

ANALISIS PLTS ON GRID

Ryan Rezky Ramadhana¹, Muh. Iqbal M.², Abdul Hafid³, Adriani⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar

e-mail : ryanrezky.rmdh@gmail.com¹ , muh.iqbalmuis17@gmail.com² , abdulhafid@unismuh.ac.id³ ,
adriani@unismuh.ac.id⁴

Abstrac - 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

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 plts on grid sebaiknya menggunakan Kwh Exim yang dapat mengetahui ekspor energi ke PLN.

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

1. PENDAHULUAN

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.

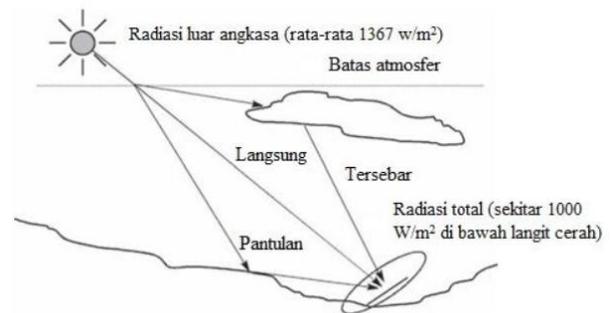
Permasalahan hemat daya listrik merupakan hal yang perlu diangkat kembali dalam penelitian karena energi harus berkelanjutan terhadap kelangsungan kehidupan manusia dimuka bumi. Pemakaian renewable energy bersumber dari cahaya matahari tidak hanya diperuntukkan untuk kehidupan rumah mewah saja, tetapi 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 di lakukan 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.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Matahari

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 1. Penyebaran Jenis Radiasi Matahari

Dalam gambar 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. Alat ukur pyranometer

Dalam gambar 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

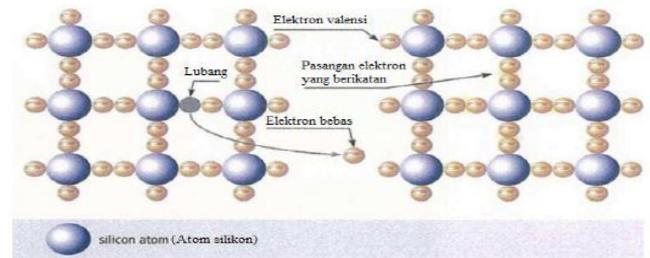
Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah suatu pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi energi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (Direct Current), yang dapat 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.

2.3 Prinsip Kerja Sel Surya

Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip p-n junction, yaitu junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari 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.

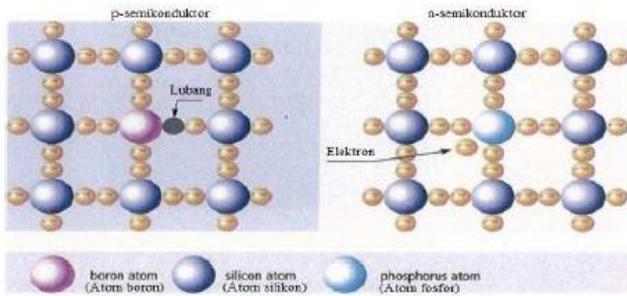
Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon di doping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n silikon di doping oleh atom fosfor. Ilustrasi n junction ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron dan hole bias diekstrak oleh material kontak 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 3. Kondisi struktur kristal silikon dan konduktivitas intrinsik elektron

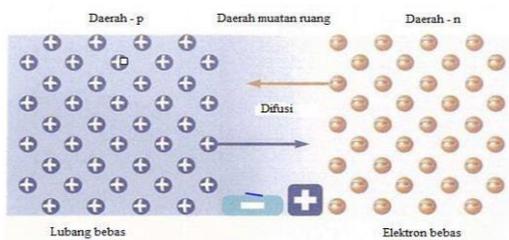
Konduktivitas intrinsik tidak dapat digunakan untuk menghasilkan listrik. Agar material silikon dapat digunakan untuk menghasilkan energi, pengotoran (doping) sengaja dilakukan ke dalam kisi Kristal. Ini dikenal sebagai atom doping. Atom-atom ini memiliki satu elektron lebih (fosfor) atau satu elektron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



Gambar 4. Kondisi ekstrinsik di dalam silikon dengan doping p dan n

Dalam gambar 4. Memerlihatkan 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 mempertimbangan 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.



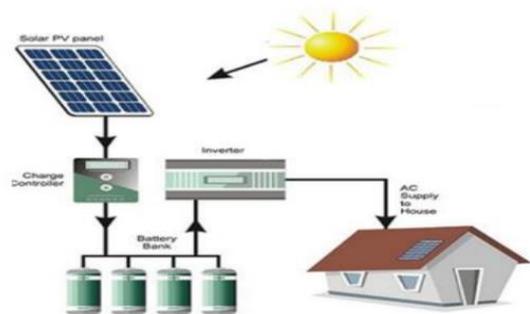
Gambar 5. Daerah ruang muatan sambungan p-n

Pada gambar 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.

2.4 Konfigurasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.4.1 Sistem PLTS Off-Grid

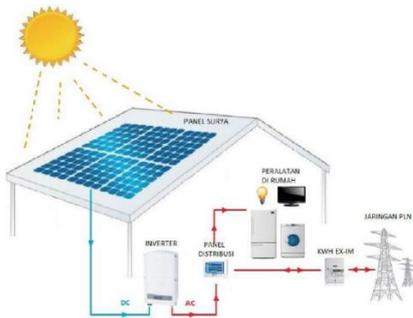
Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (Off-Grid) merupakan system pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari tanpa terhubung dengan jaringan PLN atau dengan kata lain satu satunya sumber pembangkitnya yaitu hanya menggunakan radiasi matahari dengan bantuan panel surya atau photovoltaic. 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 6. Skema system PLTS Off-Grid

2.4.2 Sistem PLTS On-Grid

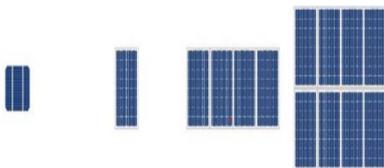
Sistem PLTS terinterkoneksi (On Grid) atau yang disebut dengan Grid Connected PV Sistem adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari untuk menghasilkan listrik. Dan sesuai dengan namanya, maka sistem ini akan dihubungkan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi matahari melalui modul surya atau photovoltaic modul yang menghasilkan listrik semaksimal mungkin.



Gambar 7. Skema System PLTS On-Grid

2.5 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.5.1 Panel Surya



Gambar 8. Panel Surya

Energi listrik dapat dibangkitkan dengan mengubah sinar matahari melalui sebuah proses yang dinamakan 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.

2.5.2 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 magnitudenya dan frekuensi yang diinginkan.



Gambar 9. Inverter

Perhitungan Inverter

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

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

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), naik tipe PWM ataupun MPPT, Sebuah alat berfungsi untuk mengatur charge dan discharge sebuah sistem listrik surya.

- 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).

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 :

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2)$$

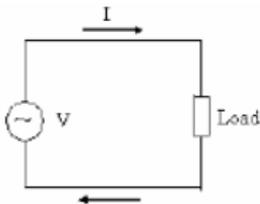
$$P_{rata-rata} = \frac{\text{Jumlah Daya}}{\text{Jumlah Data}} \dots\dots\dots(3)$$

$$P_{TOTAL} = P(\text{rata - rata}) \times \text{Lamanya penyinaran} \dots\dots(4)$$

$$P(\text{hemat}) = (P \text{ sebelum sinkron} - P_{rata - rata}) \dots(5)$$

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 dan setelah sinkron (Watt)



Gambar 10. 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.

$$P = V \cdot I \cdot \cos\phi \dots\dots\dots(6)$$

$$P = 3 \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \cos\phi \dots\dots\dots(7)$$

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.

$$Q = V \cdot I \cdot \sin\phi \dots\dots\dots(8)$$

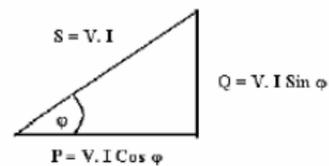
$$Q = 3 \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \sin\phi \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan:

- Q : Daya reaktif (VAR)
- V : Tegangan (V)
- I : Arus Listrik(A)
- Sin φ : 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 11. Penjumlahan trigonometri daya aktif, reaktif, dan semu

$$S = V \cdot I \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan :

- S : Daya Semu (VA)
- V : Tegangan (V)
- I : Arus Listrik (A)

3. METODE PENELITIAN

3.1 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

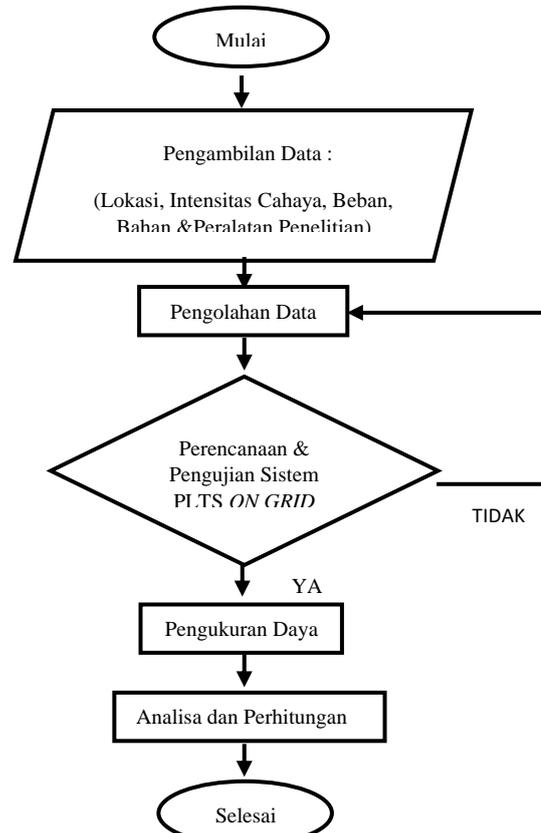
Data yang didapat sebagai penunjang dalam penyusunan laporan penelitian ini yang bersumber dari beberapa penelitian, jurnal, dan referensi lainnya. Data lain berupa spesifikasi panel surya dan inverter on grid.

3.2 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.

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.

3.3 Diagram Alur Penelitian



Gambar 12. Flowchart Penelitian

Gambar 12. 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

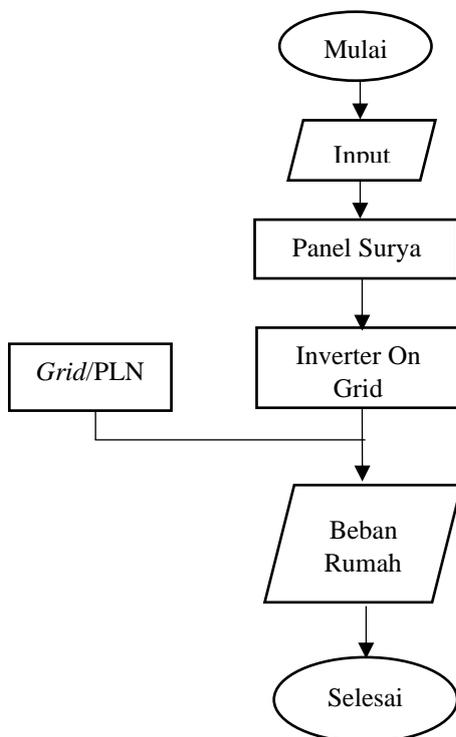
Setelah Pengujian Sistem berhasil Tahapan selanjutnya yaitu melakukan pengukuran Daya terhadap sistem PLTS On Grid.

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 11.



Gambar 13. Diagram sistem PLTS On Grid

3.5 Analisa 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 selama 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.

4. 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.

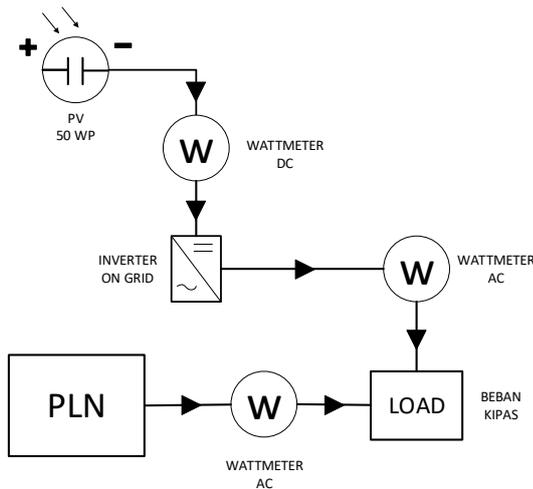
iluminasi pada saat pengukuran. Nilai pengukuran luxmeter akan dikonversi menjadi irradiasi (W/m^2) sebagai berikut.

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

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

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.



Gambar 14. 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

4.1.1 Data pengukuran Intensitas Matahari

Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur luxmeter untuk mengetahui intensitas cahaya matahari atau

DATA PENGUKURAN INTENSITAS MATAHARI

Waktu (Jam)	Iluminasi (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

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

TABEL 2
DATA PENGUKURAN DAYA 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

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

TABEL 3
DATA PENGUKURAN DAYA 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

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

TABEL 4
DATA PENGUKURAN DAYA 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

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

TABEL 5
DATA PENGUKURAN DAYA 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

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 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 :

$$P(\text{rata - rata}) = \frac{\text{jumlah } P_{dc}(\text{jam } 8.40 - 15.00)}{\text{jumlah data } (\text{jam } 8.40 - 15.00)}$$

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

$$P(\text{rata - rata}) = 17.005 \text{ Wh}$$

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

$$P \text{ Total} = 17.005 \times 6,20 \text{ jam}$$

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

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

4.2.2 Perhitungan Daya Output Inverter On Grid

Sesuai dengan data hasil pengukuran daya output inverter yang ditunjukkan dalam tabel 5 Perhitungan daya output inverter dilakukan untuk mengetahui besar daya yang dikeluarkan inverter on grid terhadap beban rumah yang disinkronisasikan ke PLN.

$$P(\text{rata - rata}) = \frac{\text{jumlah daya}}{\text{jumlah data}}$$

$$P(\text{rata - rata}) = \frac{235.3 \text{ W}}{20}$$

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

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

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

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

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

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 sinkron

$$P(\text{PLN}) = 56,76 \text{ W}$$

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

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

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

- Hasil Perhitungan daya PLN setelah sinkron

$$P(\text{rata - rata}) = \frac{\text{jumlah daya}}{\text{jumlah data}}$$

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

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

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

$$P \text{ Total} = 271,87 \text{ Wh/Day}$$

$$P \text{ Total} = 0,272 \text{ KWh/Day}$$

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

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

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

$$P(\text{hemat}) = 0,079 \text{ KWh}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

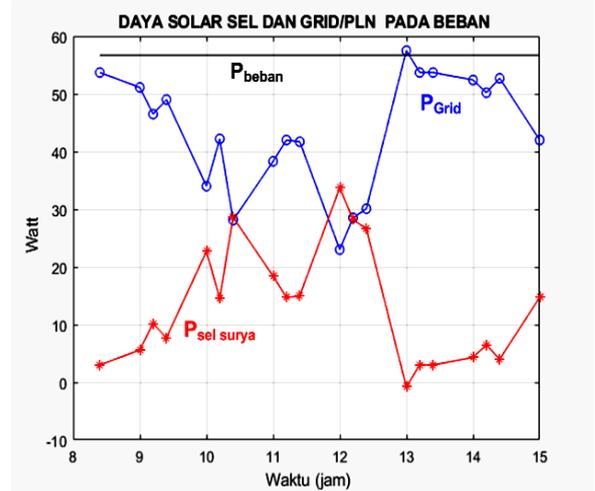
Analisis kemampuan pembangkit listrik tenaga surya dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan secara manual sistem plts on grid. Perbandingan hasil perhitungan secara manual ditampilkan dalam tabel berikut.

TABEL 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 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 15. Pembagian beban antara modul surya dengan Grid untuk beban 56,7 W

Dari diagram pada gambar 15. 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.

5. KESIMPULAN

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

- 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
- 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 :

- Dalam pengambilan data pengukuran sebaiknya menggunakan alat ukur on time yang dapat langsung mencatat semua hasil pengukuran setiap detik sehingga pengukuran lebih akurat.
- 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.
- 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.
- 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
- Dedikusma 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.