

DESAIN DAN ANALISA KERUGIAN SISTEM PLTS ATAP ON-GRID MENGGUNAKAN SOFTWARE PVSYST DI GEDUNG DINAS LINGKUNGAN HIDUP KABUPATEN MALINAU

Fitriani Said¹, Abil Huda², Priskah Melati³

^{1,2,3}Universitas Borneo Tarakan, Kota Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

¹fitrianiubt22@gmail.com; fitriani@borneo.ac.id

²aby16666@gmail.com

³priskahmelati8@gmail.com

Abstract—Current energy demand still largely relies on fossil energy sources such as petroleum, coal, and natural gas. However, the availability of fossil energy is gradually decreasing, thus a transition to renewable energy sources such as solar energy is necessary. PLTSA (Solar Power Plant) is a solar energy-based power generation system. The PLTSA system was designed for the Environmental Agency Office Building of Malinau Regency using Pvsyst software with an on-grid system connected to the utility grid (PLN). The DLH building consumes 318 kWh of energy per day. The PLTSA was designed with a capacity of 69.8 kWp using a total of 128 solar modules installed on both sides of the roof, with 65 battery units and 4 inverters. From this design, the PLTSA is capable of producing 127,955 kWh/year. However, due to energy losses of 21.15%, the amount of electricity that actually reaches the user is only 100,886 kWh per year. By utilizing the PLTS, the DLH building can reduce its electricity expenses by up to IDR 112,461,660 per year.

Keywords—PLTSA, energy losses, renewable energy, Pvsyst, Environmental Agency.

Intisari—Kebutuhan energi saat ini sebagian besar masih bergantung pada sumber energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam. Namun, ketersediaan energi fosil semakin menurun oleh karena itu diperlukannya peralihan ke energi terbarukan seperti energi matahari. PLTSA merupakan pembangkit listrik tenaga surya yang memanfaatkan energi matahari, desain PLTSA dilakukan pada Gedung Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Malinau menggunakan perangkat lunak Pvsyst dengan sistem PLTS on grid atau terhubung PLN. Gedung DLH menggunakan energi berjumlah 318 kWh/d. PLTSA dirancang dengan kapasitas 69,8 kWp menggunakan total 128 modul surya yang dipasang pada setiap sisi atap dengan jumlah penggunaan baterai sebanyak 65 unit dan 4 inverter. Dari pendesaianan tersebut PLTSA menghasilkan daya sebanyak 127.955 kWh/tahun, namun dikarenakan adanya rugi-rugi sebanyak 21,15 % maka daya yang sampai ke pengguna hanya sebanyak 100.886 kWh pertahunnya. Dengan menggunakan PLTS gedung DLH dapat mengurangi biaya konsumsi listrik hingga Rp.112.461.660 pertahunnya.

Kata Kunci—PLTSA, rugi-rugi, energi terbarukan, Pvsyst, Dinas Lingkungan Hidup.

I. PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan pokok karena sumber energi adalah kunci utama dalam segala aspek kehidupan.

Tantangan besar yang dihadapi dunia saat ini adalah bagaimana memenuhi kebutuhan energi yang terus bertambah sambil menjaga keseimbangan lingkungan dan menekan dampak emisi yang ditimbulkan [1]. Perlu disadari bahwa sumber energi berbasis fosil suatu saat akan habis. Oleh sebab itu, cepat atau lambat Pemerintah harus meninggalkan sumber energi fosil dan beralih pada sumber energi baru dan terbarukan [2].

II. LANDASAN TEORI

A. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS merupakan sistem pembangkit yang memanfaatkan energi matahari untuk kemudian dikonversi menjadi energi listrik menggunakan sel surya [3].

B. Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap (PLTSA)

Sistem pembangkit listrik tenaga surya atap atau PLTSA adalah proses pembangkitan tenaga listrik menggunakan modul fotovoltaik yang dipasang dan diletakkan pada atap dari bangunan milik pelanggan PLTSA serta menyalurkan energi listrik melalui sistem sambungan listrik pelanggan PLTSA [4]. Atap gedung menjadi salah satu opsi strategis dalam instalasi PLTS, pemasangan PLTS atap *on-grid* memiliki banyak keuntungan diantaranya seperti mengurangi dampak dari efek rumah kaca, ramah lingkungan, menghemat biaya bulanan listrik, tidak membutuhkan baterai dalam instalasinya, dan proses monitoring lebih mudah dan efektif [5]. Pada gambar 2.1 dapat terlihat contoh bentuk Panel Surya yang terpasang pada atap rumah.



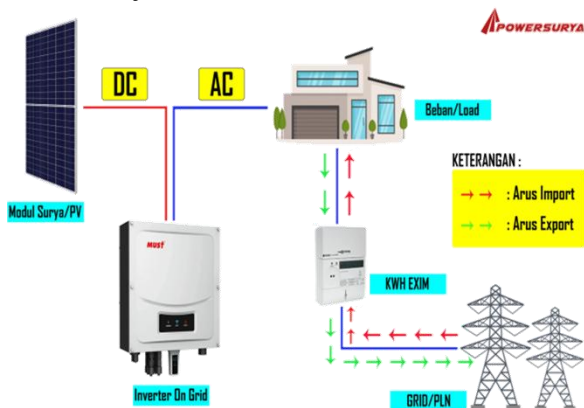
Gambar 1. PLTS Atap

C. PLTS On-grid

PLTS on-grid dimana PLTS ini terhubung dengan sistem jaringan perusahaan listrik negara (PLN) [6]. Dari skema ini, pelanggan dapat langsung terhubung dengan

penyedia listrik negeri atau PLN dan melalui skema ini juga pelanggan bisa mendapatkan impor tenaga listrik sehingga ketika PLTS tidak dapat memenuhi kebutuhan konsumen, maka PLN dapat menyuplai daya ke pelanggan sehingga beban dapat terpenuhi. Secara teknis besaran listrik yang terimpor diketahui melalui kWh yang telah disediakan oleh PLN. PLTS Atap dapat dipasang dengan menyambungkan baterai ataupun tanpa baterai [4].

Pada gambar 2. dapat terlihat cara kerja dari sistem PLTS *on-grid* yaitu Panel surya menangkap energi matahari dan mengubahnya menjadi listrik searah (DC), yang kemudian diubah menjadi arus bolak-balik (AC) oleh inverter untuk digunakan dalam perangkat rumah tangga. Kelebihan energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS disimpan dalam baterai untuk digunakan pada malam hari atau saat cuaca mendung. jika produksi surya tidak mencukupi untuk kebutuhan beban, maka sistem dapat mengambil pasokan listrik dari PLN. Pengaturan sistem dilakukan oleh charge controller yang terdapat pada inverter, untuk mengelola aliran energi antara panel surya, baterai, inverter, dan jaringan PLN. Dengan kombinasi ini, sistem PLTS menawarkan fleksibilitas, efisiensi, dan keandalan yang lebih tinggi, memastikan pasokan listrik yang stabil dan berkelanjutan.



Gambar 2. Sistem PLTS On-Grid

D. System Losses

System losses atau kerugian sistem pada PLTS *On-Grid* adalah energi yang hilang selama proses konversi, transmisi, dan distribusi listrik dari panel surya hingga sampai ke jaringan listrik [7]. Beberapa penelitian menunjukkan produksi listrik yang dihasilkan *photovoltaic* mengalami penurunan karena adanya efek bayangan, hal ini yang menyebabkan *losses* terjadi cukup besar karena semakin besar *losses* yang terjadi, maka semakin kecil produksi daya listrik yang dihasilkan [8].

Pada PLTS, terdapat berbagai faktor yang dapat menurunkan kinerja sistem seperti rugi-rugi kabel, debu pada permukaan modul, rugi-rugi suhu, efek bayangan, kerugian pada komponen lain, *mismatch loss*.

E. Pvsyst

Pvsyst adalah sebuah perangkat lunak yang dapat digunakan dalam proses pembelajaran, perencanaan dan analisis data dari sistem PLTS secara lengkap. Pvsyst dibuat dan dikembangkan oleh Universitas Genewa. Pvsyst memiliki fitur simulasi sistem terinterkoneksi jaringan (*on-grid*), sistemhh berdiri sendiri (*stand-alone*), dan jaringan

arus searah untuk transportasi publik (*DC-grid*). Pvsyst memiliki kemampuan untuk memodelkan sistem PLTS secara rinci dengan memperhitungkan berbagai faktor, seperti intensitas cahaya matahari, kondisi cuaca, arah dan kemiringan panel surya, dan jenis panel surya yang digunakan. Pvsyst merupakan perangkat lunak yang sangat berguna bagi para pekerja di industri energi surya untuk memperkirakan kinerja sistem PLTS secara akurat [4]. Pada gambar 2.3. di bawah dapat terlihat tampilan dari aplikasi Pvsyst.



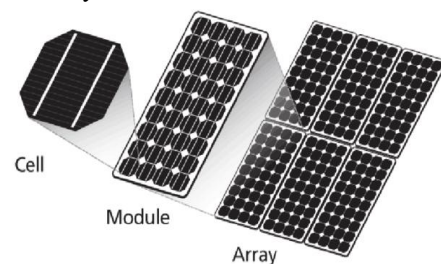
Gambar 3. Aplikasi Pvsyst

F. Komponen PLTS

1. Modul Surya (*Solar PV Modules*)

Photovoltaic atau PV modul adalah peralatan yang digunakan oleh pembangkit listrik tenaga surya untuk merubah energi surya menjadi energi listrik [6]. Modul surya terdiri dari kumpulan sel surya (*solar cells*) yang bekerja dengan memanfaatkan efek fotovoltaiik, yaitu fenomena di mana material semikonduktor (umumnya silikon) mengubah foton dari sinar matahari menjadi aliran listrik. Modul surya tersedia dalam berbagai jenis, yang masing-masing memiliki karakteristik dan efisiensi berbeda.

Setiap unit modul surya dilengkapi dengan junction box permanen yang di dalamnya terdapat *bypass diode*. dimana fungsi dari *bypass diode* adalah apabila terjadi kerusakan pada salah satu modul surya pengisian dari modul lain masih dapat berjalan [9]. Di bawah ini merupakan gambar dari modul surya.



Gambar 4. modul surya

2. Inverter

Pengondisian tenaga listrik (*power condition*) dan sistem kontrol pada PLTS diperankan oleh inverter, yang memiliki fungsi merubah arus listrik searah (*direct current*) yang dihasilkan oleh solar modul menjadi listrik arus bolak-balik (*alternating current*) dan dikontrol kualitas dari daya listrik yang dikeluarkan untuk dikirim ke beban atau ke jaringan listrik. Pada PLTS penggunaan inverter satu fasa biasanya untuk sistem yang bebannya kecil, sedangkan untuk sistem yang besar dan terhubung dengan jaringan utilitas (PLN) biasanya digunakan inverter 3 fasa [9].

Dari gambar 2.5 dapat melihat salah satu contoh dari bentuk dari inverter yang yang biasanya digunakan pada sistem PLTS On-Grid.



Gambar 5. Inverter

3. Baterai

Baterai digunakan dalam sistem PLTS untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh modul surya di siang hari, lalu mengalirkan ke beban pada saat cuaca berawan dan tidak ada suplai daya dari PLN (mati lampu). Energi yang tersimpan dalam baterai tidak boleh sampai keadaan habis, maka ada faktor lain yang perlu diperhitungkan yaitu *depth of discharge* (DOD). Besarnya DOD pada baterai lithium ion umumnya 80%, artinya energi yang dapat diberikan hanya 80% dari kapasitas baterai [11]. Pada gambar 2.6 dapat terlihat contoh dari baterai VRLA, disebut VRLA karena ia punya konstruksi tertutup dengan katup pelepas tekanan agar mencegah keluarnya gas. Jadi di dalam aki ada katup khusus yang fungsinya agar cairan aki atau elektrolit sulit menguap walaupun ada guncangan atau getaran. Ini membuat risiko akan kebocoran cairan aki dapat diantisipasi [10]

Gambar 6. Baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*)

4. kWh Meter

Dalam sistem PLTS on-grid, penggunaan kWh meter berfungsi untuk mengukur konsumsi energi listrik dari PLN. Pada gambar 2.7 kita dapat melihat bentuk dari kWh *Advanced*:

Gambar 7. kWh *Advanced Metering Infrastructure* (AMI)

G. Tahap Perancangan Matematis PLTS On-Grid

1. Menghitung Beban Listrik

Untuk menghitung total keseluruhan beban listrik, langkah pertama adalah mencatat daya listrik dari setiap

peralatan yang digunakan. Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung total beban terdapat pada persamaan (1):

$$\text{Total Beban} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n \quad (1)$$

Mengkonversinya daya menjadi kilowatt-jam (kWh) menggunakan persamaan (2) berikut:

$$\text{kWh} = \frac{P \times T}{1000} \quad (2)$$

Keterangan :

P = daya dari masing-masing peralatan (Watt)

T = Waktu penggunaan

2. Rata-rata Penyinaran Matahari

Nilai PSH merupakan nilai puncak dari radiasi, dengan mengetahui rata-rata penyinaran matahari di lokasi tertentu, kita dapat memperkirakan seberapa besar energi yang dapat dihasilkan oleh panel surya. Adapun persamaan Menghitung rata-rata penyinaran matahari terdapat pada persamaan (3) sebagai berikut:

$$\text{PSH} = \frac{\text{GHI}}{\text{GSTC}} \quad (3)$$

Keterangan :

PSH = *Peak Sun Hour* (Jam)

GHI = *Global Horizontal Irradiance* (Wh/m²)

GSTC = GHI dalam STC (1000W/m²)

3. Menentukan Kapasitas Modul Surya

Daya yang dibangkitkan oleh modul surya dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah nilai intensitas radiasi matahari disuatu daerah. Sehingga kapasitas daya modul surya dapat dinyatakan dalam persamaan (4) berikut:

$$P_{pv} = \frac{E_T}{\text{PSH}} \text{FA} \quad (4)$$

Keterangan :

P_{PV} = kapasitas modul surya yang dibutuhkan (Wp)

E_T = kebutuhan energi (Wh)

PSH = *Peak Sun Hour* (Jam)

FA = 1,25

Jumlah modul surya yang digunakan dapat di nyatakan pada persamaan (5) berikut:

$$\text{Jumlah Modul} = \frac{\text{Kapasitas Modul Surya}}{\text{Daya Modul Surya}} \quad (5)$$

4. Menghitung Kapasitas Baterai

Untuk menentukan kapasitas batrai yang dibutuhkan untuk sistem PLTS Atap adalah sebagai berikut:

$$B_c = \frac{E_L}{V_B \cdot \text{DOD} \cdot \eta} \quad (6)$$

Keterangan :

B_c = Kapasitas baterai

E_L = Besar pemakaian energi listrik (kWh/ hari)

V_B = Tegangan baterai (V)

DOD = Kedalaman Pengosongan baterai
 η = Efisiensi Inverter (0,9)

5. Daya Hilang dan Persentase Rugi-rugi

Daya hilang merujuk pada jumlah energi listrik yang tidak sampai ke beban akhir akibat berbagai faktor teknis, seperti resistansi kabel, konversi inverter, shading pada panel, dan kondisi suhu lingkungan. Daya hilang tersebut dapat di hitung menggunakan persamaan (7) berikut:

$$\text{Daya hilang} = P_{in} - P_{out} \quad (7)$$

Setelah mengetahui total daya yang hilang, maka tahap selanjutnya menghitung berapa nilai persentase rugi-rugi dari PLTS tersebut, dengan menggunakan persamaan (8) berikut:

$$\text{Persentase Rugi - rugi} = \frac{\text{daya hilang}}{P_{in}} \quad (8)$$

Keterangan:

P_{in} = daya masuk (kWh/pertahun)

P_{out} = daya keluar (kWh/pertahun)

6. Menghitung Energi Keluaran

Energi yang diterima modul surya berdasarkan intensitas radiasi matahari tidak sepenuhnya dapat diterima oleh beban karena dipengaruhi rugi-rugi (*losses*) komponen dan sistem. Total rugi-rugi sistem PLTS dinyatakan dalam persamaan (9) dan daya keluaran dari sistem PLTS dinyatakan dalam persamaan (10).

$$\text{Rugi-rugi PLTS} = P_{PVSTC} \times \text{total rugi-rugi} \% \quad (9)$$

$$\text{Daya keluaran} = P_{PVSTC} - (\text{rugi-rugi PLTS}) \quad (10)$$

Keterangan:

Rugi-rugi PLTS = Rugi-rugi sistem PLTS (W)

P_{PVSTC} = Daya modul surya pada saat STC (W)

Daya Keluaran = Daya keluaran sistem PLTS dengan rugi-rugi (W)

7. Rasio Performansi (*Performance Ratio*)

Kelayakan PLTS ditentukan berdasarkan rasio performansi, apabila sistem tersebut nilai rasio performansinya berkisar 70- 90%, maka sistem tersebut dapat dikatakan layak. (Sivertsen, Christer, & Soyland, 2014). Untuk menghitung rasio performa terdapat pada persamaan (11) berikut:

$$PR = \frac{E_{grid} + E_{solar}}{G_{lobinc} \times P_{nom PV}} \quad (11)$$

Keterangan :

PR = *Performance Rasio*

E_{grid} = *Energy injected into grid* (kWh/tahun)

E_{solar} = *Energy from the sun* (kWh/tahun)

G_{lobinc} = *Global incident in coll. Plane*
(kWh/m²/tahun)

$P_{nom PV}$ = *Power Nominal Photovoltaic* (kWp)

8. Efisiensi Biaya Listrik

Efisiensi biaya listrik menilai kelayakan dan kinerja sistem pembangkit listrik (PLTSA), terutama dalam konteks sejauh mana sistem mampu mengurangi

pengeluaran biaya listrik dibandingkan dengan penggunaan listrik dari sumber konvensional (PLN) dalam jangka waktu setahun. Maka untuk menghitung efisiensi biaya listrik tersebut dapat menggunakan persamaan (12) berikut:

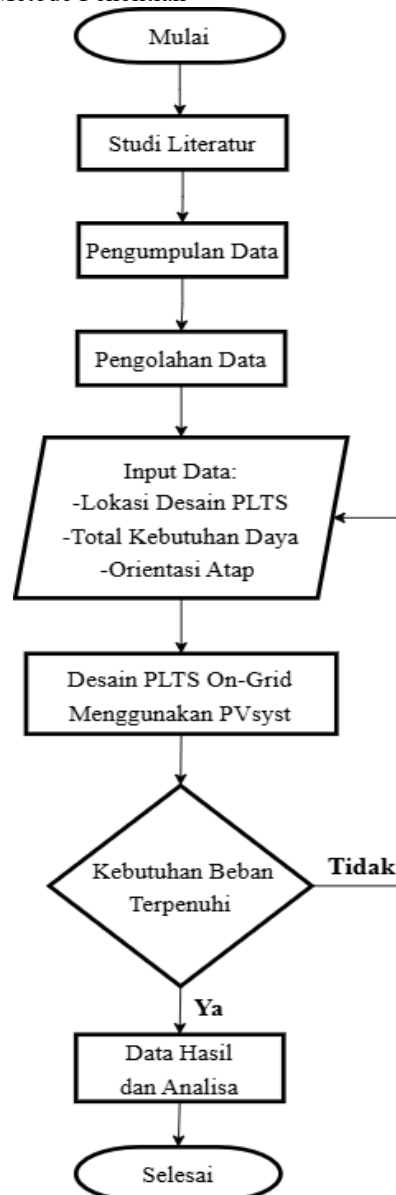
$$\text{Biaya Listrik} = E_{solar} \times \text{Tarif Listrik per kWh} \quad (12)$$

III. METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

1. Laptop
2. Software Pvsyst
3. Termometer temperature
4. Power solar meter
5. Data Beban, luas, dan radiasi

B. Alur Metode Penelitian



Gambar 8. Flowchart Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Beban Listrik

Berikut tabel data beban listrik pada gedung DLH Kabupaten Malinau.

Tabel I
Beban Listrik Gedung

Beban	Jumlah Beban	Daya (Watt)	Lama Penggunaan (Jam)	Total Konsumsi Daya (kWh)
Dispenser	1	435	12	5,22
Wifi	3	10	24	0,72
Kipas Angin	7	70	9	4,41
Laptop HP	2	65	7	0,91
Laptop Acer	3	60	7	1,26
Laptop Asus	5	45	7	1,575
Printer	16	40	2	1,28
Komputer Asus	12	90	7	7,56
Monitor Komputer	6	13	7	0,546
Komputer Acer	15	52	7	5,46
CPU	6	408	7	17,136
Proyektor	2	327	2	1,308
Sidik Jari	1	90,06	24	2,16144
AC (1,5PK)	4	860	9	30,96
AC (2PK)	13	1740	9	203,58
Lampu	4	6	9	0,216
Lampu	52	14	24	17,472
Lampu	25	24	14	8,4
Lampu	2	50	14	1,4
Lampu	4	40	14	2,24
Lampu	12	24	14	4,032
Jumlah	248	4463,81	35.238	243

B. Radiasi Matahari

Kabupaten Malinau adalah sebuah daerah tropis yang menerima radiasi matahari cukup tinggi sepanjang tahun, berikut ini merupakan gambar data cuaca pertahun kabupaten Malinau

	Global horizontal irradiation kWh/m ² /mth	Horizontal diffuse irradiation kWh/m ² /mth	Temperature °C	Wind Velocity m/s	Linke turbidity [-]	Relative humidity %
January	157.8	77.0	26.6	1.80	3.205	84.4
February	151.7	71.0	26.8	2.00	3.320	83.0
March	174.3	81.2	27.2	1.90	3.334	81.8
April	165.6	72.4	27.1	1.70	3.309	85.2
May	179.2	67.2	27.7	1.60	3.225	83.6
June	178.0	65.2	26.9	1.59	3.241	85.3
July	175.0	73.8	27.2	1.80	3.271	82.9
August	182.4	81.4	27.2	1.91	3.649	82.4
September	175.0	70.4	26.9	1.80	3.954	84.4
October	172.5	77.9	27.1	1.80	4.169	84.0
November	164.8	74.5	26.7	1.59	3.403	86.6
December	156.3	70.9	26.9	1.69	3.222	85.4
Year	2032.4	882.9	27.0	1.8	3.442	84.1

Gambar 9. Data Cuaca Pertahun dari Metenorm

Dalam gambar 9. merupakan data yang bersumber dari metenorm pvsyst pada tahun (2016-2021) di dalam tabel

tersebut terdapat berbagai data, mulai dari bulan Januari sampai dengan bulan Desember. Data *Global Horizontal Irradiation* (GHI) menggambarkan jumlah energi matahari yang diterima per satuan luas permukaan horizontal, dengan nilai rata-rata tahunan sebesar 2032,4, kWh/m²/tahun. Sementara itu, *Horizontal Diffuse Irradiation* (DHI) atau radiasi difus horizontal adalah radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi tanpa melalui jalur langsung dari matahari, melainkan setelah mengalami hamburan oleh partikel di atmosfer dengan rata-rata nilai DHI sebesar 882,9 kWh/m²/tahun. Suhu udara rata-rata tahunan tercatat sebesar 27,0°C, sedangkan kecepatan angin rata-rata mencapai 1,8 m/s. Tingkat kekeruhan atmosfer yang diwakili oleh nilai *Linke Turbidity* menunjukkan rata-rata - 3,442. Adapun kelembaban relatif udara rata-rata tahunan adalah sebesar 84,1%.

Dari data GHI/radiasi matahari pertahun selanjutnya data tersebut akan dikelola untuk mengetahui nilai *Peak Sun Hour* (PSH) dengan persamaan (3) pada:

$$\begin{aligned} \text{PSH} &= \frac{365 \text{ hari Total GHI Tahunan}}{365 \text{ hari}} \\ &= \frac{2032,4}{365} \\ &= 5,57 \text{ jam} \end{aligned}$$

Berdasarkan data yang dikelola, nilai PSH di lokasi Gedung DLH Kabupaten malinau adalah sebesar 5,57 jam per hari. Nilai ini tergolong baik dan berada di atas rata-rata nasional, di mana umumnya Indonesia memiliki PSH berkisar antara 4,0 hingga 5,5 jam per hari (ESDM, 2020). Dengan nilai PSH yang tinggi, sistem PLTS memiliki potensi untuk menghasilkan energi yang lebih besar setiap harinya.

C. Menentukan Kapasitas Modul Surya

Penentuan kapasitas modul surya berfungsi untuk mengetahui berapa besar daya (dalam kilo Watt-peak/kWp) yang dibutuhkan agar sistem PLTS bisa memenuhi kebutuhan energi pengguna dengan menggunakan persamaan (4):

$$\begin{aligned} P_{pv} &= \frac{E_T}{\text{PSH}} \times \text{FA} \\ &= \frac{317}{5,57} \times 1,25 \\ &= 69.703,07 \text{ Wp} \end{aligned}$$

Dari perhitungan kapasitas modul surya maka didapatkan nilai minimal kapasitas modul surya yang digunakan adalah sebesar 69.703,07 Wp. Selanjutnya melalui hasil perhitungan kapasitas modul surya maka dapat dikelola untuk mencari berapa jumlah modul surya yang akan di gunakan dengan menggunakan persamaan (5):

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Modul Surya} &= \frac{69.703,07}{545} \\ &= 127,89 = 128 \text{ modul} \end{aligned}$$

Jadi total modul surya yang digunakan pada desain PLTSA ini adalah 128 modul yang kemudian dibagi menjadi 4 sub array menyesuaikan 4 sisi gedung, adapun pembagian modul surya didasarkan dengan luas area atap persisi dan

penyinaran maksimal matahari sehingga di dapatkan hasil pembagian sebagai berikut:

- Sub array 1 : 40 modul surya (21,8 kWp)
- Sub array 2 : 32 modul surya (17,4 kWp)
- Sub array 3 : 28 modul surya (15,3 kWp)
- Sub array 4 : 28 modul surya (15,3 kWp)

Sehingga total keseluruhan modul surya pada setiap sub array adalah 140 modul surya dengan daya 69,8 kWp.

D. Menentukan Kapasitas Baterai

Perhitungan kapasitas baterai tentunya sangat berguna agar daya lebih yang dihasilkan oleh modul surya dapat di simpan pada baterai, berikut merupakan perhitungan dari kapasitas baterai menggunakan persamaan (6):

$$Bc = \frac{E_L}{V_B \cdot DOD \cdot \eta}$$

$$= \frac{317,846}{240 \cdot 0,8 \cdot 0,9}$$

$$= 1.839 \text{ Ah}$$

Sehingga kapasitas baterai untuk penyimpanan daya 317,846 watt adalah sebesar 1,839 Ah. Dikarenakan baterai digunakan untuk bisa menyuplai daya beban selama 2 hari maka penyimpanan baterai dikali 2, sehingga:

$$Bc \text{ 2 hari} = 1.839 \times 2$$

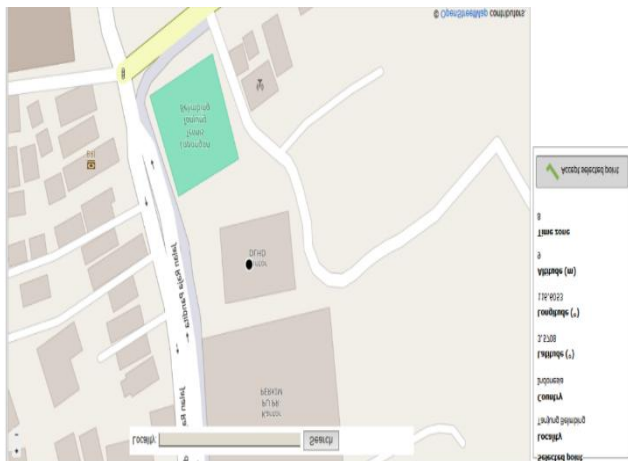
$$= 3.678 \text{ Ah}$$

Dari perhitungan tersebut maka minimal kapasitas baterai yang harus digunakan untuk menyimpan daya selama 2 hari adalah sebesar 3.678 Ah.

E. Perancangan PLTSA menggunakan PVSyst

1. Memasukan Detail Lokasi Gedung

Langkah awal dalam perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap menggunakan Software PVSyst yaitu memilih lokasi gedung yang akan digunakan sebagai pendesainan PLTS atap, fungsi dari hal ini adalah agar titik kordinat dari lokasi tersebut dapat terlihat. Berikut ini merupakan gambar dari lokasi gedung DLH kabupaten Malinau:



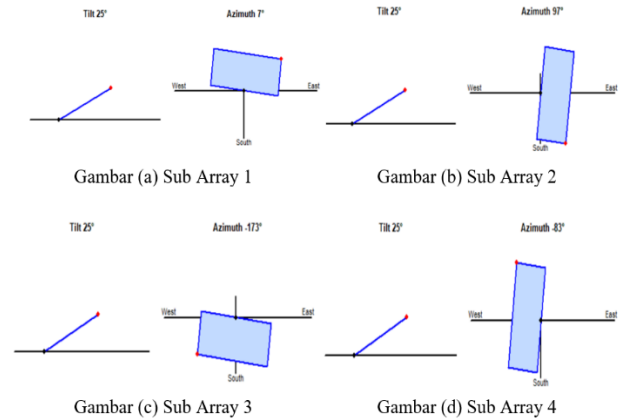
Gambar 10. Denah Lokasi

Dari gambar 10. dapat terlihat lokasi yang dipilih untuk desain PLTS adalah gedung Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Malinau, gedung tersebut terletak di Desa

Tanjung Belimbing dengan Latitude 3.5708° dan Longitude 116.6053.

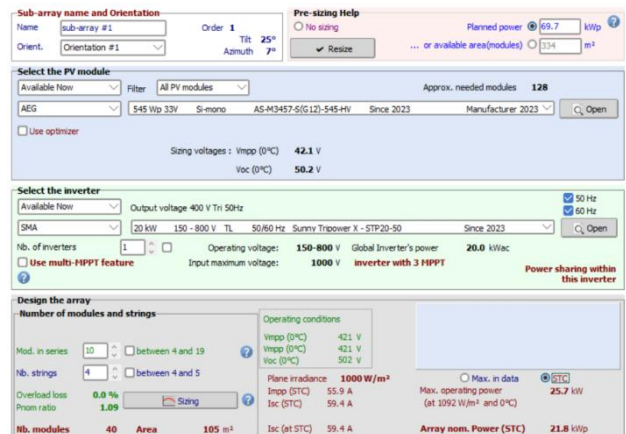
2. Orientasi dan Titik Azimuth Modul surya

Pemilihan orientasi panel dan titik azimuth sangat penting untuk mengoptimalkan penangkapan energi matahari. Orientasi panel adalah sudut kemiringan panel surya pada saat diletakkan di atap, sedangkan azimuth adalah arah hadap panel terhadap matahari agar bisa mendapatkan daya yang maksimal dari matahari. Berikut ini merupakan gambar dari titik azimuth dan orientasi panel:



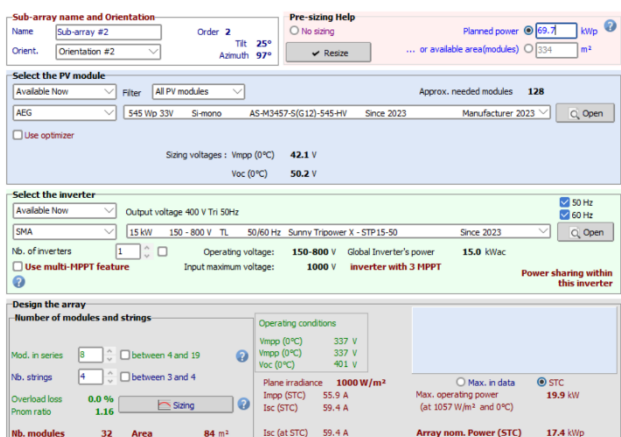
Gambar 11. Orientasi dan Titik Azimuth

Orientasi dan titik azimuth modul surya diletakkan menyesuaikan dengan bentuk atap dari gedung yaitu dengan orientasi kemiringan atap 25° dan untuk arah azimuth panel di buat menjadi 4 sisi sesuai dengan bentuk atap gedung. Peletakan modul surya sub array 1 menghadap pada 7° arah utara, sub array 2 menghadap pada 97° arah timur, sub array 3 menghadap pada -173° arah selatan, dan sub array 4 menghadap pada -83° arah barat.



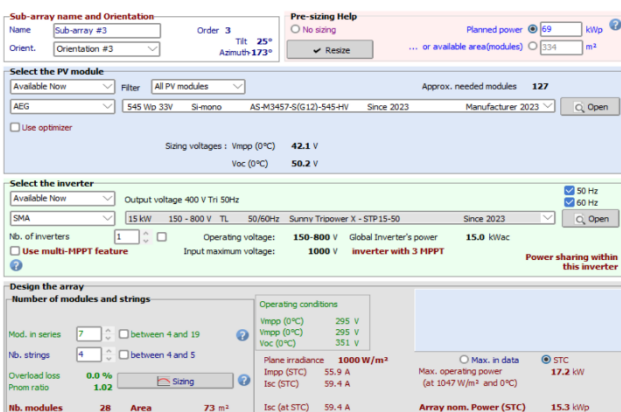
Gambar 12. Sistem sub array 1

Dari gambar 12. Dapat terlihat total modul surya yang digunakan adalah 40 modul surya dengan penggunaan area sebesar 105 m² adapun susunan modul surya adalah 10 seri per 4 strings modul surya sehingga menghasilkan daya sebesar 21,8Wp pada saat kondisi STC dan kapasitas inverter yang digunakan adalah 20 kW menyesuaikan dengan daya yang dihasilkan oleh modul surya.



Gambar 13. Sistem sub array 2

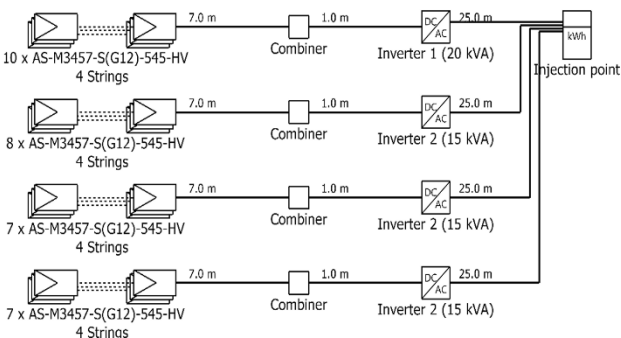
Dari gambar 13. Dapat terlihat total modul surya yang digunakan adalah 32 modul surya dengan susunan modul surya 8 seri per 4 strings modul surya sehingga menghasilkan daya sebesar 17,4 kWp.



Gambar 13. Sistem Sub Array 3 dan 4

Dari gambar 13. Dapat terlihat total modul surya yang digunakan pada sub array 3 dan 4 adalah 28 modul surya dengan susunan 7 seri per 4 strings modul surya sehingga menghasilkan daya sebesar 15,3 kWp pada saat kondisi STC. Total keseluruhan modul surya yang digunakan berjumlah 128 modul surya dengan penggunaan area seluas 334 m².

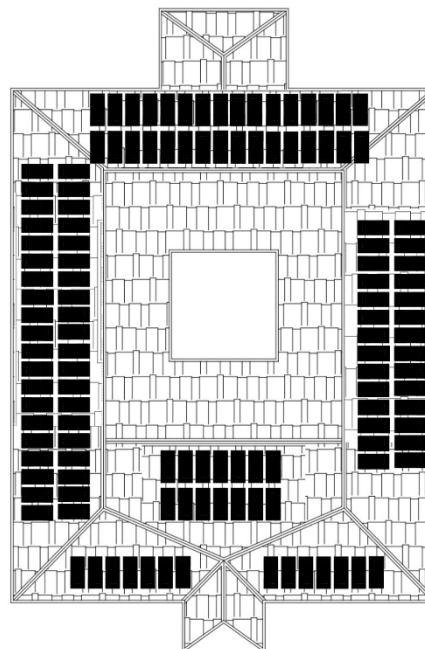
Berikut ini merupakan hasil gambar *single line diagram* (SLD) desain komponen sistem PLTS yang diberikan



Gambar 14. Single Line Diagram Komponen

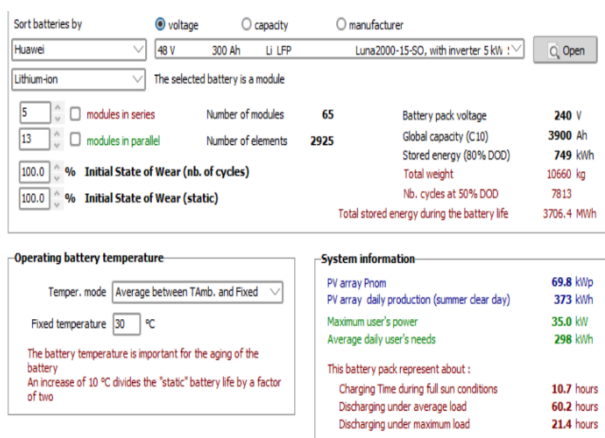
Dari gambar 14. dapat terlihat bentuk dari SLD pada desain sistem PLTS sub array 1 memiliki 4 strings dengan

10 series modul surya, sub array 2 memiliki 4 strings dengan 8 seri modul surya, sub array 3 dan 4 memiliki 4 strings dengan 7 seri modul surya, Modul surya kemudian dihubungkan dengan combiner box, selanjutnya dihubungkan dengan masing-masing inverter persub array, Setelah mengetahui SLD maka tahap selanjutnya yaitu mendesain peletakan modul surya pada atap menyesuaikan jumlah modul, berikut ini merupakan desain peletakan modul surya pada atap:



Gambar 15. Desain Modul Surya Pada Atap Menggunakan Autocad

Setelah pemilihan modul surya dan inverter maka tahap selanjutnya yang akan di pilih adalah baterai, untuk pemilihan baterai kita harus masuk ke dalam pemilihan storage yang ada pada aplikasi Pvsyst berikut ini merupakan pemilihan jenis baterai.



Gambar 16. Pemilihan Sistem Baterai

Pemilihan jenis baterai dan kapasitas baterai pada sistem PLTS didasarkan dengan kebutuhan penyimpanan kapasitas dari modul surya, dari gambar 16. dapat terlihat bahwa pada saat *summer clear day*/cuaca baik modul surya mendapatkan daya listrik 373 kWh perharinya, yang artinya

daya tersebut dapat mencukupi kebutuhan gedung sebesar 317 kWh kelebihan dari daya listrik tersebut akan disimpan menggunakan baterai. Dikarenakan kapasitas baterai ingin digunakan cukup untuk menyimpan daya listrik selama 2 hari maka baterai di rancang dengan *stored energy* 80% 2 kali lipat dari beban listrik yaitu 749 kWh.

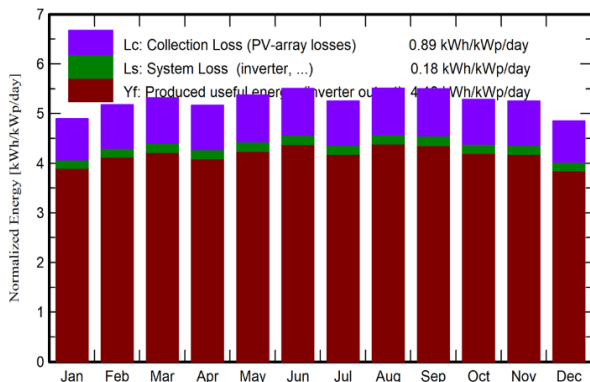
3. Hasil Simulasi PVsyst

Hasil simulasi sistem PLTSA menggunakan perangkat lunak PVsyst menunjukkan seberapa baik kinerja dan potensi energi dari sistem PLTSA yang dirancang. Berikut ini merupakan Hasil potensi PLTSA dari simulasi aplikasi :

	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	157.8	77.00	26.57	151.7	144.7	8813	9315	8352	0.000	962
February	151.7	70.99	26.76	144.9	138.5	8411	8368	7649	0.000	709
March	174.3	81.18	27.20	164.8	157.6	9527	9243	8429	0.000	814
April	165.6	72.41	27.11	154.9	148.3	8960	8924	8257	0.000	667
May	179.2	67.20	27.68	166.5	159.2	9595	9315	8451	0.000	863
June	178.0	65.24	26.89	165.2	157.8	9566	8924	8753	0.000	171
July	175.0	73.82	27.21	162.9	155.5	9444	9243	8524	0.000	719
August	182.4	81.37	27.17	170.9	163.5	9911	9315	9024	0.000	290
September	174.9	70.39	26.90	164.9	158.2	9535	8852	8205	0.000	647
October	172.5	77.92	27.06	163.8	157.0	9490	9315	9070	0.000	245
November	164.8	74.52	26.69	157.5	150.8	9142	8996	8287	0.000	709
December	156.3	70.89	26.86	150.3	143.5	8707	9171	7885	0.000	1286
Year	2032.4	882.93	27.01	1918.3	1834.6	111101	108967	100886	0.000	8081

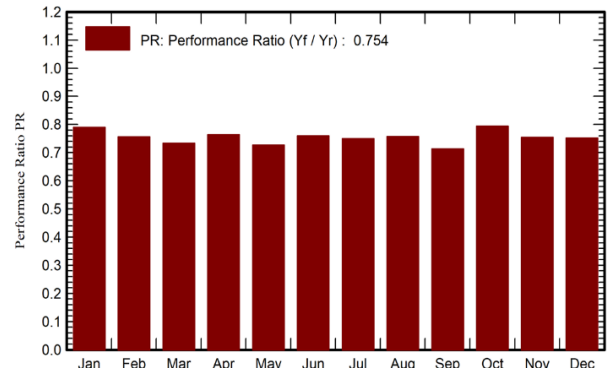
Gambar 17. Potensi energi Listrik PLTS di Gedung DLH Kabupaten Malinau Berdasarkan Pvsyst

Dari gambar 17. terlihat *Global incident in coll plane* nilai tertinggi didapat pada bulan Agustus dengan jumlah 170,9 kWh/m². *Effective Global, corr. for IAM and shadings* adalah radiasi efektif yang benar-benar bisa dikonversi menjadi listrik oleh modul, setelah memperhitungkan *shading, losses*, dan efek lainnya dengan rata-rata 1.834,6 kWh/m². *E_array* adalah Energi DC yang dihasilkan oleh PV dengan jumlah pertahunnya sebesar 111.101 kWh/tahun. *E_User* adalah Energi yang digunakan oleh pengguna (beban) dalam kurun waktu setahun yaitu sebanyak 108.967 kWh/tahun. *E_Solar* adalah Energi dari sistem PV yang digunakan untuk memenuhi beban selama setahun sebanyak 100.886 kWh/tahun. *E_Grid* adalah Energi yang dikirim ke jaringan PLN, Nilai 0 menunjukkan sistem ini tidak mengirim listrik ke PLN. *EfrGrid* adalah Energi yang diambil dari jaringan untuk memenuhi kekurangan dari PV, ini artinya berapa banyak energi dari PLN yang digunakan ketika PLTS tidak cukup, yaitu sebesar 8.081 kWh/tahun.



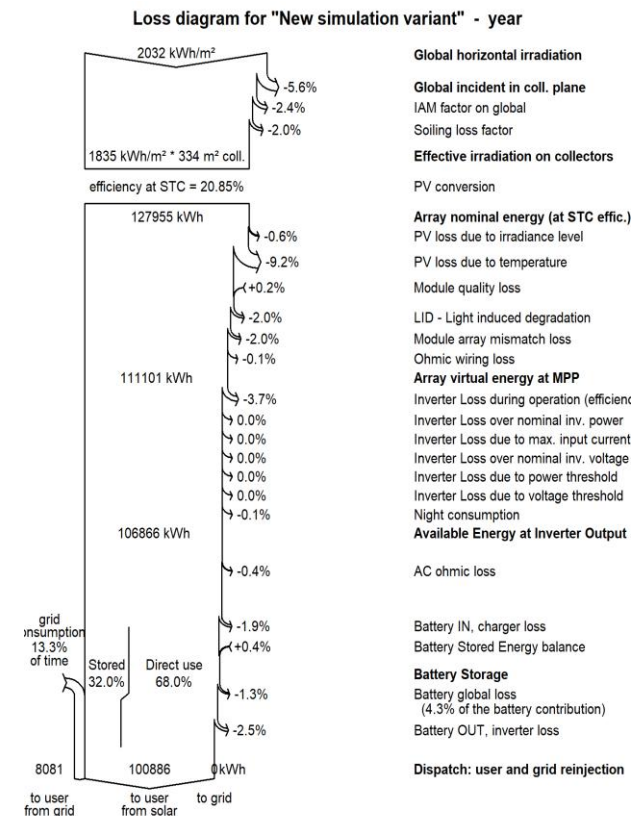
Gambar 18. Grafik Produksi Energi Listrik PLTSA Berdasarkan Pvsyst

Dari gambar 18. dapat terlihat *Lc* yang berwarna ungu adalah kehilangan daya dari PV seperti efek suhu, mismatch, shading, dll dengan total daya 0,89 kWh/kWp/hari, *Collection Loss* yang berwarna hijau adalah daya yang hilang di sistem/inverter (*System Loss*) yang berjumlah 0,18 kWh/kWp/hari, *Yf* yang berwarna coklat tua adalah Energi listrik yang dihasilkan setelah inverter Produced useful energi dengan rata-rata 4,16 kWh/kWp/hari. Berikut ini grafik *performance ratio* dari sistem PLTSA yang di rancang.



Gambar 19. Grafik Performance Ratio Berdasarkan PVsyst

Pada gambar 19. terlihat nilai PR tahunan sistem adalah 0,754 atau 75%. Ini berarti bahwa sistem menghasilkan 75% dari potensi maksimalnya setelah memperhitungkan berbagai kerugian dalam sistem. Secara umum, nilai PR sebesar ini tergolong baik, khususnya untuk sistem PLTS on-grid dengan baterai yang dipasang tetap (*fixed tilt*) di wilayah tropis.



Gambar 20. Diagram Rugi-rugi PLTS Pertahun Berdasarkan Pvsyst

Dari gambar 20. dapat terlihat bahwa energi yang dihasilkan PV pada saat STC selama setahun adalah sebesar 127.955 kWh/tahun namun energi PLTS yang sampai ke pengguna hanya sebesar 100.886 kWh/tahun ini berarti ada daya yang hilang selama proses ke beban dengan jumlah 27.069 kWh/tahun hal ini di sebabkan karena nilai rugi-rugi pada PLTS. Kebutuhan gedung selama setahun adalah sebesar 108.967 kWh/tahun namun dikarenakan rugi-rugi tersebut maka sistem PLTS membutuhkan bantuan daya dari PLN untuk mencukupi kebutuhan gedung sebesar 8.081 kWh/tahun.

Total rugi-rugi Global Horizontal Irradiation (GHI) adalah sebanyak 10,02 % Kerugian ini terjadi karena beberapa faktor, yaitu *Global incident in coll plane* kehilangan akibat sudut kemiringan dan orientasi panel yang kurang ideal sebesar 5.6%, rugi-rugi IAM factor on global sebesar 2.4% akibat sudut datang matahari, serta kerugian akibat debu atau kotoran pada permukaan panel (soiling) sebesar 2.0%.

Total rugi rugi Array sebesar 13,7% dengan PV Loss due to Irradiance Level sebesar 0.6% hal ini di sebabkan karena panel surya tidak mencapai pada kondisi standar yaitu 1000 W/m² iradiasi, ketika iradiasi aktual lebih rendah, efisiensi konversi panel juga menurun. PV Loss due to Temperature 9.2% rugi-rugi ini di sebabkan karena suhu tinggi yang mengakibatkan tegangan output panel menurun sehingga daya listrik yang dihasilkan tidak sesuai. *Module Quality Loss* (+0.2%) Simulasi ini menunjukkan peningkatan performa kecil dibandingkan nilai yang ditetapkan oleh pabrik dalam kondisi STC, artinya modul yang digunakan memiliki kualitas lebih baik dari standar rata-rata. *Light Induced Degradation* (LID) sebesar 2.0% rugi-rugi ini menyebabkan penurunan kinerja permanen yang terjadi ketika modul pertama kali terkena cahaya matahari, terjadi dalam beberapa hari pertama operasi. *Module Array Mismatch Loss* sebesar 2.0% rugi-rugi ini disebabkan karena panel surya tidak mendapatkan daya yang sama antara setiap modulnya di karenakan efek shading antar modul. *Ohmic Wiring Loss* (1.0%) Energi listrik dalam bentuk arus DC mengalir melalui kabel menuju inverter namun sebagian energi hilang sebagai panas karena adanya tahanan listrik dalam kabel.

Total rugi-rugi pada inverter sebesar 3,8 %, rugi-rugi inverter Loss (*during operation*) adalah 3,7 % rugi-rugi ini disebabkan pada saat proses inverter mengubah arus DC menjadi AC sebagian energi hilang sebagai panas dan rugi internal. *Night consumption loss* sebesar 0.1% rugi-rugi ini di sebabkan konsumsi inverter saat malam (*standby mode*).

Total *Battery Loss* sebesar 5,7%, dengan rugi-rugi *Battery IN* (*charger loss*) sebesar 1,9% yang disebabkan Energi hilang saat mengisi baterai (DC-DC converter atau *charger loss*), *Battery storage loss* sebesar 1.3% adalah Energi hilang secara internal saat penyimpanan (resistansi internal), *Battery OUT* (*inverter loss*) 2,5% adalah Energi hilang saat mengubah DC dari baterai ke AC, *Battery energy balance* +0,4% adalah penyesuaian energi baterai yang menunjukkan bahwa tidak semua energi yang masuk ke baterai benar-benar hilang sebagian bisa dikembalikan ke sistem. Berikut ini merupakan perhitungan dari daya yang hilang menggunakan persamaan (7):

PV conversion:

$$\begin{aligned} \text{Daya hilang} &= P_{in} - P_{out} \\ &= 2032 - 1835 \\ &= 197 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Jadi daya pertahunnya yang hilang sebelum masuk ke PV adalah sebesar 197 kWh. Selanjutnya adalah menghitung persentase dari rugi-rugi yang terjadi dengan menggunakan persamaan (8):

$$\begin{aligned} \text{Persentase Rugi - rugi} &= \frac{\text{daya hilang}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{197}{2032} \\ &= 9,69\% \end{aligned}$$

Jadi persentase rugi-rugi yang hilang adalah sebanyak 9,96%. Berikut ini merupakan tabel kehilangan daya dari rugi-rugi array sampai dengan ke pengguna.

Tabel II
Losses Array to User

Komponen	Daya Masuk (kWh)	Daya Keluar (kWh)	Daya Hilang (kWh)
<i>Array Virtual Energi at MPP</i>	127.955	111.101	16.854
Inverter	111.101	106.866	4.235
<i>Battery System</i>	106.866	100.886	5.98
Total Energi Hilang	27.069 kWh		

Dari data Tabel II maka dapat dihitung total berapa persen rugi-rugi yang hilang dari array sampai dengan beban menggunakan persamaan (8):

$$\begin{aligned} &= \frac{27.069}{127.955} \times 100\% \\ &= 21,15\% \end{aligned}$$

Jadi persentase rugi-rugi yang hilang dari array sampai dengan beban adalah sebanyak 21,15%. Dari perhitungan tersebut maka dapat dibuktikan rugi-rugi PLTS menggunakan persamaan (9):

$$\begin{aligned} \text{Rugi-rugi PLTS} &= P_{PV\ STC} \times 21,15\% \\ &= 127.955 \times 21,15\% \\ &= 27.062 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Sehingga total rugi-rugi PLTS adalah sebanyak 27.062 kWh pertahunnya, daya keluaran PLTS dapat di buktikan menggunakan persamaan (10):

$$\begin{aligned} \text{Daya keluaran PLTS} &= P_{PV\ STC} - (\text{rugi-rugi PLTS}) \\ &= 127.955 - 27.062 \text{ kWh} \\ &= 100.886 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut dapat dibuktikan bahwa daya yang diterima oleh pengguna adalah sebanyak 100.886 kWh pertahun.

Berikut ini merupakan perhitungan dari *Performance ratio* dengan menggunakan persamaan (11):

$$\begin{aligned} PR &= \frac{E_{grid} + E_{solar}}{g_{lobinc} \times p_{nom} PV} \\ &= \frac{0 + 100886}{1918,3 \times 69,8} \\ &= 0,754 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut dapat dibuktikan bahwa nilai performa dari desain PLTS di lakukan adalah sebanyak 0,754.

4. Efisiensi Biaya Listrik Gedung DLH

Dengan menggunakan PLTS gedung DLH dapat menghemat listrik sebesar 100.886 kWh/pertahun. Penghematan biaya pertahunnya dapat di hitung menggunakan persamaan (12) :

Biaya Listrik = Esolar × Tarif Listrik per kWh

Diketahui:

Listrik 3 Phase = Rp1.114,74 per kWh

Jumlah Konsumsi PLTS = 100.886 kWh/pertahun sehingga:

Total Biaya Listrik = 100.886 × 1.114,74
= Rp.112.461.660

Terbilang (*seratus dua belas juta empat ratus enam puluh satu ribu enam ratus enam puluh rupiah*)

Jadi dengan menggunakan PLTS sebagai sumber listrik utama gedung DLH dapat menghemat biaya listrik sebesar Rp.112.461.660 pertahunnya. Dengan menggunakan PLTS Selain menghemat biaya listrik juga dapat mengurangi emisi yang ada sehingga gedung tersebut bisa menjaga lingkungan sekitar, sesuai dengan program kerja dari Dinas Lingkungan Hidup.

IV. KESIMPULAN

Desain PLTS dirancang pada atap gedung Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Malinau dengan daya 69,8 kWp menggunakan total 128 modul surya merek AEG AS-M3457-S(G12)-545-HV 545 Wp, orientasi modul surya dengan kemiringan 25°. Desain PLTS menggunakan inverter berjumlah 4 unit, 3 unit inverter daya 15.0 kW dan 1 unit inverter daya 20.0 kW. *Battery* yang digunakan pada PLTS berjenis lithium dengan kapasitas penyimpanan 749 kWh. Desain modul surya mendapatkan daya 127.955 kWh/tahunnya, namun di karenakan ada *losses* sebanyak 21,15 % yang terjadi pada saat proses daya sampai ke pengguna, maka ada sekitar 27.069 kWh /tahun daya yang hilang sehingga daya yang sampai pada pengguna adalah sebanyak 100.886 kWh/tahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada; Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Universitas Borneo Tarakan, yang telah memberikan dana penelitian; Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan, sebagai unit kerja; dan Dinas Lingkungan Hidup, Kabupaten Malinau, yang telah memberikan izin penelitian di gedung tersebut.

REFERENSI

- [1] Dhiyah Ayu, H., Asri, R., Yunesti, P., Sumatera, T., Terusan Ryacudu, J., Huwi Kec Jati Agung, W., & Lampung Selatan, K. (2024). Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya Bifacial: Pendekatan Sudut Inklinasi. 15(02). <https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v15i2.2352>
- [2] Hiswandi, M. F., Iswahyudi, F., & Soeroto, W. M. (2023). Analisis Kelayakan Investasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Dengan Sistem On-Grid di Pabrik Minuman Siap Saji. *Sebatik*, 27(1), 22–29. <https://doi.org/10.46984/sebatik.v27i1.2246>
- [3] Febriana Pratiwi, N., Pudir, A., & Mursanto, W. B. (2022). Perancangan PLTS Atap On Grid Kapasitas 163,8 kWp untuk Suplai Daya Industri Tekstil. Prosiding The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung.
- [4] Karuniawan, E. A., Ayu, F., Sugiono, F., Larasati, P. D., Adeguna, D., Pramurti, R. (2023). Analisis Potensi Daya Listrik PLTS Atap di Gedung Direktorat Politeknik Negeri Semarang Dengan Perangkat Lunak PVsyst. In Journal Of Energi And Electrical Engineering (JEEE) (Vol. 75, Issue 2).
- [5] Harmiansyah., Prastyo, A., Fathur Rohman, I., Muhammad, G., Julio, A., Wahyu Muarif, W., Viji Lestari, A., Sitio, F., Sari Sianturi, I., & Efendi, R. (2023). Perancangan Sistem PLTS on Grid pada Asrama Mahasiswa TB 2 Institut Teknologi Sumatera Menggunakan Software PVsyst. *Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi*, 9(2).
- [6] Burhandono, A., Windarta, J., & Sinaga, N. (2022). Perencanaan PLTS Roof Top On-Grid Untuk Gedung Kantor PLTU Amurang Sebagai Upaya Mengurangi Auxiliary Power dan Memperbaiki Nilai Nett Plant Heat Rate Pembangkit. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(2), 61–79. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.13051>
- [7] Chowdhury, N. (2017). Losses in Photovoltaic Systems: Causes and Prevention. *Renewable Energy Journal*.
- [8] Rizki, A., Jaya, A., Aryanto, N., Hidayatullah, M., Sumbawa, U. T., Fakultas, /, & Sistem, R. (2023). Analisis Rugi-rugi Daya Akibat Shadow Pada Photofoltaic di Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sengkol, Lombok (Vol. 02, Issue 02).
- [9] Yuni Rahmawati, S. (2019). Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Malang: The Learning University.
- [10] Renaldy, A. (2024, Desember 15). *Apa itu Baterai VRLA? Pengertian, Cara Kerja, dan Keunggulannya*. Diambil kembali dari Zeuss Battery: <https://zeusbattery.id/apa-itu-baterai-vrla/>
- [11] Misbahudian. (2021). skripsi utama. 43 (Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid Menggunakan Software PVsyst 7.2.0 pada Stasiun Pengisian Sepeda Listrik Teknik Elektro Universitas Brawijaya).