Lux} = 180.120 \text{ W/m}^2$$

- Pukul 9.20 WITA

$$269 \times 10^2 \text{Lux} = 212.510 \text{ W/m}^2$$

dst.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Intensitas Matahari

Waktu (Jam)	Illuminasi (lux)	Irradiasi (W/m ²)
8.40	210 x 10 ²	165.900
9.00	228x10 ²	180.120
9.20	269 x 10 ²	212.510
9.40	225 X 10 ²	177.750
10.00	405 X 10 ²	319.950
10.20	260 X 10 ²	205.400
10.40	625 X 10 ²	493.750
11.00	419 X 10 ²	331.010
11.20	370 X 10 ²	292.300
11.40	401 X 10 ²	316.790
12.00	893 X 10 ²	705.470
12.20	840 X 10 ²	663.600
12.40	866 X 10 ²	684.140
13.00	213 X 10 ²	168.270
13.20	125 X 10 ²	98.750

13.40	125 X 10 ²	98.750
14.00	115X 10 ²	90.850
14.20	114X 10 ²	90.060
14.40	118X 10 ²	93.220
15.00	260 X 10 ²	205.400

Dari hasil pengukuran Intensitas cahaya, hasil pengukuran sangat bervariasi selama pengukuran. Hasil pengukuran mulai pukul 8.40 WITA terukur dikisaran 165.900 W/m². Kemudian pengukuran di jam – jam selanjutnya mengalami peningkatan cahaya matahari seperti pada pukul 10.00 WITA terukur dikisaran 319.950 W/m² Adapun intensitas cahaya tertinggi di pukul 12.00 WITA adalah 705.470 W/m² dan Intensitas cahaya rendah pada pukul 14.20 WITA adalah 90.060 W/m².

4.1.2 Data pengukuran Daya Output Panel Surya

Dalam penelitian ini, pengukuran dilakukan setiap 20 menit sekali dalam kurun waktu 6 jam 20 menit mulai pukul 8.40 WITA sampai 15.00 WITA selama sehari penyinaran. Pengukuran dilakukan menggunakan alat wattmeter digital DC untuk mengetahui tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya serta daya yang dibangkitkan panel surya.

Berikut merupakan data hasil pengukuran daya yang dihasilkan panel surya 50 wp

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran *Output* Panel Surya

Waktu (Jam)	Arus DC (A)	Teganga DC (V)	Daya DC (W)
8.40	0.89	9.25	8.3
9.00	1.1	13.04	10
9.20	1.1	17.04	17.9
9.40	1.01	13.46	10
10.00	1.70	15.48	26
10.20	1.09	15.04	16.8
10.40	2.23	15.24	34.4
11.00	1.62	16.12	25.9
11.20	1.50	13.85	21.8
11.40	1.42	14.42	20.9
12.00	2.84	16.17	46
12.20	2.20	14.80	35.6
12.40	2.47	15.18	37.6
13.00	0.28	18.63	5.2
13.20	0.24	17.26	4.2
13.40	0.24	17.26	4.2
14.00	0.24	17.18	3.8
14.20	0.24	17.16	3.7
14.40	0.24	17.20	4.0
15.00	1.09	15.04	16.8

Dari hasil pengukuran panel surya 50 Wp mulai dari jam 8.40 – 15.00. Daya yang diperoleh sangat bervariasi di mulai pada pukul 8.40 WITA daya yang terukur dikisaran 8.3 W. Selanjutnya daya yang terukur pada pukul 10.00 WITA mengalami peningkatan sebesar 26 W puncak tertinggi pengukuran daya terjadi pada 12.00 WITA yaitu sebesar 46 W. Dan daya terendah pada pukul 14.20 WITA sebesar 3.7 W.

4.1.3 Data Pengukuran Daya *Output Inverter On Grid*

Pengukuran daya *output inverter* dilakukan untuk mengetahui besar daya yang dihasilkan oleh *grid inverter*. Maka pengukuran dilakukan setiap 20 menit sekali dalam kurun waktu 6 jam 20 menit, mulai pukul 8.40 WITA sampai 15.00 WITA selama sehari penyinaran.

Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur wattmeter AC digital untuk mengetahui tegangan dan arus *output inverter* sistem *on grid*.

Data hasil pengukuran daya *output inverter* dapat dilihat didalam Tabel sebagai berikut:

Tabel 4.3 Hasil pengukuran *output inverter on grid*

Waktu (Jam)	Arus AC (A)	Tegangan AC (V)	Daya AC (W)
8.40	0.105	225	3.6
9.00	0.115	225	9
9.20	0.127	224.5	14
9.40	0.117	224.5	9.9

10.00	0.183	224.5	21.3
10.20	0.154	221.4	12.4
10.40	0.209	224.2	26.9
11.00	0.230	223.4	16.6
11.20	0.195	223.4	12.8
11.40	0.215	221.6	15.5
12.00	0.272	226.8	33.6
12.20	0.245	225	24.5
12.40	0.255	227.8	26.5
13.00	0.007	227.5	2.0
13.20	0.005	226.8	1.5
13.40	0.005	226.8	1.5
14.00	0.003	226.8	1.2
14.20	0.002	226.8	1.1
14.40	0.004	226.8	1.4
15.00	0.154	221.4	12.4

Dari hasil pengukuran *output inverter on grid* mulai dari jam 8.40 – 15.00.

Daya output inverter pada pukul 8.40 WITA sebesar 3.6 W. Kemudian setelah beberapa jam kemudian mengalami kenaikan yang signifikan pada pukul 10.00 WITA sebesar 21.3 W. Setelah berselang lama perolehan puncak terjadi pada 12.00 WITA yaitu sebesar 33.6 W. dan mengalami penurunan atau pengukuran terendah pada Pukul 14.20 sebesar 1.1 W.

4.1.4 Data Pengukuran Daya Output PLN Sebelum Tersinkronisasi Grid Inverter

Pengukuran daya output PLN sebelum tersinkronisasi Grid Inverter dilakukan untuk mengetahui atau sebagai acuan perbandingan seberapa banyak daya PLN yang akan digunakan jika tidak tersinkronisasi grid inverter. Pengukuran menggunakan alat ukur Wattmeter AC digital. pengukuran dilakukan setiap 20 menit sekali dalam kurun waktu 6 jam 20 menit, mulai pukul 8.40 WITA sampai 15.00 WITA selama sehari penyinaran.

Data hasil pengukuran daya output PLN sebelum tersinkronisasi grid inverter dapat dilihat di Tabel sebagai berikut.

Tabel 4.4 Hasil pengukuran output PLN sebelum tersinkronisasi grid inverter

Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)
0.265	226.5	56.7

Dari hasil pengukuran diperoleh Daya sebesar 56,7 W. Ini merupakan daya murni dari listrik PLN sebelum tersinkronisasi grid inverter. Hasil pengukuran ini tidak beragam dan tetap sehingga hasilnya bisa disimpulkan murni dari PLN. Karena hanya menggunakan pengukuran pada satu beban daya yang di hitung tidak bervariasi.

4.1.5 Data Pengukuran Daya Output PLN Setelah Tersinkronisasi Grid Inverter

Pengukuran daya output PLN setelah tersinkronisasi *Grid Inverter* dilakukan untuk mengetahui atau sebagai acuan perbandingan seberapa banyak

daya PLN yang akan digunakan pada beban kipas jika tersinkronisasi *grid inverter*. Pengukuran menggunakan alat ukur Wattmeter AC digital. pengukuran dilakukan setiap 20 menit sekali dalam kurun waktu 6 jam 20 menit, mulai pukul 8.40 WITA sampai 15.00 WITA selama sehari penyinaran.

Data hasil pengukuran daya output PLN setelah tersinkronisasi grid inverter dapat dilihat di Tabel sebagai berikut.

Tabel 4.5 Hasil pengukuran output PLN setelah tersinkronisasi *grid inverter*

Waktu (Jam)	Arus AC (A)	Tegangan AC (V)	Daya AC (W)
8.40	0.280	225	53,7
9.00	0.293	225	51.1
9.20	0.329	224.5	48
9.40	0.286	224.5	52
10.00	0.332	224.5	34
10.20	0.324	221.7	42.2
10.40	0.336	224.2	28.1
11.00	0.383	223.1	38.3
11.20	0.357	223.1	42.9
11.40	0.370	222.2	42.6
12.00	0.141	226.9	23.0
12.20	0.375	225	28.5
12.40	0.385	227.6	30.1
13.00	0.305	227.2	57.5

13.20	0.280	225	53,7
13.40	0.280	225	53,7
14.00	0.260	225	52.4
14.20	0.250	225	50.2
14.40	0.275	225	52.7
15.00	0.357	223.1	42.9

Berbeda dari pengukuran daya yang terjadi pada output inverter. Dari hasil pengukuran di peroleh sample pengukuran pada pukul 8.40 WITA sebesar 53,7 W disaat matahari memiliki intensitas rendah. selanjutnya pada pukul 10.00 WITA justru pengukuran mengalami penurunan daya sebesar 34 W dikarenakan matahari mengalami intensitas tinggi. Setelah mengalami penyinaran yang cukup lama dengan intensitas matahari tertinggi daya output PLN paling rendah pada pukul 12.00 WITA sebesar 23,0 W pada saat ini kondisi matahari maksimum tepat di atas panel surya. Dan kemudian naik kembali pada saat intensitas cahaya rendah pada pukul 13.00 WITA sebesar 57.5 W dikarenakan matahari dihalangi oleh awan sehingga membuat intensitasnya menurun.

4.2 Perhitungan Data

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui kemampuan pembangkit listrik tenaga surya sistem *on grid* dalam menghasilkan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan beban rumah. Perhitungan juga dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak kontribusi panel surya sistem *on grid* setelah disinkronisasikan listrik PLN.

Perhitungan secara manual dilakukan sesuai dengan persamaan-persamaan yang terdapat dilandaskan teori.

4.2.1 Perhitungan Daya Panel Surya / Input Inverter

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui daya yang dihasilkan panel surya kapasitas 50 Wp.

Perhitungan dilakukan sesuai dengan hasil pengukuran daya keluaran panel surya 50 Wp yang ditunjukkan dalam Tabel 4.2 Langkah pertama dalam perhitungan daya panel surya, dengan mencari rata-rata daya yang dapat dihasilkan panel surya, selama waktu penyinaran matahari dengan mengambil data sampel perhitungan maksimum yaitu :

$$P (\text{rata - rata}) = \frac{\text{Jumlah Pdc Total (dari jam 08.40 - jam 15.00)}}{\text{Jumlah Data (Dari jam 08.40 - jam 15.00)}} \quad 2.3$$

$$P (\text{rata - rata}) = \frac{340,1 \text{ W}}{20}$$

$$P (\text{rata - rata}) = 17,005 \text{ Wh}$$

$$P \text{ Total} = P (\text{rata - rata}) \times \text{lama penyinaran}$$

$$P \text{ Total} = 17,005 \text{ Wh} \times 6,20 \text{ jam}$$

$$P \text{ Total} = 106,281 \text{ Wh/ Day}$$

$$P \text{ Total} = 0,106 \text{ KWh/ Day}$$

Hasil perhitungan rata-rata harian pengukuran panel surya selama 6 jam 20 menit

Panel surya 50 Wp rata-rata dapat menghasilkan 0,106 KWh/ Day

4.2.2 Perhitungan Daya Output Inverter *On Grid*

Sesuai dengan data hasil pengukuran daya output inverter yang ditunjukkan dalam tabel 4.3. Perhitungan daya output inverter dilakukan untuk mengetahui besar daya yang dikeluarkan inverter *on grid* terhadap beban rumah yang disinkronisasikan ke PLN.

$$P \text{ (rata - rata)} = \frac{\text{Jumlah Daya}}{\text{Jumlah Data}} \quad 2.3$$

$$P \text{ (rata - rata)} = \frac{235,3 \text{ W}}{20}$$

$$P \text{ (rata - rata)} = 11,765 \text{ Wh}$$

$$P \text{ Total} = P \text{ (rata - rata)} \times \text{lama penyinaran} \quad 2.4$$

$$P \text{ Total} = 11,765 \text{ Wh} \times 6.20 \text{ jam}$$

$$P \text{ Total} = 72,943 \text{ Wh/ Day}$$

$$P \text{ Total} = 0,073 \text{ KWh/ Day}$$

Hasil perhitungan rata-rata harian pengukuran output inverter selama 6 jam 20 menit rata-rata dapat menghasilkan 0,073 KWh/ Day.

4.2.3 Perhitungan Daya PLN Sebelum dan Setelah Tersinkronisasi Grid Inverter

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui Daya yang dibutuhkan beban yang bersumber dari PLN dan PLTS. Dimana pada saat sebelum tersinkronisasi grid inverter atau setelah tersinkronisasi grid inverter. Perhitungan dilakukan sesuai dengan data hasil pengukuran daya output PLN dan PLTS sebelum dan setelah tersinkronisasi grid inverter yang ditunjukkan dalam tabel.

— Hasil Perhitungan Daya PLN sebelum tersinkronisasi grid inverter :

$$P \text{ (PLN)} = 56,7 \text{ W}$$

$$P_{total\ PLN} = 56,7\ W \times 6,20\ jam$$

$$P_{total\ PLN} = 351,54\ Wh/Day$$

$$P_{total\ PLN} = 0,351\ KWh/Day$$

—Hasil Perhitungan Daya PLN setelah tersinkronisasi grid inverter :

$$P\ (rata - rata) = \frac{Jumlah\ Daya}{Jumlah\ Data} \quad 2.3$$

$$P\ (rata - rata) = \frac{877\ W}{20}$$

$$P\ (rata - rata) = 43,85\ Wh$$

$$P\ Total = P\ (rata - rata) \times lama\ penyinaran \quad 2.4$$

$$P\ Total = 43,85\ Wh \times 6,20\ jam$$

$$P\ Total = 271,87\ Wh/Day$$

$$P\ Total = 0,272\ KWh/Day$$

Hasil perhitungan rata-rata harian pengukuran output inverter selama 6 jam 20 menit rata-rata dapat menghasilkan 0,073 KWh/ Day.

—Hasil Penghematan Daya PLN setelah tersinkronisasi grid inverter dalam beberapa detik :

$$P(hemat) = (P\ Sebelum\ sinkron - P\ tersinkron) \quad 2.5$$

$$P(hemat) = 0,351\ KWh - 0,272\ KWh$$

$$P(hemat) = 0,079\ KWh$$

Dari perhitungan dapat disimpulkan dalam 6.20 jam penyinaran dapat menghemat tagihan sebesar 0,079 KWh selama sehari menggunakan panel surya 50 WP.

— Data output daya tersinkronisasi grid inverter paling rendah sebesar 23 W

$$P(\text{hemat}) = (P \text{ Sebelum sinkron} - P \text{ sinkron}) \quad 2.5$$

$$P(\text{hemat}) = 56,7 \text{ W} - 23 \text{ W}$$

$$P(\text{hemat}) = 33,7 \text{ W}$$

Jadi listrik rumah dengan beban 56.7 W jika tersinkronisasi dengan grid inverter dapat melakukan penghematan maksimal 33,7 W.

— Data output daya tersinkronisasi grid inverter paling tinggi pada pukul sebesar 57,5 W

$$P(\text{hemat}) = (P \text{ Sebelum sinkron} - P \text{ sinkron}) \quad 2.5$$

$$P(\text{hemat}) = 56,7 \text{ W} - 57,5 \text{ W}$$

$$P(\text{hemat}) = -1,2 \text{ W}$$

Sebaliknya jika listrik rumah dengan beban 56,7 W jika tersinkronisasi dengan grid inverter dan penghematan minimum dan hanya mampu menghemat listrik - 1,2 W artinya tidak mampu menghemat. Pada saat ini matahari sedang mendung dan sedikit menghasilkan listrik.

4.3 Hasil Analisis

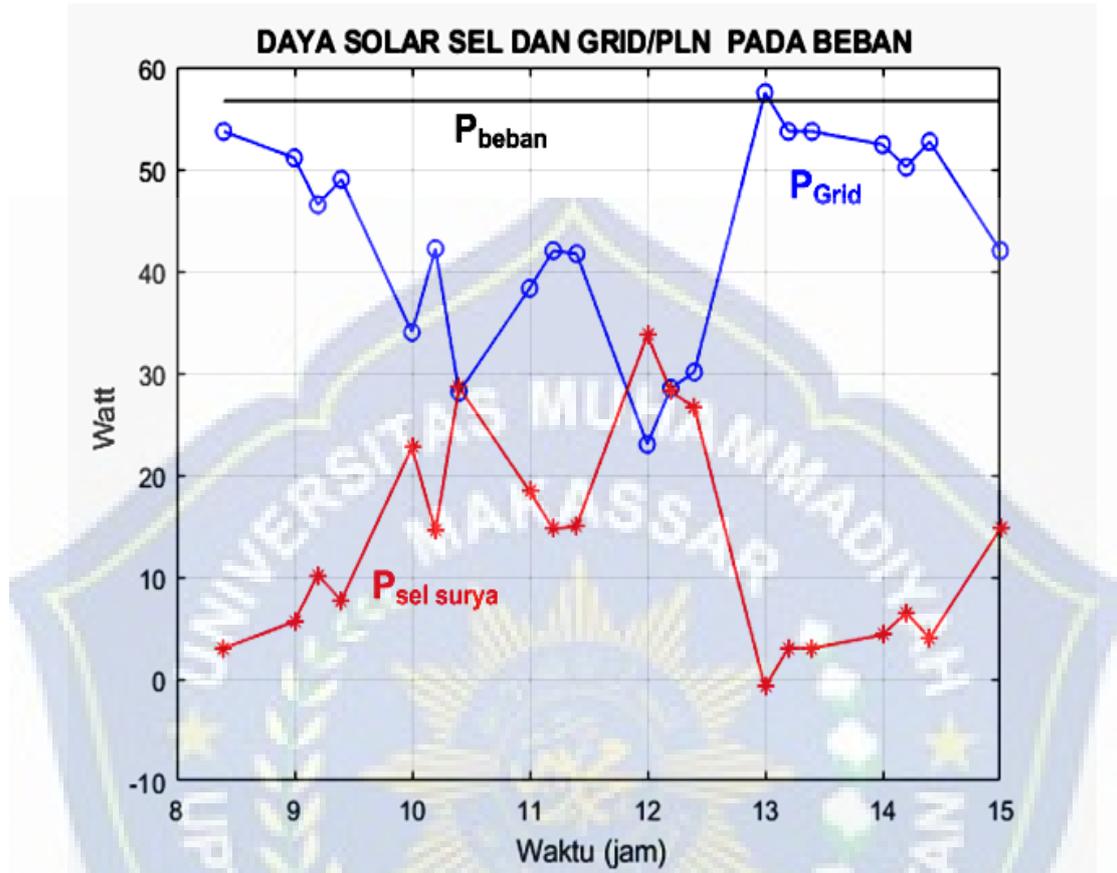
Analisis kemampuan pembangkit listrik tenaga surya dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan secara manual sistem plts on grid. Perbandingan hasil perhitungan secara manual ditampilkan dalam tabel berikut.

Tabel 4.6 Total Keluaran daya selama penyinaran

Total Daya Input Inverter	Total Daya Output Inverter	Total Daya PLN	
		Sebelum sinkron	Setelah sinkron
0,106 KWh/ Day	0,073 KWh/Day	0,351 KWh/Day	0,272 KWh/ Day

Dari tabel 4.6 terlihat bahwa *input inverter* lebih besar 0.106 KWh/Day daripada *output inverter* 0,073 Kwh/Day. Dan besar daya PLN sebelum tersinkronisasi *grid inverter* 0,351 KWh/Day kemudian menurun atau menghemat sebesar 0.272 KWh/Day Jadi selisih penghematan selama sehari penyinaran mencapai 0,079 KWh/Day.

4.3.1 Hasil Analisis Pembagian Beban antara Modul Surya dengan Grid/PLN



Gambar 4.2 Pembagian beban antara modul surya dengan Grid untuk beban 56,7 W

Dari diagram pada gambar 4.2 selama penyinaran Daya beban 56,7 W merupakan beban rumah atau kipas yang nilainya konstan. Terlihat bahwasanya antara daya output panel surya sangat mempengaruhi besar kecilnya daya *output grid/PLN*. Semakin besar daya output Panel surya maka semakin kecil daya *output PLN* untuk membagi daya terhadap beban rumah. Ini membuktikan bahwa sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya *on grid* bekerja menghemat pengeluaran PLN.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan mengenai kemampuan pembangkit listrik tenaga surya sistem on grid dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Total daya yang dapat dihasilkan panel surya sistem on grid menggunakan kapasitas panel 50 wp dengan perhitungan manual sebesar 0,106 kWh dalam sehari.
2. Total daya output inverter on grid dengan hasil perhitungan manual sebesar 0.073 kWh dalam sehari
3. Total daya output PLN sebelum tersinkronisasi grid inverter selama sehari sebesar 0,351 kWh sedangkan total daya output PLN setelah tersinkronisasi *grid inverter* selama sehari sebesar 0,272 kWh. Selisih total daya output PLN sebelum dan setelah tersinkronisasi merupakan nilai hemat daya sebesar 0.079 kWh
4. Kapasitas panel surya menggunakan *grid inverter* dalam hal ini dapat menghemat pengeluaran listrik dengan cara membagi beban bersama dengan PLN.

5.2 Saran

Saran dalam penelitian mengenai kemampuan pembangkit listrik tenaga surya antara lain :

1. Dalam pengambilan data pengukuran sebaiknya menggunakan alat ukur *on time* yang dapat langsung mencatat semua hasil pengukuran setiap detik sehingga pengukuran lebih akurat.
2. Untuk mengetahui kemampuan sistem *plts on grid* lebih akurat lagi, sample pengukuran sebaiknya menggunakan panel berkapasitas besar dan dilakukan dalam jangka waktu yang lama, minimal selama sebulan bahkan satu tahun untuk dapat mengetahui perbandingan pada saat musim kemarau dan musim penghujan.
3. Untuk lebih mengetahui dan mendalami kemampuan sistem *plts on grid* sebaiknya menggunakan *Kwh Exim* untuk mengetahui berapa dan kapan sistem *on grid* dapat melakukan ekspor energi ke PLN.
4. Dengan adanya teknologi pembangkit listrik tenaga surya diharapkan para peneliti dapat meningkatkan teknologi panel surya atau memanfaatkan energi matahari. Menjadikan ladang usaha baru, membuat pembangkit mandiri yang dapat dijual energinya masyarakat yang tidak mendapat jaringan PLN di pelosok – pelosok desa.

DAFTAR PUSTAKA

Bobby H. 2018. Optimasi Pembangkit Hybrid PLN – Solar Cell Pada Aplikasi Home Industry. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Islam Indonesia :Yogyakarta.

Erfan A.P. 2019. Analisis Kemampuan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem 240 Volt DC di Pantai Baru Yogyakarta. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Fakultas Teknologi Industri. Institut Sains & Teknologi AKPRIND :Yogyakarta.

Syofiyah A.D. 2021. Pembangkit Listrik Tenaga Surya On Grid Berbasis IoT Thinkspeak (Analisa Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya On Grid Berbasis IoT Thinkspeak). Skripsi. Tidak Diterbitkan. Fakultas Teknik Elektro. Politeknik Negeri Jakarta.

Bambang Hari Purwoto dkk : *“Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Energi Alternatif”*. Jurnal : Emitor : Jurnal Teknik Elektro vol. 18 no. 1 ISSN 1411-8890

Dedisukma dkk : 2015.”*Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Diesel Generator dan Photovoltaic Array Menggunakan Perangkat Lunak Homer”*. Jurnal : Ecotipe vol.2 no.2 ISSN 2335-5068

Hutagalung, S. N., & Panjaitan, M. (2017). Prorotype Rangkaian Inverter DC ke AC 900 Watt. 64-66.

Janaloka. (2015, November 11). *Jenis Solar Inverter dan Aplikasinya Pada Sistem Listrik Surya*. Retrieved from <https://janaloka.com/jenis-solar-inverter-dan-aplikasinya/>

Meliala Selamat : 2020 *“Implementasi On Grid Inverter Pada Instalasi Rumah Tangga Untuk Masyarakat Pedesaan Dalam Rangka Antisipasi Krisis Energi*

Listrik". Jurnal Litek : Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika vol. 17, no. 2, pp. 47-56 pISSN: 1693-8097; eISSN: 2549-8762

Saodah Siti & Utami Sri, : 2019 "*Perancangan Sistem Grid Tie Inverter Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya*". Jurnal Elkomika : Jurnal Penelitian Politeknik Negeri Bandung vol. 7, no. 2 Hal 339-350 ISSN (p) : 2338-8323 ISSN (e) : 2459-9638

Belly. Alto, Dkk, 2010, Daya Aktif, Reakti,. dan Nyata, Makalah Jurusan Teknik Elektro, Universitas Indonesia. h: 1.

Jumadi, Juara Mangapul Tambunan, 2015, Analisis Pengaruh Jenis Beban Listrik Terhadap Kinerja Pemutus Daya Listrik Di Gedung Cyber Jakarta, Jurnal Energi & Kelistrikan, No. 2, Vol: 7, h: 108.

Muhammad Bobby Fadillah, Dian Yayan Sukma, Nurhalim, 2015, Analisis Prakiraan Kebutuhan Energi Listrik Tahun 2015-2024 Wilayah PLN Kota Pekanbaru dengan Metode Gabungan , No. 2, Vol: 2, h: 2.

LAMPIRAN

Lampiran Pengukuran

1. Pengukuran daya keluaran PLTS, *Inverter on grid*, dan daya keluaran PLN sebelum dan sesudah tersinkronisasi PLTS sistem *On Grid*



2. Pengukuran Intensitas Cahaya Matahari Menggunakan *Lux Meter*

