

PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) SISTEM *ON-GRID* DI KANTOR BADAN PENGELOLA PERBATASAN DAERAH KALIMANTAN BARAT MENGGUNAKAN PROGRAM PVSYST

Aldo¹, Ayong Hiendro², Kho Hie Khwee³
aldojohn098@gmail.com¹, ayong.hiendro@ee.untan.ac.id², khohiekhwee@untan.ac.id³
Universitas Tanjungpura

ABSTRAK

Pemerintah Indonesia menargetkan bauran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 sebagai bagian dari strategi nasional transisi energi dan pengurangan emisi karbon. Permasalahan utama yang diangkat adalah bagaimana menentukan kapasitas optimal dan konfigurasi sistem PLTS. Penelitian ini dilakukan di Kantor Badan Pengelola Perbatasan Daerah (BPPD) Kalimantan Barat dengan tujuan merancang sistem PLTS on-grid yang mampu menyuplai sebagian kebutuhan listrik gedung secara efisien mencakup penentuan jumlah panel surya, inverter, serta string array, melalui simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst 7.4. tanpa mengeksport energi ke jaringan PLN dengan sistem (zero export) Sistem dirancang dengan kapasitas 16,2 kWp, terdiri dari 27 panel surya 600 Wp yang dikonfigurasi dalam 3 string paralel dan satu inverter 15 kW. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan 23.110 kWh energi listrik per tahun dan memenuhi 20,69% dari kebutuhan energi gedung sebesar 111.690 kWh per tahun. Sistem ini tidak menghasilkan surplus energi (0%), sehingga mendukung konsep zero export. Selain itu, nilai Performance Ratio sebesar 84,37%.

Kata Kunci: Plts, On-Grid, Pvsyst, Zero Export, Energi Surya, Bppd Kalimantan Barat.

ABSTRACT

The Government of Indonesia has set a target of achieving a 23% renewable energy mix by 2025 as part of its national strategy for energy transition and carbon emission reduction. The main issue addressed in this study is how to determine the optimal capacity and configuration of a solar power generation system. This research was conducted at the Office of the Border Management Agency (BPPD) of West Kalimantan with the aim of designing an efficient on-grid solar photovoltaic (PV) system to partially supply the building's electricity needs. The system design includes determining the number of solar panels, inverter capacity, and string configuration through simulation using PVsyst 7.4 software, and is based on a zero-export approach—meaning no energy is exported to the PLN grid. The designed system has a capacity of 16.2 kWp, consisting of 27 solar panels rated at 600 Wp each, configured into 3 parallel strings, and one 15 kW inverter. Simulation results show that the system can generate 23,110 kWh of electricity annually, covering 20.69% of the building's annual energy demand of 111,690 kWh. The system produces no surplus energy (0%), supporting the zero-export concept, and achieves a Performance Ratio of 84,37%

Keywords: Solar Pv, On-Grid, Zero Export, Pvsyst, Renewable Energy, Bppd West Kalimantan.

PENDAHULUAN

Energi terdahulu yang ada di muka bumi didominasi oleh pembangkit listrik konvensional yang bersumber dari energi fosil (batu bara, lignit, gas dan minyak) atau nuklir. Hal ini terlihat dari proyek-proyek skala besar dengan perencanaan yang substansial, namun belum memenuhi standar keamanan seperti pembangkit listrik tenaga nuklir. pembangunan pembangkit listrik dan proyek-proyek berskala kecil bertransisi dengan memanfaatkan energi terbarukan. Upaya ini dilakukan sebagai respon cepat terhadap permintaan energi yang terus meningkat di banyak negara. Energi terbarukan hadir sebagai sistem multi-manfaat yang menggabungkan kebutuhan ekologis seperti mitigasi perubahan

iklim dengan visi masyarakat dan peluang ekonomi [1].

Indonesia adalah negara kepulauan yang terletak di garis khatulistiwa. Energi matahari yang luar biasa besar dan sepanjang tahun merupakan potensi sumber energi baru terbarukan yang sangat perlu untuk dikembangkan sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil sebagai sumber energi primer. Peran energi matahari sebagai salah satu sumber energi baru terbarukan masih bisa dimaksimalkan dalam meningkatkan rasio elektrifikasi. Sebagai energi yang ramah lingkungan, untuk mengurangi efek gas rumah kaca, sekaligus mendukung program nasional yang dicanangkan oleh pemerintah mengenai penyediaan energi dari sumber energi baru terbarukan salah satunya dari energi matahari [2].

Kota Pontianak Provinsi Kalimantan Barat adalah salah satu daerah di Indonesia yang termasuk memiliki intensitas radiasi yang besar yaitu 4.699 kWh/m²/hari. Besarnya potensi radiasi matahari tersebut bias di manfaatkan untuk pemasangan PLTS. Salah satu tempat yang bisa digunakan adalah Kantor Badan Pengelola Perbatasan Daerah Provinsi Kalimantan Barat, yang mana sistem yang digunakan dalam perencanaan PLTS adalah On Grid yang mana perencanaan pemasangan PLTS nantinya akan terhubung dengan jaringan PLN, yang mana perencanaan pemasangan ini nantinya menggunakan program PVSyst untuk melakukan simulasi dan menentukan distribusi spesifikasi komponen yang diperlukan untuk perencanaan PLTS pada Kantor Badan Pengelola Perbatasan Daerah di Kalimantan Barat [3].

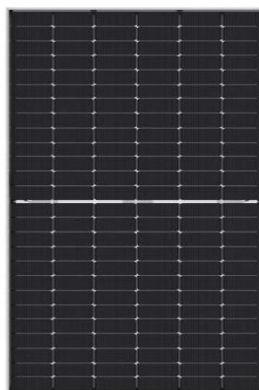
Kantor Badan Pengelola Perbatasan Daerah Provinsi Kalimantan Barat sebagai institusi publik memiliki potensi besar untuk memanfaatkan energi surya melalui pemasangan PLTS. Penggunaan energi surya di gedung perkantoran ini tidak hanya akan membantu mengurangi ketergantungan pada energi fosil, tetapi juga memberikan contoh nyata dalam upaya transisi energi yang ramah lingkungan. Dengan menggunakan perangkat lunak perencanaan PVSyst, studi ini bertujuan untuk merancang sistem PLTS yang optimal di kantor tersebut, guna mendukung pencapaian target bauran energi terbarukan nasional sebesar 23% pada tahun 2025, sebagaimana diamanatkan dalam Kebijakan Energi Nasional.

METODE

A. Bahan Penelitian

Bahan yang diambil dari penelitian kali ini adalah data primer yaitu beban Gedung Badan Pengelola Perbatasan Daerah Kalimantan Barat, dan Bahan-bahan yang digunakan dalam perencanaan ini berupa beberapa *data sheet PVSyst* antara lain :

1. Panel Surya



Gambar 2 Panel Surya

Dimana spesifikasi solar modul dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1 Spesifikasi Panel Surya

| Electrical Characteristics STC : AM1.5 1000W/m2 25°C | |
|--|--------------------|
| Module Type | JKM-600N-78HL4-BDV |
| Testing Condition | STC |
| Pnom | 600 |
| Open Circuit Voltage (Voc/V) | 55,03 |
| Short Circuit Current (Isc/A) | 13,87 |
| Voltage at Maximum Power (Vmp/V) | 45,25 |
| Current at Maximum Power (Imp/A) | 13,26 |
| Power Temp Coef. | -0.30 %/°C |
| Power Output Tolerance | 3% |

2. Inverter



Gambar 1 Inverter

Dimana spesifikasi inverter dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2 Tabel Spesifikasi Inverter

| | |
|----------------------|-----------------------|
| Inverter Type | SUN2000-15KTL-M5-400V |
| Min MPP Voltage | 200 |
| Max MPP Voltage | 1000 |
| Rate Output Capacity | 15 kW |
| Efficiency | 98,48% |
| Rated Output Current | 28,9 A |
| Max. Output Current | 31,9 A |
| Max Input PV Current | 60 A |
| Output Voltage | 220/380 V |

B. Alat Yang Dipergunakan

Untuk penentuan koordinat titik lokasi Gedung objek penelitian ditentukan menggunakan Google Maps yang dicari menggunakan Smartphone. Adapun lainnya yg digunakan ialah alat tulis, laptop, flash disk, dan printer. Sedangkan untuk perangkat lunak yang digunakan merupakan aplikasi perencanaan dan simulasi PLTS menggunakan program aplikasi PVsyst 7.4.

C. Perhitungan

a) **Penentuan beban PLTS**

Penentuan kapasitas modul surya dimulai dengan menetapkan kebutuhan energi harian yang diperlukan oleh gedung dan dapat dilanjutkan dengan persamaan berikut.

$$Pac_{total} = \frac{E_{harian}}{PSH} \tag{2.1}$$

Dimana Pac adalah daya yang akan dibangkitkan oleh PLTS, E_{harian} adalah total energi harian yang ada di gedung, dan PSH (*Peak Sun Hours*) Wh/m² energi rata-rata harian iradiasi matahari di lokasi gedung, yang mana menggunakan data iradiasi dari program PVsyst.

Untuk mengantisipasi terjadinya surplus energi pada PLTS maka pada perencanaan yang digunakan hanya 30% dari total kebutuhan daya.dari beban gedung, yang mana sisanya akan di *supply* dari PLN yang dapat dihitung dengan persamaan.

$$Pac = 30\% \times Pac_{total} \tag{2.2}$$

Dimana P_{ac} adalah daya PLTS

b) **Menghitung kapasitas daya PLTS**

Untuk menentukan kapasitas PLTS dapat ditentukan dengan pembagian total beban terbesar dibagi dengan efisiensi panel surya 0,8 – 0,85 yang akan digunakan yang mana akan dilakukan dengan persamaan

$$P_{dc} = \frac{P_{ac}}{\eta} \quad (2.3)$$

Dimana P_{dc} adalah kapasitas yang akan dibangkitkan PLTS, dan η adalah efisiensi panel surya.

c) **Penentuan Jumlah Modul Panel Surya**

Penentuan jumlah dan kapasitas modul surya merupakan tahapan penting dalam perencanaan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Tujuannya adalah agar daya yang dihasilkan dari modul surya dapat mencukupi kebutuhan energi beban harian bangunan secara optimal dan efisien yang dapat dilakukan dengan persamaan

$$P_{v_{total}} = \frac{P_{dc}}{P_{nom}} \quad (2.4)$$

$P_{v_{total}}$ adalah total panel surya yang dapat dipasang, dan P_{nom} adalah daya per panel surya

d) **Penentuan Inverter**

Inverter bekerja dalam kondisi normal, rata-rata maupun daya puncak, maka dari itu perlunya *Safety Factor* untuk pengamanan jika terjadi beban puncak. Dalam perencanaan ini, untuk menentukan jumlah inverter yang akan digunakan pada sistem PLTS ini dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Jumlah inverter} = \frac{\text{Kebutuhan Beban}}{\text{Kapasitas Inverter}} \quad (2.5)$$

e) **Penentuan kapasitas MCCB**

Untuk melindungi sistem PLTS dari arus lebih dan gangguan hubung singkat, diperlukan pemilihan komponen proteksi yang tepat, salah satunya adalah MCCB (*Molded Case Circuit Breaker*). Pemilihan MCCB dilakukan berdasarkan arus hubung singkat (I_{sc}) dari panel surya dan konfigurasi jumlah string yang digunakan dengan persamaan.

$$I_{total} = I_{sc} \times \text{String}_{total} \quad (2.6)$$

Untuk memberikan margin pengamanan terhadap lonjakan arus dan kondisi operasional, digunakan faktor keamanan sebesar 125%. Maka, arus nominal MCCB yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan.

$$I_{MCCB} = 1,25 \times I_{total} \quad (2.7)$$

f) **Konfigurasi Panel Surya**

Konfigurasi Panel Surya untuk mengitung jumlah modul yang harus dirangkais secara seri atau paralel dapat menggunakan persamaan berikut [16]:

a. Minimal Rangkaian Seri

$$\text{Minimal panel yang dirangkai secara seri per string} = \frac{V_{min \text{ Inverter}}}{V_{oc \text{ panel surya}}} \quad (2.8)$$

b. Maksimal Rangkaian Seri

$$\text{Maksimal panel yang dirangkai secara seri per string} = \frac{V_{max \text{ inverter}}}{V_{mp \text{ panel surya}}} \quad (2.9)$$

c. Maksimal Rangkaian Paralel

$$\text{Maksimal panel surya dirangkai paralel per string} = \frac{I_{max \text{ input inverter}}}{I_{mp}} \quad (2.10)$$

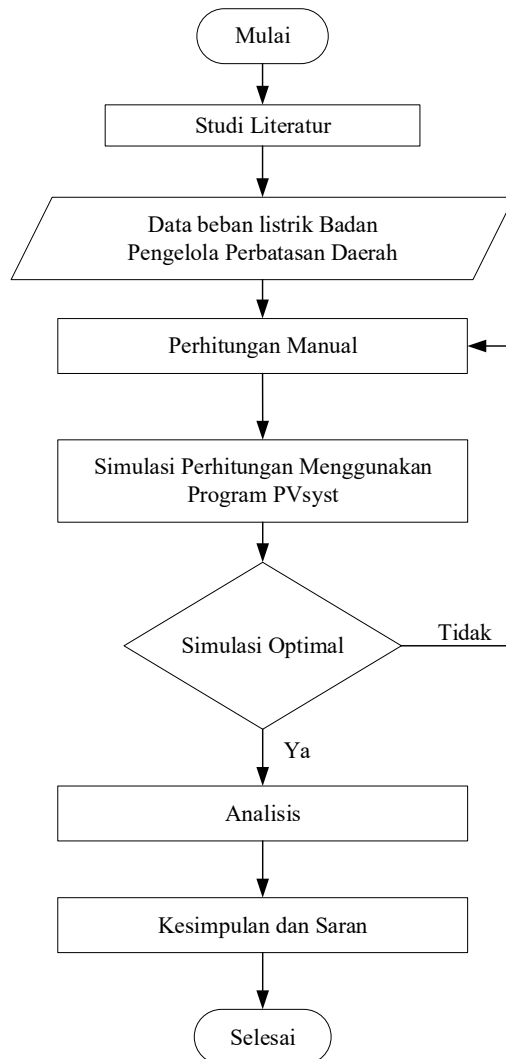
Dimana V_{oc} adalah Tegangan *Open Circuit (Volt)* Panel Surya, V_{mp} adalah Tegangan maksimal panel surya (*Volt*), I_{mp} adalah Arus maksimal panel surya (*Ampere*), $I_{max \text{ input inverter}}$ adalah Arus maksimum masukan inverter (*Ampere*), $V_{max \text{ inverter}}$ tegangan

maksimum inverter (*Volt*), dan V_{min} inverter dengan satuan (*Volt*)

Tujuan dari kombinasi modul PV baik secara seri maupun paralel, untuk mendapatkan besaran tegangan, arus dan daya yang sesuai dengan kebutuhan. Adapun Kombinasi ini dilakukan dengan ketentuan yang telah ditetapkan, sebagai berikut;

1. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan dari satu modul PV, diperlukan penghubungan dua atau lebih modul PV secara seri
2. Agar arus keluaran menjadi lebih besar daripada arus dari satu modul PV, dua atau lebih modul PV harus dihubungkan secara paralel
3. Untuk menghasilkan daya keluaran yang lebih besar dan stabil, modul PV perlu dihubungkan dengan kombinasi seri dan paralel.

D. Flowchart



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perhitungan

a) Penentuan PLTS di Kantor BPPD Provinsi Kalbar

Perhitungan jumlah panel surya dalam penelitian ini direncanakan akan dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas dan jumlah inverter yang digunakan. Selain itu, spesifikasi dari masing-masing komponen, seperti panel surya dan inverter, juga akan diperhitungkan untuk memperoleh performa sistem yang optimal. Namun, pendekatan ini

masih bersifat sementara dan akan disesuaikan seiring dengan perkembangan studi dan ketersediaan data teknis yang lebih rinci.

b) Data Beban Kantor Badan Pengelola Perbatasan Daerah Kalbar

Tabel 1 Tabel beban kelistrikan BPPD Lantai 1

| LANTAI 1 | | | | | | | |
|-------------|------------------------------|--------|------------------------------|---------|--------------------------------|-------------|--------|
| NO | Nama Peralatan Listrik | Jumlah | Posisi | Daya(W) | Lama Waktu Pemakaian | WAKTU | Energi |
| | | | | Watt | Pemakaian (Jam) | (WIB) | (Wh) |
| 1 | Lampu | 6 | Ruang Staff 1 | 18 | 13 | 18.00-07.00 | 1404 |
| | | 2 | Ruang Staff 2 | 18 | 13 | 18.00-07.00 | 468 |
| | | 2 | Ruang Pengurus Barang | 18 | 13 | 18.00-07.00 | 468 |
| | | 4 | Ruang TU | 18 | 13 | 18.00-07.00 | 936 |
| | | 2 | Ruang Transit Kepala Dinas | 18 | 13 | 18.00-07.00 | 468 |
| | | 8 | Ruang Perpustakaan dan Arsip | 18 | 13 | 18.00-07.00 | 1872 |
| | | 2 | Dapur | 18 | 2 | 11.00-13.00 | 72 |
| | | 20 | Indoor | 18 | 13 | 18.00-07.00 | 4680 |
| | | 26 | Aula | 18 | 4 | 08.00-12.00 | 1872 |
| | | 2 | Komputer | 3 | Ruang Staff 1 | 380 | 9 |
| 3 | Ruang Staff 2 | | | 380 | 9 | 08.00-17.00 | 10260 |
| 1 | Ruang TU | | | 380 | 9 | 08.00-17.00 | 3420 |
| 1 | Ruang Perpustakaan dan Arsip | | | 380 | 9 | 08.00-17.00 | 3420 |
| 1 | Ruang Staff 1 | | | 760 | 6 | 10.00-16.00 | 4560 |
| 3 | Air Conditioner | 1 | Ruang Staff 2 | 760 | 6 | 10.00-16.00 | 4560 |
| | | 1 | Ruang Pengurus Barang | 760 | 6 | 10.00-16.00 | 4560 |
| | | 1 | Ruang TU | 760 | 6 | 10.00-16.00 | 4560 |
| | | 1 | Ruang Transit Kepala Dinas | 760 | 6 | 10.00-16.00 | 4560 |
| | | 2 | Ruang Perpustakaan dan Arsip | 760 | 6 | 10.00-16.00 | 9120 |
| | | 1 | Aula | 760 | 4 | 08.00-12.00 | 3040 |
| | | 4 | Ruang Staff 1 | 150 | 9 | 08.00-17.00 | 5400 |
| | | 4 | Ruang Staff 2 | 150 | 9 | 08.00-17.00 | 5400 |
| 4 | Printer | 3 | Ruang Pengurus Barang | 150 | 9 | 08.00-17.00 | 4050 |
| | | 1 | Ruang TU | 150 | 9 | 08.00-17.00 | 1350 |
| | | 1 | Ruang Perpustakaan dan Arsip | 150 | 9 | 08.00-17.00 | 1350 |
| | | 1 | Ruang Staff 1 | 130 | 3 | 11.00-14.00 | 390 |
| | | 1 | Ruang TU | 130 | 3 | 11.00-14.00 | 390 |
| 5 | TV | 1 | Ruang Transit Kepala Dinas | 130 | 3 | 11.00-14.00 | 390 |
| | | 2 | Ruang Pengurus Barang | 65 | 9 | 08.00-17.00 | 1170 |
| | | 2 | Aula | 1500 | 4 | 08.00-12.00 | 12000 |
| 7 | Air Conditioner Stand Floor | 2 | Dapur | 180 | 24 | 00.00-23.59 | 4320 |
| 8 | Kulkas | 4 | Indoor | 30 | 24 | 00.00-23.59 | 2880 |
| | | 1 | Ruang TU | 30 | 24 | 00.00-23.59 | 720 |
| | | 1 | Ruang Perpustakaan dan Arsip | 30 | 24 | 00.00-23.59 | 720 |
| Total beban | | | | 16246 | TOTAL ENERGI PEMAKAIAN PERHARI | | 115090 |

Tabel 2 Beban kelistrikan BPPD lantai 2

| No | Alat Kelistrikan | Jumlah | Posisi | Daya | Lama Waktu Pemakaian (Jam) | WAKTU (WIB) | Energi Wh |
|-------------|------------------|--------|--------------------------------|-------|----------------------------|-------------|-----------|
| | | | | | | | |
| 1 | Lampu | 14 | Indoor Lantai 2 | 18 | 13 | 18.00-07.00 | 3276 |
| | | 10 | Ruang Staff Lantai 2 | 18 | 13 | 18.00-07.00 | 2340 |
| | | 4 | Ruang Kepala Seksi Perencanaan | 18 | 13 | 18.00-07.00 | 936 |
| | | 8 | Ruang Kepala Seksi Kerjasama | 18 | 13 | 18.00-07.00 | 1872 |
| | | 2 | Kamar Mandi | 18 | 13 | 18.00-07.00 | 468 |
| 2 | Komputer | 2 | Kantor Staff Bidang Koordinasi | 380 | 9 | 08.00-17.00 | 6840 |
| | | 2 | Ruang Staff 2 Lantai | 380 | 9 | 08.00-17.00 | 6840 |
| | | 1 | Ruang Kepala Seksi Perencanaan | 380 | 9 | 08.00-17.00 | 3420 |
| | | 2 | Ruang Kepala Seksi Kerjasama | 380 | 9 | 08.00-17.00 | 6840 |
| 3 | Air Conditioner | 2 | Kantor Staff Bidang Koordinasi | 760 | 6 | 10.00-16.00 | 9120 |
| | | 3 | Ruang Staff 2 Lantai | 760 | 6 | 10.00-16.00 | 13680 |
| | | 1 | Ruang Kepala Seksi Perencanaan | 760 | 6 | 10.00-16.00 | 4560 |
| | | 2 | Ruang Kepala Seksi Kerjasama | 760 | 6 | 10.00-16.00 | 9120 |
| 4 | Printer | 1 | Kantor Staff Bidang Koordinasi | 150 | 9 | 08.00-17.00 | 1350 |
| | | 3 | Ruang Staff 2 Lantai | 150 | 9 | 08.00-17.00 | 4050 |
| | | 1 | Ruang Kepala Seksi | 150 | 9 | 08.00-17.00 | 1350 |
| | | 2 | Ruang Kepala Seksi Kerjasama | 150 | 9 | 08.00-17.00 | 2700 |
| 6 | CCTV | 3 | Indoor Lantai 2 | 30 | 24 | 00.00-23.49 | 2160 |
| Total Beban | | | | 10694 | Energi Harian | | 80922 |

Tabel 3 Beban kelistrikan BPPD lantai 3

| LANTAI 3 | | | | | | | |
|-------------|------------------|--------|--------------------------|------|----------------------------|-------------|-----------|
| No | Alat Kelistrikan | Jumlah | Posisi | Daya | Lama Waktu Pemakaian (Jam) | WAKTU (WIB) | Energi Wh |
| | | | | | | | |
| 1 | Lampu | 16 | Indoor Ruangan | 18 | 13 | 18.00-07.00 | 3744 |
| | | 1 | Ruang Kerja Kantor BPPD | 18 | 13 | 18.00-07.00 | 234 |
| | | 6 | Ruang Rapat 1 | 18 | 13 | 18.00-07.00 | 1404 |
| | | 3 | Ruang Staff | 18 | 13 | 18.00-07.00 | 702 |
| | | 3 | Kamar Mandi | 18 | 13 | 18.00-07.00 | 702 |
| 2 | Komputer | 1 | Ruang Kepala Kantor BPPD | 380 | 9 | 08.00-17.00 | 3420 |
| 3 | Air Conditioner | 1 | Ruang Kepala Kantor BPPD | 760 | 6 | 10.00-16.00 | 4560 |
| | | 1 | Ruang Staff 2 Lantai | 760 | 6 | 10.00-16.00 | 4560 |
| 4 | Exhaust | 2 | Ruang Kepala Kantor BPPD | 25 | 24 | 00.00-23.49 | 1200 |
| Total Beban | | | | 2472 | Energi Harian | | 20526 |

c) Karakteristik Beban Harian BPPD

Adapun data beban karakteristik harian pada kantor Badan Pengelola Perbatasan Daerah Kalbar yang memiliki 3 lantai ialah sebagai berikut.

Tabel 4 Karakteristik Beban Harian

| JAM | Karakteristik Beban Setiap Jam (Wh) | Karakteristik Beban Setiap Jam (Wh) | Karakteristik Beban Setiap Jam (Wh) | Total Penggunaan Energi beban setiap 1 jam dan total 24jam (Wh) |
|-------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
| 00.00-01.00 | 1152 | 774 | 572 | 2498 |
| 01.00-02.00 | 1152 | 774 | 572 | 2498 |
| 02.00-03.00 | 1152 | 774 | 572 | 2498 |
| 03.00-04.00 | 1152 | 774 | 572 | 2498 |
| 04.00-05.00 | 1152 | 774 | 572 | 2498 |
| 05.00-06.00 | 1152 | 774 | 572 | 2498 |
| 06.00-07.00 | 1152 | 774 | 572 | 2498 |
| 07.00-08.00 | 360 | 90 | 50 | 500 |
| 08.00-09.00 | 9708 | 3800 | 430 | 13938 |
| 09.00-10.00 | 9708 | 3800 | 430 | 13938 |
| 10.00-11.00 | 15028 | 9880 | 1950 | 26858 |
| 11.00-12.00 | 15454 | 9880 | 1950 | 27284 |
| 12.00-13.00 | 11226 | 9880 | 1950 | 23056 |
| 13.00-14.00 | 11190 | 9880 | 1950 | 23020 |
| 14.00-15.00 | 10800 | 9880 | 1950 | 22630 |
| 15.00-16.00 | 10800 | 9880 | 1950 | 22630 |
| 16.00-17.00 | 5480 | 3800 | 430 | 9710 |
| 17.00-18.00 | 360 | 90 | 50 | 500 |
| 18.00-19.00 | 1152 | 774 | 572 | 2498 |
| 19.00-20.00 | 1152 | 774 | 572 | 2498 |
| 19.00-20.00 | 1152 | 774 | 572 | 2498 |
| 21.00-22.00 | 1152 | 774 | 572 | 2498 |
| 22.00-23.00 | 1152 | 774 | 572 | 2498 |
| 23.00-24.00 | 1152 | 774 | 572 | 2498 |
| TOTAL | 115090 | 80922 | 20526 | 216538 |

Data Radiasi Matahari, Suhu, Kelembapatan, dan Kecepatan Angin

Tabel 5 Data radiasi matahari, suhu, kelembapan, dan kecepatan angin

| Bulan | <i>iradasi horizontal global</i> | <i>Iradiasi horizontal difus</i> | Suhu |
|-----------|----------------------------------|----------------------------------|------|
| | <i>kWh/m²/harian</i> | <i>kWh/m²/harian</i> | |
| Januari | 4.88 | 2.32 | 26,8 |
| Februari | 5.44 | 2.42 | 27 |
| Maret | 5.28 | 2.58 | 27,3 |
| April | 5.36 | 2.49 | 27 |
| Mei | 5.05 | 2.58 | 27,7 |
| Juni | 5.25 | 2.27 | 27,3 |
| Juli | 5.39 | 2.35 | 27,2 |
| Agustus | 5.18 | 2.58 | 27,5 |
| September | 4.45 | 2.92 | 26,9 |
| Oktober | 4.40 | 2.78 | 27 |
| November | 4.67 | 2.60 | 26,4 |
| Desember | 4.78 | 2.50 | 26,7 |
| Rata-rata | 5,01 | 2,53 | 27,1 |

Data tersebut didapat dari program PVsyst, dari table tersebut dapat dinilai bahwa penyinaran matahari minimum atau (*Minimum Peak Hours*) terjadi pada bulan oktober yaitu 4,40 kWh/m²/hari dan nilai maksimum pada bulan Februari dengan nilai 5,44 kWh/m²/hari.

d) Penentuan Beban PLTS

Untuk menentukan kapasitas modul surya yang diinginkan harus menentukan dulu

berapa % target dalam perencanaan yang ingin dibuat, oleh karena itu karena perencanaan ini hanya ingin mengganti sebagian kebutuhan listrik dan diatur untuk 0% surplus maka dapat dilakukan dengan persamaan (2.1)

$$P_{ac} = \frac{E_{\text{Harian}}}{PSH}$$

$$= \frac{216538}{5,01}$$

$$= 43.221 \text{ W}$$

Namun agar tidak terjadi ekspor daya dari PLTS maka pada perencanaan kali ini hanya ingin menggantikan sebagian dari PLTS yang dapat dirancang sebesar 30% (2.2).

$$P_{ac} = 30\% \times 43221 \text{ Watt}$$

$$= 12.966 \text{ Watt}$$

e) Menghitung Kapasitas daya PLTS

Untuk menentukan kapasitas PLTS dapat ditentukan dengan pembagian total beban dibagi dengan efisiensi panel surya 0,8 – 0,85 yang akan digunakan yang mana akan dilakukan dengan persamaan (2.3).

$$P_{dc} = \frac{P_{ac}}{\eta}$$

$$= \frac{12.966}{0,8} = 16.207$$

f) Menentukan Jumlah Modul Sel Surya

Dalam menentukan jumlah modul sel surya yang akan digunakan, ditentukan dengan persamaan (2.4).

$$Pv_{total} = \frac{P_{dc}}{P_{nom}}$$

$$= \frac{16.207}{600}$$

$$= 27,01 \approx 27 \text{ Panel}$$

Jumlah 27 panel yang digunakan diperhitungan disesuaikan dengan simulasi yang dilakukan diaplikasi PVsyst. Dengan begitu sistem membutuhkan 27 panel surya untuk mengoptimalkan performa panel yang akan dikonfigurasi seri-paralel yang disesuaikan dengan spesifikasi inverter.

g) Pemilihan kapasitas dan Jumlah Inverter

Untuk pengamanan jika terjadi beban puncak dalam perencanaan ini, untuk menentukan kapasitas inverter yang akan digunakan pada sistem PLTS ini dapat ditentukan dengan pendekatan terhadap besar daya kapasitas kebutuhan 16,2 kWp dan disesuaikan dengan kapasitas inverter secara umum yaitu inverter 12 s.d 15 kW. Sedangkan untuk menghitung jumlah inverter dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.5)

a. Dengan Inverter 7 kW

$$\text{Jumlah inverter} = \frac{16207}{7000}$$

$$\text{Jumlah inverter} = 2.31 \approx 2$$

b. Dengan Inverter 15 kW

$$\text{Jumlah inverter} = \frac{16207}{15000}$$

$$\text{Jumlah inverter} = 1.08 \approx 1$$

Jadi dalam penelitian kali ini jumlah inverter yang digunakan sebanyak 1 inverter.

h) Perhitungan kapasitas MCCB

Dalam sistem ini, diketahui bahwa arus hubung singkat (I_{sc}) per string panel surya adalah sebesar 13,87 A. Panel disusun dalam 3 string secara paralel, sehingga total arus yang akan dialirkan ke MCCB dapat dihitung dengan persamaan (2.6).

$$I_{total} = 13,87 \times 3 = 41,61 \text{ A}$$

Untuk memberikan margin pengamanan terhadap lonjakan arus dan kondisi operasional, digunakan faktor keamanan sebesar **125%**. Maka, dihitung dengan persamaan (2.7)

$$I_{MCCB} = 1,25 \times 41,61 = 52,01 \text{ A}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka dipilihlah MCCB dengan rating arus 60 A. Pemilihan ini didasarkan pada ketersediaan ukuran MCCB di pasaran serta kemampuan proteksi yang memadai terhadap arus yang mengalir

i) Konfigurasi panel surya

konfigurasi dilakukan dengan menggunakan menggunakan persamaan (2.8),(2.9) dan (2.10).

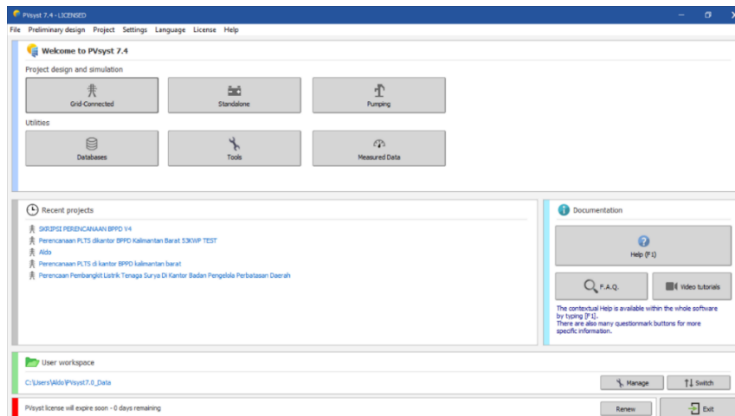
$$\text{Min modul seri per string} = \frac{200 \text{ V}}{55,03} = 3,63 \approx 4 \text{ Panel}$$

$$\text{Max modul seri per string} = \frac{1000}{45,25} = 22,72 \approx 23 \text{ Panel}$$

$$\text{Max modul paralel per string} = \frac{60}{13,67} = 4,38 \approx 4 \text{ Panel}$$

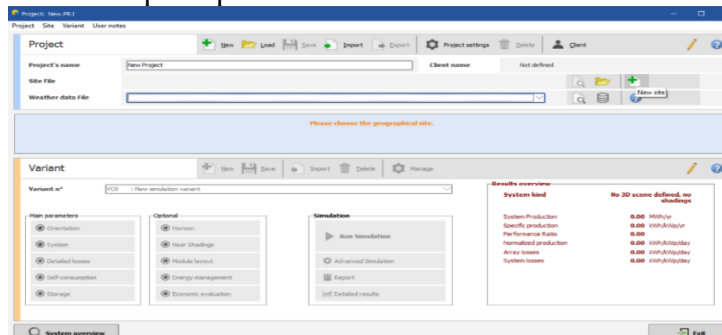
j) Simulasi PVsyst

Simulasi unjuk kerja PLTS di Kantor BPPD Kalbar dengan melakukan desain PLTS berdasarkan luasan atap di kantor tersebut. Didapatkan hasil desain panel surya yang dipasang di Kantor BPPD yaitu sebesar 16,2 kWp. Dengan data iklim yang digunakan pada simulasi ini adalah data iklim dari program PVsyst dengan menginput data titik koordinat LS (*latitude*) -0.039762509778640695, dan BT (*longitude*) 109.33399636432048 perencanaan PLTS. Adapun tampilan awal saat menjalankan program PVsyst seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 1 Tampilan Menu awal program PVsyst

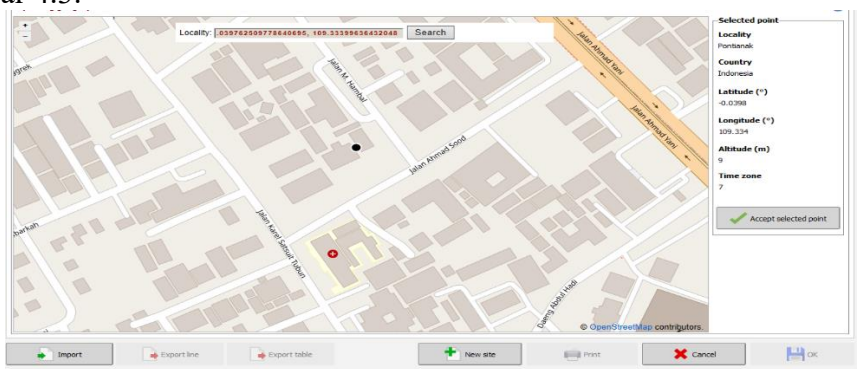
Dikarenakan pada penelitian kali ini perencanaan menggunakan sistem *On grid* maka menu yang dipilih adalah *On-Grid* sesuai dengan simulasi yang akan di lakukan, Yang kemudian akan muncul tampilan pada Gambar 4.2.



Gambar 2 Sistem *On Grid* simulasi PVsyst

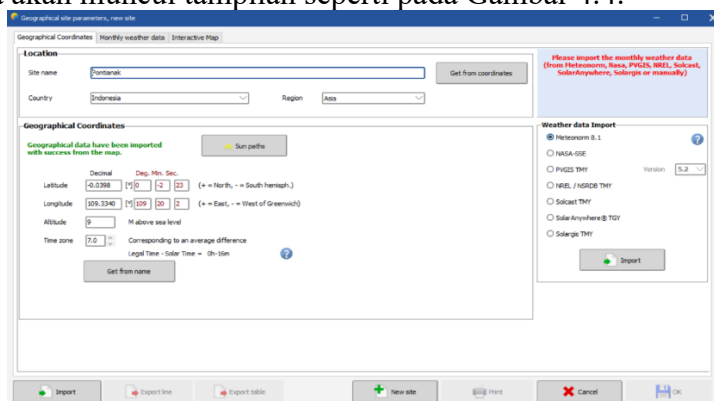
k) Simulasi Kantor Badan Pengelola Perbatasan Daerah Kalbar

Dengan melakukan input koordinat lokasi LS (*latitude*) -0.039762509778640695, dan BT (*longitude*) 109.33399636432048 yang berdasarkan latitude dan longitude pada menu newsite yang tertera pada gambar 4.2 yang di tunjuk oleh kursor. Maka akan muncul menu pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Penginputan Koordinat lokasi perencanaan PLTS

Data koordinat di dapat dari aplikasi *Google Maps* yang kemudian di input ke dalam tab *locality* maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4 Tampilan Geographical Coordinates pada saat simulasi

Setelah menentukan *Weather Database* maka selanjutnya menentukan sudut kemiringan panel ($\text{tilt} = 30^\circ$) dan azimuth (0°) pada tab *Orientation* yang mana memiliki tingkat Intensitas radiasi matahari paling tinggi untuk simulasi pada koordinat lokasi penelitian, berikut adalah tampilan *Orientation* Gambar 4.6.

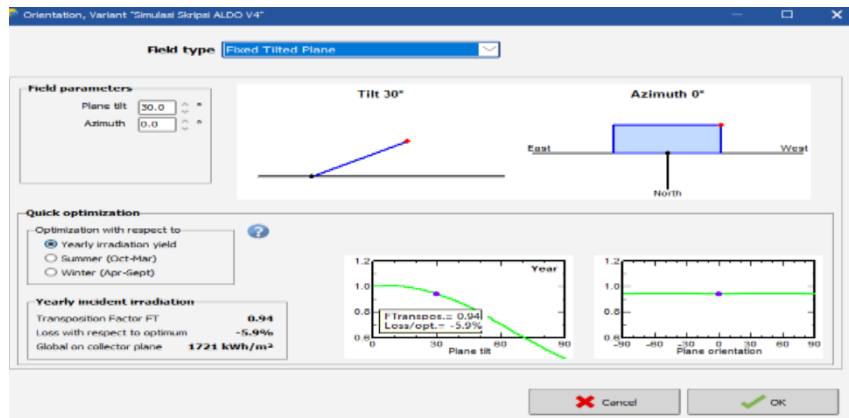
Langkah selanjutnya mengklik *import* pada tab *Weather data Import* maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar 4.5.

| Month | Global horizontal irradiation (kWh/m ² /day) | Horizontal diffuse irradiation (kWh/m ² /day) | Temperature (°C) | Wind Velocity (m/s) | Linker turbidity (I ₀) | Relative humidity (%) |
|-----------|---|--|------------------|---------------------|------------------------------------|-----------------------|
| January | 4.93 | 2.31 | 26.3 | 1.31 | 5.476 | 85.4 |
| February | 5.44 | 2.43 | 27.0 | 1.30 | 5.690 | 83.9 |
| March | 6.38 | 2.58 | 27.3 | 1.26 | 5.937 | 82.9 |
| April | 7.26 | 2.78 | 27.0 | 1.09 | 6.203 | 80.0 |
| May | 8.05 | 2.98 | 27.7 | 1.00 | 6.500 | 83.9 |
| June | 8.29 | 2.27 | 27.3 | 1.30 | 6.428 | 84.0 |
| July | 7.79 | 2.36 | 27.0 | 1.30 | 6.619 | 83.3 |
| August | 6.98 | 2.58 | 27.3 | 1.36 | 6.822 | 86.3 |
| September | 6.49 | 2.93 | 26.9 | 1.19 | 6.112 | 84.0 |
| October | 6.48 | 2.76 | 27.0 | 1.18 | 6.186 | 84.9 |
| November | 6.67 | 2.60 | 26.4 | 1.20 | 5.999 | 86.4 |
| December | 6.78 | 2.50 | 26.7 | 1.19 | 6.466 | 86.4 |
| Year | 5.81 | 2.53 | 27.1 | 1.2 | 6.065 | 86.4 |

Global horizontal irradiation year-to-year variability: 5.5%

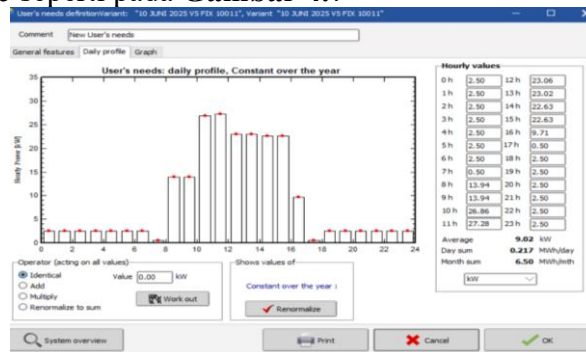
Gambar 5 Monthly Weather data

Setelah menentukan Weather Database maka selanjutnya menentukan sudut kemiringan panel (tilt = 30°) dan azimuth (0°) pada tab Orientation yang mana memiliki tingkat Intensitas radiasi matahari paling tinggi untuk simulasi pada koordinat lokasi penelitian, berikut adalah tampilan Orientation Gambar 4.6.



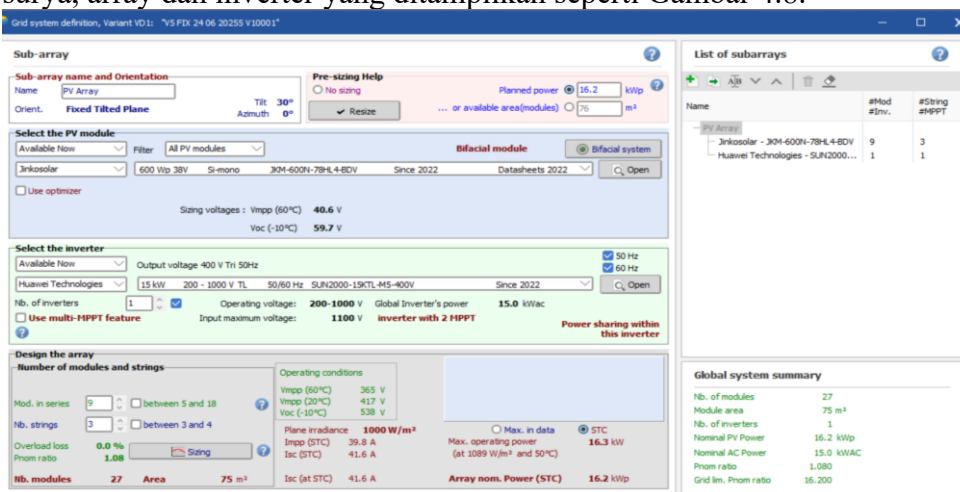
Gambar 6 Orientation

Langkah selanjutnya adalah memasukkan data beban harian kantor Badan Pengelola Perbatasan Daerah selama 24 jam pada menu *self* consumption dan kemudian masuk ke dalam tab *daily profile* seperti pada Gambar 4.7



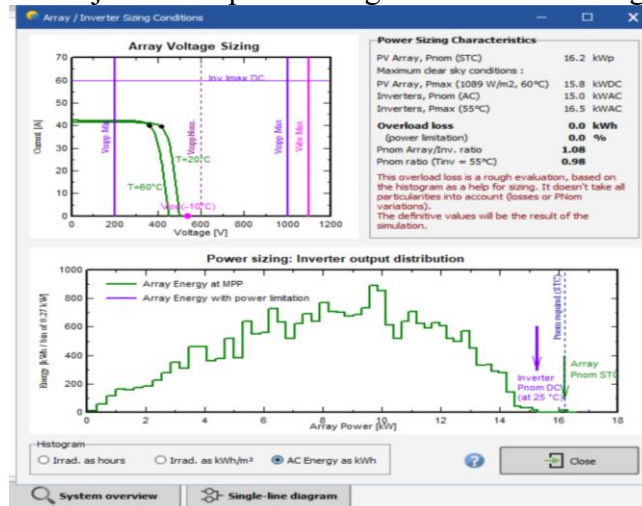
Gambar 7 Kurva Beban Kantor BPPD

Dapat dilihat dari grafik tersebut penggunaan peralatan listrik yang ada pada kantor BPPD paling aktif berada pada jam 8 pagi sampai jam 4 sore. Setelah menginput nilai beban harian pada system tersebut maka selanjut dilakukan langkah penentuan kapasitas modul surya, array dan inverter yang ditampilkan seperti Gambar 4.8.



Gambar 8 Penentuan Modul dan Inverter

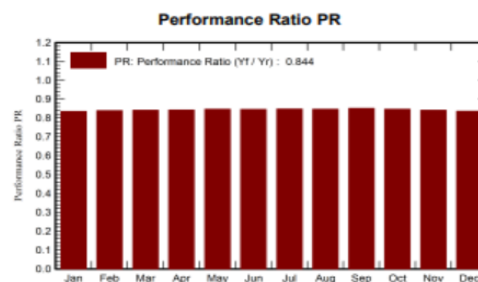
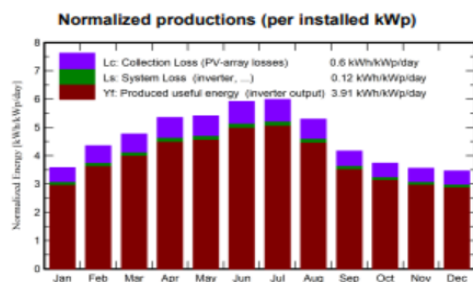
Sistem ini menggunakan 27 Panel 600 Wp yang disusun dalam 3 string paralel masing-masing 9 modul seri, menghasilkan total daya 16,2 kWp dipadukan dengan 1 inverter 15 kW yang mendukung perencanaan dengan input arus hingga 60 A, tegangan maksimal 1100 V dan memiliki keluaran 220/380 Vac desain ini aman. Konfigurasi panel dan inverter ini dirancang agar dapat bekerja secara optimal dengan sedikit oversizing dari sisi panel.



Gambar 9 Kurva karakteristik array dan inverter

Berdasarkan hasil simulasi perhitungan kebutuhan modul solar cell menggunakan software PVsyst 7.4, pada gambar di atas menunjukkan bahwa Pnom (Power Nominal) pada kondisi STC (Standard Test Condition) mampu menghasilkan daya sebesar 16,2 kWp. sementara itu terdapat penurunan penangkapan daya listrik pada larik modul fotovoltaik sebesar 0,4 kWp yang terpengaruh oleh kondisi lokasi. Adapun hasil dari simulasi yang dapat dilihat pada Gambar 4.10.

| | | | |
|--------------------------|-----------------|---------------------|-------------------|
| System Production | | | |
| Produced Energy | 23109 kWh/year | Specific production | 1427 kWh/kWp/year |
| Used Energy | 111690 kWh/year | Perf. Ratio PR | 84.37 % |
| Apparent energy | 17332 kVAh/year | Solar Fraction SF | 20.69 % |



Balances and main results

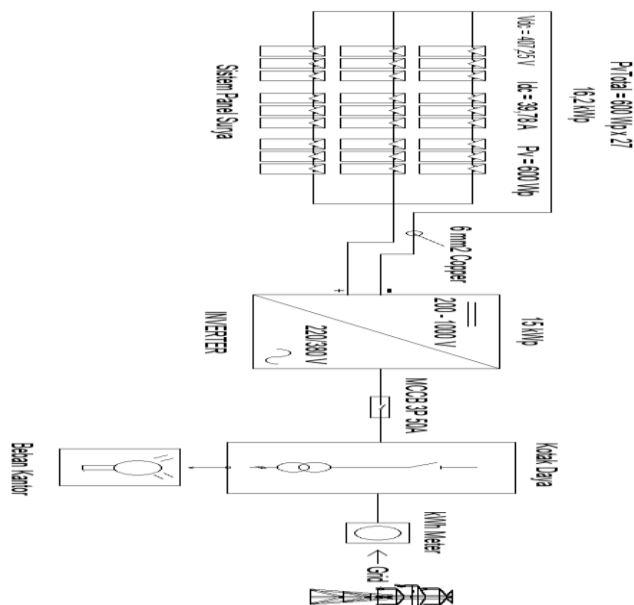
| | GlobHor kWh/m ² | DiffHor kWh/m ² | T_Amb °C | GlobInc kWh/m ² | GlobEff kWh/m ² | EArray kWh | E_User kWh | E_Solar kWh | E_Grid kWh | EFrGrid kWh |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| January | 151.3 | 71.76 | 26.76 | 110.9 | 105.5 | 1551 | 9486 | 1501 | -2.112 | 7985 |
| February | 152.3 | 67.93 | 26.98 | 121.8 | 117.4 | 1709 | 8568 | 1657 | -1.864 | 6911 |
| March | 163.8 | 79.86 | 27.30 | 147.8 | 143.9 | 2079 | 9486 | 2017 | -2.079 | 7469 |
| April | 160.9 | 74.58 | 27.04 | 160.6 | 157.4 | 2261 | 9180 | 2189 | 3.958 | 6991 |
| May | 156.7 | 80.08 | 27.70 | 167.7 | 164.8 | 2371 | 9486 | 2298 | 3.834 | 7188 |
| June | 157.6 | 68.11 | 27.26 | 177.6 | 175.0 | 2505 | 9180 | 2427 | 4.385 | 6753 |
| July | 167.1 | 73.07 | 27.24 | 185.7 | 182.9 | 2626 | 9486 | 2548 | 2.507 | 6938 |
| August | 160.5 | 80.00 | 27.50 | 164.1 | 161.1 | 2319 | 9486 | 2250 | -1.040 | 7236 |
| September | 133.6 | 87.45 | 26.93 | 124.9 | 121.9 | 1777 | 9180 | 1723 | -1.612 | 7457 |
| October | 136.3 | 86.27 | 26.99 | 115.7 | 112.0 | 1639 | 9486 | 1589 | -2.216 | 7897 |
| November | 140.2 | 78.07 | 26.40 | 106.6 | 101.8 | 1502 | 9180 | 1454 | -2.134 | 7726 |
| December | 148.2 | 77.50 | 26.73 | 107.4 | 102.1 | 1505 | 9486 | 1457 | -2.172 | 8029 |
| Year | 1828.5 | 924.68 | 27.07 | 1690.8 | 1645.6 | 23845 | 111690 | 23110 | -0.546 | 88580 |

Gambar 10 Hasil Simulasi

B. Analisa Hasil

Berdasarkan hasil perhitungan manual dan simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst, sistem PLTS yang dirancang menghasilkan total energi DC sebesar 23.845 kWh per tahun, yaitu energi sebelum dikonversi oleh inverter. Setelah dikonversi menjadi energi AC, output yang tersedia untuk digunakan adalah sebesar 23.110 kWh per tahun. Simulasi menunjukkan bahwa sistem ini mampu menyuplai sekitar 20,69% dari total kebutuhan energi gedung selama satu tahun, yaitu sebesar 111.690 kWh, sebagaimana ditunjukkan pada *Solar Fraction (SF)*. Meskipun demikian, gedung masih membutuhkan pasokan energi tambahan dari jaringan PLN sebesar 88.580 kWh atau 79,31% dari total konsumsi tahunan. Selain itu, hasil simulasi juga menunjukkan bahwa sistem tidak menghasilkan surplus energi (0% surplus), sehingga dikategorikan sebagai sistem zero export yakni sistem yang dirancang agar tidak menyalurkan kelebihan energi ke jaringan PLN. Nilai Performance Ratio (PR) yang diperoleh adalah sebesar 84,37%, yang mengindikasikan bahwa sistem PLTS on-grid ini memiliki efisiensi tinggi dan layak secara teknis. Efisiensi tersebut mencerminkan kemampuan sistem untuk mengubah potensi energi matahari menjadi energi listrik yang mendekati kapasitas teoritisnya, sehingga sangat mendukung implementasi sistem PLTS di lingkungan gedung pemerintahan dengan skenario tanpa ekspor energi.

Berdasarkan Gambar 4.11 sistem menggunakan 27 unit panel yang masing-masing memiliki spesifikasi tegangan output sebesar 45,25 Vdc dan daya sebesar 600 Wp. Panel-panel tersebut dikonfigurasi dalam bentuk 9 modul seri per string, dan 3 string disusun secara paralel, sehingga menghasilkan total daya sebesar 16,2 kWp dengan tegangan 407,25 Vdc spesifikasi teknis Output dari susunan panel ini dihantarkan melalui kabel tembaga berpenampang 6 mm² menuju inverter, yang memiliki rentang tegangan input DC 200–1000 V, sesuai dengan output dari array panel. Inverter ini akan mengubah energi DC menjadi energi listrik arus bolak-balik (AC) dengan tegangan keluaran 3 fasa 220/380 V. Energi AC dari inverter kemudian melewati pemutus sirkuit MCCB 3 Phase 50 A yang berfungsi sebagai proteksi utama terhadap kondisi hubung singkat atau kelebihan arus. Setelah itu, energi dialirkan ke kotak daya, lalu diteruskan ke beban gedung tanpa ekspor ke jaringan PLN.



Gambar 11 Gambar Teknis SLD PLTS

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi yang telah dilakukan dalam perencanaan sistem PLTS on-grid di Kantor Badan Pengelola Perbatasan Daerah Kalimantan Barat, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem PLTS dirancang dengan kapasitas 16,2 kWp, menggunakan 27 panel surya 600 Wp, yang disusun menjadi 3 string paralel masing-masing 9 modul seri, serta dipasangkan dengan 1 unit inverter 15 kW.
2. Simulasi menggunakan program PVsyst 7.4 menunjukkan bahwa sistem PLTS mampu menghasilkan energi sebesar 23845 kWh DC per tahun, dengan konversi ke AC sebesar 23110 kWh, dan mampu memenuhi 20,69% dari total kebutuhan energi gedung sebesar 111690 kWh per tahun dengan sistem zero export atau tidak ada daya yang di ekspor ke pada jaringan.
3. Efisiensi sistem ditunjukkan oleh nilai Performance Ratio (PR) sebesar 84,37%, yang mengindikasikan bahwa sistem bekerja dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Edenhofer, O. (2011). *Renewable energy sources and climate change mitigation: Special report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press.
- Bayu, H., & Windarta, J. (2021). Tinjauan Kebijakan dan Regulasi Pengembangan PLTS di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(3), 123-132.
- Karuniawan, E. A., Sugiono, F. A. F., Larasati, P. D., & Pramurti, A. R. (2023). Analisis potensi daya listrik plts atap di gedung direktorat politeknik negeri semarang dengan perangkat lunak pvsyst. *Journal of Energy and Electrical Engineering*, 4(2).
- Zahra, H. (2022). Studi Perancangan PLTS On-Grid 673 kWp Ditinjau Dari Analisis Teknis Menggunakan Software PVsyst 7.2 Pada Kawasan Industri.
- Ridho, M. A., Winardi, B., & Nugroho, A. (2019). Analisis Potensi Dan Unjuk Kerja Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro Menggunakan Software Pvsyst 6.43. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 7(4), 883-890.
- Arifin, N. (2019). Unjuk Kerja Desain Perencanaan dan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid Sistem DC Coupling Kapasitas 17 kWp Pada Gedung Hunian Graha Cendekia Yogyakarta Menggunakan PVSYST 6.8.4. *Pelaksanaan Pekerjaan Galian Diversion Tunnel Dengan Metode Blasting Pada Proyek Pembangunan Bendungan Leuwikeris Paket 3, Kabupaten Ciamis Dan Kabupaten Tasikmalaya Jawa Barat*, 1, 1-147.
- Damasari, A., Afifah, F. N., & Nugroho, A. P. (2024). Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Gedung Kantor Bupati Kabupaten Temanggung. *Jurnal Teknik Industri Manajemen dan Manufaktur*, 1(1), 16-24.
- Wibowo, D. P., Yusuf, M. I., & Hiendro, A. (2024). Solar PV-Diesel Hybrid System for the Nanga Man Village. *Telecommunications, Computers, and Electricals Engineering Journal (TELECTRICAL)*, 2(1), 103-114.
- G. H. Sihotang, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Di Hotel Kini Pontianak," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2019.
- Hutajulu, A. G., Siregar, M. R., & Pambudi, M. P. (2020). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) On Grid Di Ecopark Ancol. *Tesla*, 22(1), 317714.
- Gifson, H. A., Siregar, M. R., & Pambudi, M. P. 2020. Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On Grid di Ecopark Ancol. *Jurnal Teknik Elektro*.
- M. D. Ridwan, A. Hiendro, & F. Fitriah, "Study of Solar Power Plant (Spp) With 1.51 Mp Capacity At Tanjungpura University," *Telecommun. Comput. Electr. Eng. J.*, vol. 1, no. 2, p. 109, 2023, doi: 10.26418/telectrical.v1i2.70006.
- Global Solar Atlas 2025. Global Horizontal Irradiation. Diakses 12 Mei 2025 dari <https://globalsolaratlas.info/map?s=-0.025504,109.342234&m=site>
<https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/10808/1/srisusilaw-2798-1-13-sris-9%201-2.pdf>