



Analisis Potensi Tenaga Surya Sebagai Pemanfaatan Sumber Energi Pada Rakit Rumah Apung Nelayan

Johan Pongoh¹, Hizkia Momongan², Leony Ariesta Wenno³, Arnold Robert Rondonuwu⁴, Ventje Ferdy Aror⁵, Doostenreyk Niala Kantohe⁶

^{1,2,3,4,5,6}Teknik Elektro/Politeknik Negeri Manado, Manado, Indonesia

e-mail: *¹Johanpongoh@gmail.com , ²kikimomongan@gmail.com , ³leonywenno@elektro.polimdo.ac.id ,
⁴arnoldroberttrondonuwu@gmail.com , ⁵ventjeferdaror@gmail.com ⁶doostenreyknialakantohe@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini membahas pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah apung nelayan di wilayah Malalayang, Manado, Sulawesi Utara. Kondisi geografis daerah ini memiliki potensi energi surya yang tinggi, dengan rata-rata intensitas radiasi matahari mencapai 5,73 kWh/m²/hari. Selama ini, nelayan mengandalkan generator berbahan bakar fosil yang boros dan tidak ramah lingkungan. Metode penelitian meliputi pengumpulan data iklim dan radiasi matahari, perhitungan kebutuhan energi rumah apung, serta simulasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menggunakan perangkat lunak PVsyst dan RETScreen. Sistem yang dianalisis memiliki kapasitas 4480 Wp (8 panel surya 560 Wp), inverter 4400 W, dan beban harian 1080 W selama 7 jam. Hasil simulasi menunjukkan potensi produksi energi tahunan mencapai $\pm 7,4$ MWh dengan nilai Performance Ratio 84,3%, menandakan kinerja sistem yang stabil dan efisien. Proyeksi 10 tahun memperhitungkan degradasi panel sebesar 0,5% per tahun, menghasilkan total produksi energi sekitar 68,42 MWh. Hasil ini membuktikan bahwa PLTS berpotensi menjadi solusi berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah apung nelayan. Selain mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, penerapan sistem ini juga dapat menekan biaya operasional, mendukung transisi energi bersih, serta meningkatkan kualitas hidup masyarakat pesisir.

Kata kunci - PLTS, panel Surya, Rakit Rumah Apung, Nelayan Energi Terbarukan, Potensi Tenaga Surya.

Abstract

This study discusses the use of solar energy as an alternative energy source to meet the electricity needs of fishermen's floating houses in the Malalayang area, Manado, North Sulawesi. The geographical conditions of this area have high solar energy potential, with an average solar radiation intensity reaching 5.73 kWh/m²/day. Currently, fishermen rely on fossil fuel generators that are wasteful and not environmentally friendly. The research method includes collecting climate and solar radiation data, calculating the energy needs of floating houses, and simulating a Solar Power Plant (PLTS) system using PVsyst and RETScreen software. The analyzed system has a capacity of 4480 Wp (8 solar panels of 560 Wp), a 4400 W inverter, and a daily load of 1080 W for 7 hours. The simulation results show the potential annual energy production reaches ± 7.4 MWh with a Performance Ratio value of 84.3%, indicating stable and efficient system performance. The 10-year projection takes into account panel degradation of 0.5% per year, resulting in a total energy production of approximately 68.42 MWh. These results demonstrate that solar power plants have the potential to be a sustainable solution to meet the electricity needs of fishermen's floating homes. In addition to reducing reliance on fossil fuels, implementing this system can also reduce operational costs, support the clean energy transition, and improve the quality of life for coastal communities.

Keywords - PLTS, solar panels, floating house rafts, fishermen, renewable energy, solar power potential.

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan salah satu kebutuhan dasar yang memegang peranan penting dalam kehidupan manusia, termasuk dalam mendukung aktivitas ekonomi, sosial, dan keseharian masyarakat. Di Indonesia, khususnya bagi masyarakat pesisir yang bermata pencaharian sebagai nelayan, ketersediaan energi listrik yang stabil sangat diperlukan untuk menunjang produktivitas dan kualitas hidup. Selama ini, mereka

mengandalkan generator diesel atau aki yang diisi ulang di darat, yang tidak hanya mahal tetapi juga kurang ramah lingkungan karena menghasilkan emisi karbon dan ketergantungan pada bahan bakar fosil. [1][2].

Sulawesi Utara memiliki potensi energi surya yang menjanjikan untuk pengembangan PLTS: data iklim regional menunjukkan nilai radiasi yang tinggi dan kondisi cuaca yang relatif stabil, sehingga rata-rata intensitas penyinaran harian di beberapa titik di provinsi ini berada pada kisaran yang mendukung pemanfaatan fotovoltaiik pada skala rumah tangga maupun komunitas pesisir. Data dan buletin iklim BMKG Provinsi Sulawesi Utara memperlihatkan pola radiasi yang mendukung (dengan puncak radiasi bulanan yang pada beberapa lokasi dapat melebihi 6 kWh/m² per hari pada bulan tertentu), sehingga secara umum wilayah ini sejalan dengan estimasi rata-rata nasional yang berkisar sekitar 4–5 kWh/m²/hari. Rumah apung nelayan memiliki karakteristik unik karena strukturnya yang mengapung di atas air, sehingga memerlukan pendekatan khusus dalam pemasangan sistem tenaga surya. Tantangan yang dihadapi contohnya Faktor lingkungan seperti kelembaban tinggi, paparan air asin, dan gelombang yang dapat memengaruhi daya tahan panel surya dan komponen elektronik lainnya.[3][4][5]

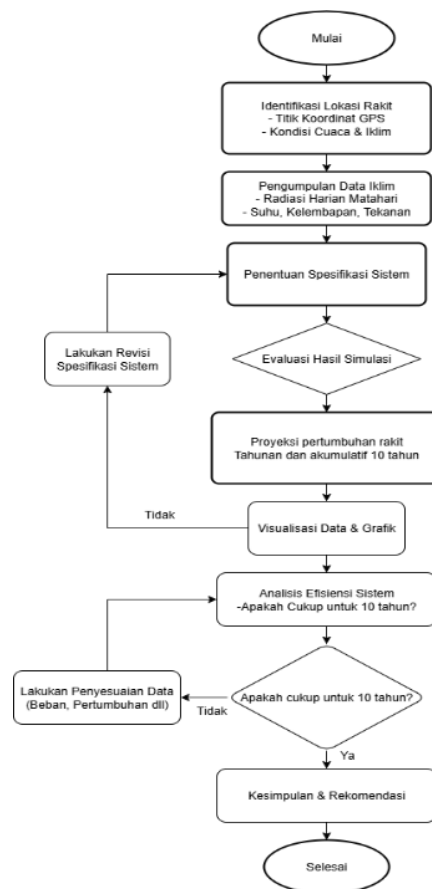
Meski secara sumber daya sinar matahari Sulawesi Utara layak untuk PLTS, adopsi teknologi—terutama pada bentuk penerapan yang spesifik seperti rumah apung nelayan—masih terbatas. Beberapa studi lapangan dan kajian teknis di wilayah timur Indonesia (termasuk penelitian hibrida solar-diesel pada pulau-pulau kecil di Sulawesi Utara) menunjukkan bahwa solusi fotovoltaiik off-grid maupun sistem hybrid telah terbukti mampu menurunkan konsumsi BBM dan meningkatkan ketersediaan listrik bagi komunitas pesisir, namun implementasi skala luas sering terkendala aspek biaya awal, kebutuhan perawatan, dan adaptasi teknis terhadap lingkungan laut.[6][7]

Selain faktor ekonomi, pemasangan PLTS pada rumah apung menghadapi tantangan teknis yang khas: paparan korosif terhadap air asin, kelembaban tinggi, osilasi gelombang yang mempengaruhi perletakan mounting dan mooring, serta kebutuhan proteksi dan akses servis yang berbeda dibanding instalasi darat. Literatur tentang PLTS terapung dan studi kelayakan proyek-proyek terapung besar di Indonesia (mis. studi techno-economic untuk proyek PLTS terapung skala besar) menegaskan bahwa desain struktur, pemilihan bahan tahan korosi, serta strategi monitoring dan pemeliharaan yang disesuaikan merupakan faktor penentu keberhasilan jangka panjang.[8] Dengan kondisi radiasi yang mendukung dan bukti keberhasilan proyek-proyek PLTS (termasuk aplikasi terapung dan sistem hybrid pada komunitas pesisir), pemanfaatan PLTS pada rumah apung nelayan di Sulawesi Utara menawarkan peluang nyata: mengurangi ketergantungan bahan bakar fosil, menekan biaya operasional jangka panjang, dan meningkatkan kualitas hidup nelayan melalui akses energi yang lebih andal. Namun, untuk merealisasikannya diperlukan pendekatan holistik—meliputi survei iklim/bidang lokasi terperinci, desain sistem yang memperhitungkan kondisi laut, perhitungan ekonomi yang inklusif (biaya modal, O&M, dan manfaat lingkungan), serta program pelatihan dan model pembiayaan yang memudahkan adopsi oleh komunitas lokal.[9]

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi energi surya sebagai sumber energi alternatif yang dapat diandalkan bagi rumah apung nelayan. Dengan memanfaatkan energi terbarukan ini, diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, menurunkan biaya operasional nelayan, serta mendukung upaya pemerintah dalam transisi energi hijau. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan energi bersih di wilayah Malalayang Satu Timur, Kota Manado, Sulawesi Utara, khususnya bagi komunitas nelayan yang selama ini masih kesulitan mendapatkan akses listrik yang stabil dan terjangkau. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan solusi teknis tetapi juga berkontribusi pada peningkatan kesejahteraan masyarakat nelayan melalui pemanfaatan sumber daya alam yang berkelanjutan. Emisi sinar matahari ketika diserap untuk transmisi kelistrikan akan mengurangi dampak polusi udara sekaligus membantu meminimalisir permintaan pasokan listrik negara.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode studi literatur, pengumpulan data sekunder, perhitungan kebutuhan energi, dan simulasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk rumah apung nelayan.

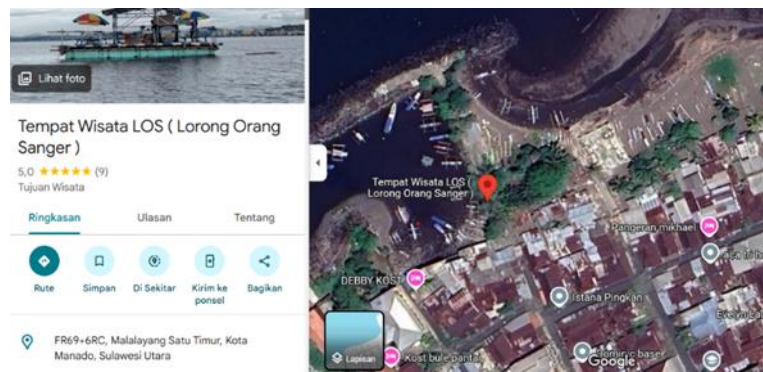


Gambar 1. *Flowchart* Penelitian.

Flowchart tersebut menggambarkan alur metodologi penelitian dalam menganalisis potensi energi surya pada rumah apung nelayan. Proses dimulai dengan identifikasi lokasi rakit, yaitu menentukan titik koordinat GPS serta kondisi cuaca dan iklim setempat. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data iklim, yang mencakup radiasi harian matahari, suhu, kelembapan, dan tekanan udara. Berdasarkan data tersebut, ditentukan spesifikasi sistem PLTS yang sesuai, seperti kapasitas panel surya, inverter, dan baterai. Tahap berikutnya adalah evaluasi hasil simulasi, di mana jika hasilnya belum sesuai, dilakukan revisi spesifikasi sistem. Setelah diperoleh hasil yang optimal, penelitian dilanjutkan dengan proyeksi pertumbuhan rakit tahunan dan akumulasi hingga 10 tahun, yang divisualisasikan dalam bentuk data dan grafik. Tahap selanjutnya adalah analisis efisiensi sistem untuk menilai apakah kapasitas PLTS cukup memenuhi kebutuhan energi hingga 10 tahun mendatang. Jika hasilnya belum mencukupi, maka dilakukan penyesuaian data seperti beban listrik atau pertumbuhan jumlah rumah apung. Akhir dari proses ini adalah kesimpulan dan rekomendasi, yang merangkum kelayakan sistem PLTS sebagai solusi energi berkelanjutan bagi nelayan pesisir.

2.1. Lokasi

Penelitian dilakukan di wilayah pesisir Malalayang, Sulawesi Utara, dengan fokus pada rumah apung nelayan. Waktu penelitian berlangsung selama ± 4 bulan.



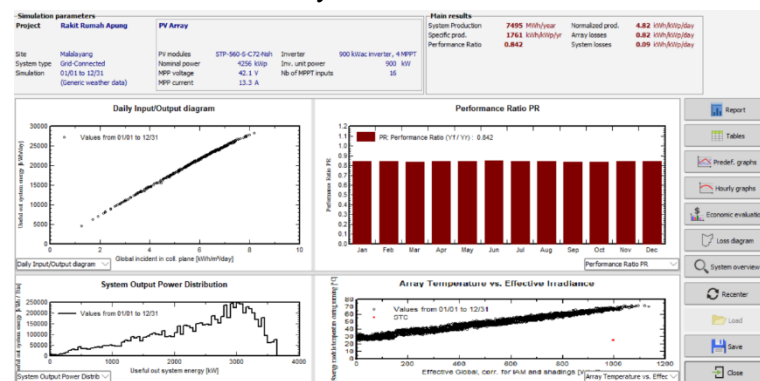
Gambar 2. Lokasi Penelitian

Penulis melakukan penelitian di kampus Politeknik Negeri Manado dan di daerah pantai (LOS) Lorong Orang Sanger Sulawesi Utara. Jangka waktu penulis melakukan penelitian adalah selama kurang lebih 4 bulan

2.2 Data Iklim

Data dan Sumber Data

- Data iklim dan radiasi surya diperoleh dari Meteonorm yang terintegrasi dalam perangkat lunak PVsyst. Berikut hasil dari simulasi PVsyst



Gambar 3. Hasil Simulasi

ditampilkan hasil dari simulasi mulai dari *daily input/output diagram*, *performance Ratio PR*, *System Output Power Distribution*, dan *Array Temperature vs Effective Irradiance*.

- teknis komponen sistem (panel surya, inverter, baterai, SCC) diperoleh dari datasheet produk dan standar pabrikan.

Menghitung total beban listrik menggunakan rumus:

$$Etot = P \times T \quad (1)$$

Dimana:

P = Daya alat listrik (Watt)

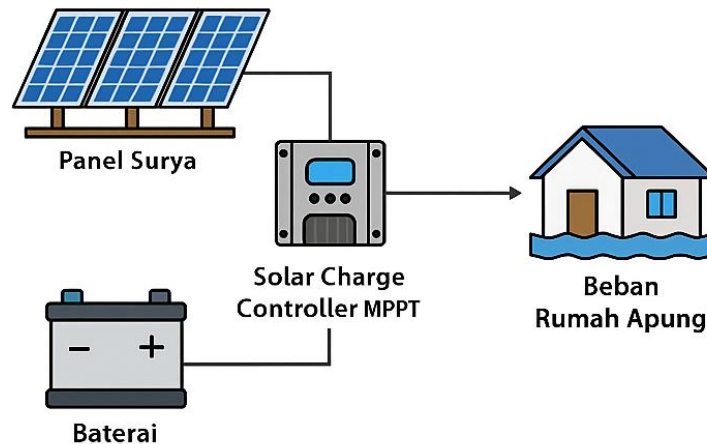
t = Lama penggunaan (jam)

$E=1080W \times 7jam=7.560Wh/hari$

Tabel 1. Parameter Penilaian

Parameter	Satuan	Keterangan
Irradiance Harian Rata-rata	kWh/m ² /day	± 5 kWh/m ² /hari (Sulut)

Energi Harian	Wh	Hasil simulasi & hitung manual
Efisiensi Sistem	%	$\pm 75\%$
Daya Beban	Watt	± 1080 Watt



Gambar 4. Diagram Sistem Tenaga Surya Rumah Apung

Berikut ini adalah penjelasan komponen pada gambar 4 :

1. **Panel Surya**
Panel surya berfungsi untuk menangkap energi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik arus searah (DC). Dalam sistem ini, panel surya menjadi komponen utama yang menghasilkan energi bersih secara berkelanjutan sesuai dengan intensitas penyinaran matahari harian.
2. **Solar Charge Controller MPPT**
Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya tidak langsung disalurkan ke beban atau baterai, melainkan terlebih dahulu diatur oleh solar charge controller MPPT (Maximum Power Point Tracking) memiliki fungsi antara lain: Mengoptimalkan daya keluaran dari panel surya dengan mengikuti titik daya maksimum(MPPT). Mengatur arus dan tegangan yang masuk ke baterai agar proses pengisian aman dan efisien.
3. **Baterai**
Berfungsi sebagai media penyimpanan energi listrik yang di hasilkan oleh panel surya pada siang hari. Energi yang tersimpan akan memasok listrik pada malam hari.
4. **Beban Rumah Apung**
Beban ini merupakan perangkat-perangkat listrik yang digunakan pada rumah apung seperti lampu-lampu, pompa air, atau peralatan elektronik lainnya.

3. PEMBAHASAN DAN HASIL

Tabel 2. Deskripsi Simulasi

Parameter	Nilai
Lokasi	Malalayang, Sulawesi Utara, Indonesia
Koordinat	1.46° LU, 124.82° BT
Sumber Data Iklim	Meteonorm 8.2 (2016–2021)
Simulasi	Grid-connected (1 Jan – 31 Des)
PV Module	(Suntech_STP_560_S_C72_Nsh.PAN (560Wp)
Inverter Module	Generic_900 kWac inverter, 4 mppt

Lokasi penelitian adalah di daerah pesisir Malalayang, Kota Manado, Sulawesi Utara. Lokasinya sekitar 1.46328° LU dan 124.81935° BT, dan sebagian besar penduduknya adalah nelayan tradisional. Sebagian besar dari mereka hidup dari aktivitas laut dengan menggunakan rakit, atau rumah apung, sebagai tempat tinggal dan penyimpanan hasil tangkapan. Kawasan ini memiliki potensi energi surya yang cukup besar sepanjang tahun, didukung oleh suhu udara tahunan rata-rata 25,6°C–26,9°C dan iklim tropis lembab.

Data iklim yang digunakan bersumber dari *Pvsyst*, serta disesuaikan dengan koordinat lokasi penelitian. Data yang digunakan ini mencakup parameter suhu udara kelembapan, tekanan atmosfer, kecepatan angin dan yang terutama intensitas radiasi matahari (GHI – *Global Horizontal Irradiance*).

Site	Malalayang (Indonesia)					
Data source	Meteonorm 8.2 (2016-2021), Sat=100%					
	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	174.3	71.5	26.9	1.20	3.778	81.7
February	148.9	73.0	26.9	1.49	3.844	80.5
March	172.6	79.5	27.2	1.40	3.865	80.2
April	172.8	76.0	26.9	1.20	3.863	83.2
May	177.7	77.9	27.5	1.20	3.737	81.2
June	170.5	68.2	26.9	1.50	3.772	81.4
July	182.6	69.1	27.4	1.89	3.827	75.9
August	192.0	75.2	27.4	2.30	3.887	73.3
September	183.6	75.1	27.0	1.60	3.935	76.5
October	186.3	80.6	27.5	1.39	4.366	77.2
November	171.4	70.1	26.9	1.19	4.036	82.2
December	158.0	77.9	27.3	1.40	3.883	81.2
Year	2090.8	894.1	27.2	1.5	3.899	79.5
Global horizontal irradiation year-to-year variability 8.8%						

Gambar 5. Data dari PVsyst

Data radiasi surya tahunan, Global horizontal irradiation (GHI) tahunan ialah 2090.8 kWh/m²/tahun, rata-rata harian GHI $2090.8/365 \approx 5.73$ kWh/m²/hari, variabilitas tahunan 8.8%. Rumus untuk menghitung energi panel per bulan:

$$E = 4.48 \times \left(\frac{GHI}{30} \right) \times 0,75 \quad (2)$$

Angka 4.48 adalah total daya panel dalam kWp. Sedangkan 0.75 adalah *performance ratio* (PR), mewakili efisiensi sistem total. Tabel 4.3 memperlihatkan bahwa data radiasi pada bulan Agustus adalah yang paling tinggi yaitu 192.0 kWh/m² sedangkan data radiasi paling rendah ada pada bulan Februari dengan 148.9 kWh/m², untuk total GHI sebesar 2090.8 kWh/m². Pada tabel energi panel per bulan, energi panel yang dihasilkan paling banyak ada di bulan Agustus dengan nilai 21.49 kWh dikarenakan pada bulan Agustus merupakan tingkat radiasi paling tinggi berbeda dengan bulan Februari pada bulan ini energi yang dihasilkan paling sedikit yaitu sebesar 16.52 kWh, total keseluruhan energi panel dalam setahun ialah 233.14 kWh

4.1. Potensi Energi Menggunakan PVsyst

1. Energi Harian Potensial

Untuk sistem 4480 Wp maka output efektif dikurangi faktor sistem (kerugian, suhu, kabel, dll) maka sekitar 75-80%. Energi harian 4480 Wp x 5.73 kWh/m²/hari x 0.75 $\approx$ 19.25 kWh/m²/hari. 19.25 kWh/m²/hari merupakan potensi energi rata-rata yang bisa di hasilkan setiap hari.

2. Energi Bulanan dan Tahunan



Energi bulanan $19.25 \times 30 \approx 577.5$ kWh/bulan sedangkan untuk energi tahunan $19.25 \times 365 \approx 7026$ kWh/tahun

Berikut ini adalah tabel perhitungan manual untuk bulanan;

Tabel 3. Perhitungan Manual Bulanan

Bulan	GHI (kWh/m ²)	Rata-rata harian GHI (kWh/m ² /hari)	Energi Panel per Hari (kWh)	Energi per Bulan (kWh)
Januari	174.3	$174.3 / 30 = 5.81$	$4.48 \times 5.81 \times 0.75 = 19.52$	$19.52 \times 30 = 585.6$
Februari	148.9	4.96	$4.48 \times 4.96 \times 0.75 = 16.68$	$16.68 \times 30 = 500.4$
Maret	172.6	5.75	$4.48 \times 5.75 \times 0.75 = 19.33$	$19.33 \times 30 = 579.9$
April	172.8	5.76	$4.48 \times 5.76 \times 0.75 = 19.35$	$19.35 \times 30 = 580.5$
Mei	177.7	5.92	$4.48 \times 5.92 \times 0.75 = 19.90$	$19.90 \times 30 = 597.0$
Juni	170.5	5.68	$4.48 \times 5.68 \times 0.75 = 19.09$	$19.09 \times 30 = 572.7$
Juli	182.6	6.09	$4.48 \times 6.09 \times 0.75 = 20.45$	$20.45 \times 30 = 613.5$
Agustus	192.0	6.40	$4.48 \times 6.40 \times 0.75 = 21.49$	$21.49 \times 30 = 644.7$
September	183.6	6.12	$4.48 \times 6.12 \times 0.75 = 20.56$	$20.56 \times 30 = 616.8$
Oktober	186.3	6.21	$4.48 \times 6.21 \times 0.75 = 20.86$	$20.86 \times 30 = 625.8$
November	171.4	5.71	$4.48 \times 5.71 \times 0.75 = 19.20$	$19.20 \times 30 = 576.0$
Desember	158.0	5.27	$4.48 \times 5.27 \times 0.75 = 17.71$	$17.71 \times 30 = 531.3$

Pada tabel 4.4 ditunjukkan dari bulan Januari sampai dengan bulan Desember hasil dari perhitungan manual mulai dari rata-rata harian GHI, energi panel perhari dan energi per bulan. Persamaan dari perhitungan rata-rata harian GHI, energi panel perhari dan energi panel per bulan adalah bahwa data yang paling rendah ada pada bulan Februari sedangkan yang paling tinggi ada pada bulan Agustus.

Untuk mengetahui berapa jumlah energi tahunan maka tinggal jumlahkan saja semua energi bulanan yang telah di dapat

$Energi\ Tahunan = 585.6 + 500.4 + 579.9 + 580.5 + 597.0 + 572.7 + 613.5 + 644.7 + 616.8 + 625.8 + 576.0 + 531.3$

$Energi\ Tahunan \approx 7424.2$ kWh/tahun

Maka total energi yang dihasilkan sistem 4480 wp adalah: ± 7424 kWh per tahun atau 7.4 MWh/tahun

Dengan mempertimbangkan variabel iklim $\pm 8.8\%$, degradasi panel tahunan $\pm 0.5-0.7\%$, dan asumsi pemeliharaan baik, maka berikut diberikan tabel proyeksi produksi energi tahunan:

Tabel 4. Prakiraan Produksi Energi

Tahun	Rumus per Tahun	Perkiraan Produksi Energi (kWh)
1	7026	7026.00
2	7026×0.995	6989.87
3	6989.87×0.995	6954.42
4	6954.42×0.995	6919.65
5	6919.65×0.995	6885.55
6	6885.55×0.995	6852.12
7	6852.12×0.995	6819.36
8	6819.36×0.995	6787.26
9	6787.26×0.995	6755.82
10	6755.82×0.995	6725.04

Rumus produksi energi dengan degradasi adalah:

$$E_{tot} = E_1 \times (1 - r)^t - 1 \quad (3)$$

Dengan $E_1 = 7026$ kWh dan $r = 0.005$

Konversi degradasi ke faktor efisiensi:

Efisiensi tahun ke-2 = $100\% - 0.5\% = 99.5\% = 0.995$.

jadi setiap tahunnya energi dikalikan dengan $1 - 0.005 = 0.995$.

Nilai 0.995 digunakan dalam rumus energi tahunan karena $0.995 = 1 - 0.005 = 100\% - \text{degradasi } 0.05\%$.



Ini penting agar proyeksi energi lebih realistis karena sistem panel surya memang menurun efisiensinya dari tahun ke tahun. Pada tahun awal dia masih penuh, untuk tahun kedua mengalami penurunan performa sekitar ~0.5% per tahun nya, karena panel surya tidak menghasilkan energi yang sama terus menerus. Total produksi dalam 10 tahun ~68.42 MWh. Hasil dari 68.42 MWh didapatkan dari:

$$E_{total} = 7026 + 6989.87 + 6954.42 + 6919.65 + 6885.55 + 6852.12 + 6819.36 + 6787.26 + 6755.82 + 6725.04$$
$$E_{total} = 68415.09 \text{ kWh} = 68.42$$

1. Beban: 1080watt
2. Durasi: 7jam/hari

Maka

$$E_{beban \text{ harian}} = 1080 \text{ W} \times 7 \text{ jam} = 7.560 \text{ Wh} = 7,56 \text{ kWh/hari}$$
$$E_{beban \text{ tahunan}} = 7,56 \times 365 = 2.759 \text{ kWh/tahun}$$

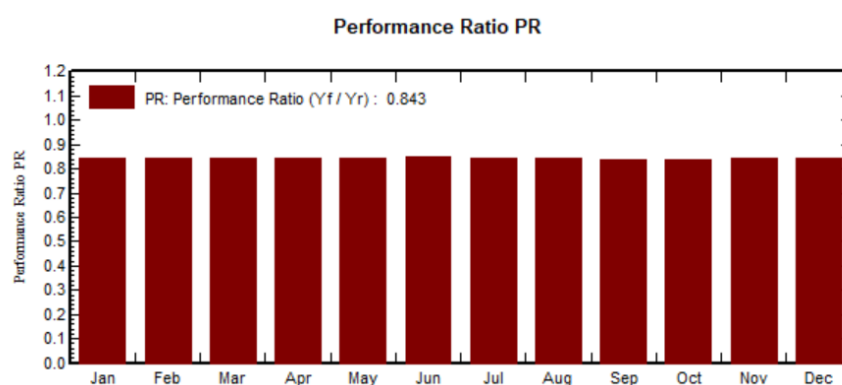
Berikut proyeksi jumlah rumah apung yang dapat dialiri oleh sistem tenaga surya jika sistem diperluas setiap tahunnya.

Tabel 5. Proyeksi 10 Tahun

Tahun	Penambahan PV Sistem	Total Rumah Apung Terjangkau	Total Kapasitas PV (kWp)	Total Produksi Energi (kWh/tahun)
1	0	1	4.48	7026
2	1	2	8.96	14052
3	1	3	13.44	21078
4	1	4	17.92	28104
5	1	5	22.4	35130
6	1	6	26.88	42156
7	1	7	31.36	49182
8	1	8	35.84	56208
9	1	9	40.32	63234
10	1	10	44.8	70260

Proyeksi 10 tahun kedepan memungkinkan adanya penambahan 1 rumah apung baru tiap tahunnya dengan sistem panel surya $8 \times 560 = 4480 \text{ Wp}$ (4.48 kWp), dengan tambahan PV tiap tahunnya juga 1 (satu).

Grafik Performance Ratio (PR)

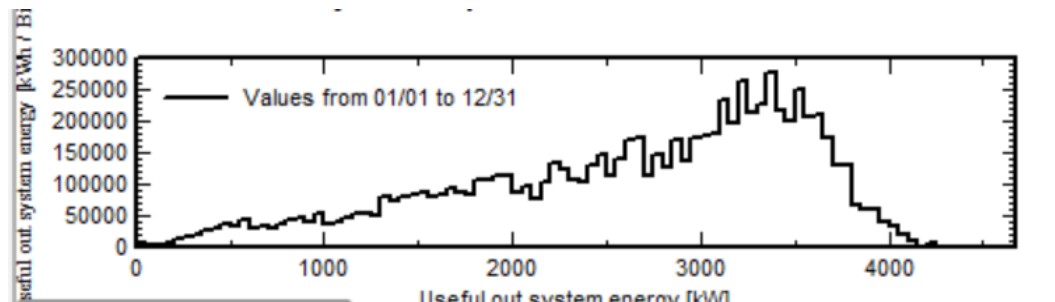


Gambar 6. Grafik Performance Ratio

Grafik ini menunjukkan rasio kinerja bulanan sistem fotovoltaik (PR) dari bulan januari hingga bulan Desember. PR diukur sebagai sistem rasio antara energi aktual yang dihasilkan dengan energi teoritis maksimum yang bisa dihasilkan jika sistem bekerja sempurna. Nilai PR tahunan adalah 0.843 atau 84,3%. Semua bulan memiliki nilai PR yang stabil dan tinggi, yaitu sekitar 0.84-0.85, yang menunjukkan performa

sistem yang konsisten sepanjang tahun. Jika $PR=1$ itu berarti sistem bekerja dengan ideal 100%, sedangkan PR sekitar angka 0.8-0,85 seperti yang terlihat pada gambar 4.1 menunjukkan sistem sangat efisien dan sehat, karena hanya kehilangan 15-20% akibat faktor teknis seperti suhu, kabel, inverter, debu, dll. Sekarang coba bayangkan bahwa sistem panel surya itu seperti seorang pekerja yang rajin, yang hampir tiap hari bekerja dengan konsistensi yang tinggi, tidak peduli apakah bulan Januari lebih mendung atau bulan Agustus yang lebih cerah. Nilai PR yang konsisten menunjukkan bahwa sistem tersebut kuat, dan mampu beradaptasi dengan kondisi cuaca di daerah Malalayang, Manado.

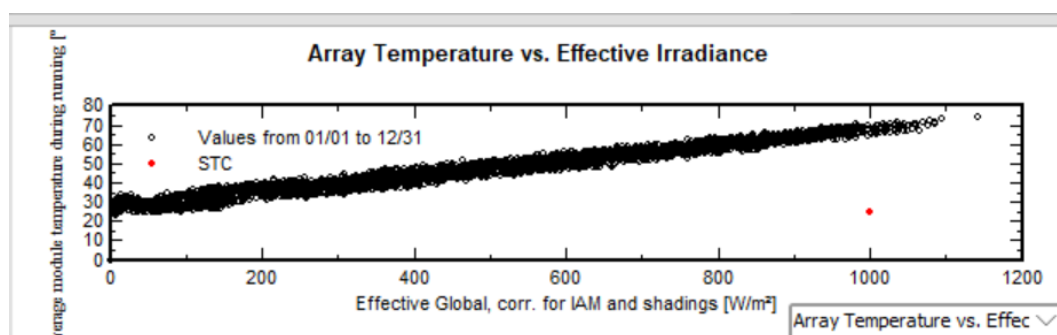
Sistem Output Power



Gambar 7. Sistem Output Power Distribution

Grafik pada gambar 4.2 menunjukkan distribusi frekuensi keluaran daya dari sistem tenaga surya selama rentang waktu satu tahun, mulai dari tanggal 01 Januari hingga 31 Desember. Sumbu horizontal menunjukkan energi keluaran sistem per hari dalam satuan kW, sementara sumbu vertical menunjukkan jumlah waktu (atau hari) energi tersebut tercapai, dalam bentuk histogram (bar chart frekuensi). Kebanyakan energi keluaran sistem berada di antara 2000 hingga 3500 kWh/hari. Puncak dari distribusi (frekuensi tertinggi) berada di sekitar 3000 kWh/hari, artinya dalam banyak hari sepanjang tahun, sistem menghasilkan daya sebanyak itu. Di sisi kiri, terlihat bahwa sangat jarang sistem menghasilkan energi di bawah 1000 kWh, menunjukkan bahwa sistem bekerja secara stabil dan tidak banyak hari dengan performa rendah. Energi keluaran juga jarang melebihi 4000 kWh/hari, yang mungkin terjadi hanya pada kondisi radiasi maksimum dan cuaca optimal. Distribusi ini memperlihatkan keadaan sistem, mayoritas hari menunjukkan performa tinggi, yang artinya sistem ini sangat cocok untuk digunakan dalam jangka panjang, seperti di proyek rumah apung nelayan di Malalayang. Kita tidak hanya melihat output tinggi sesekali melainkan konsistensi produksi energi yang sangat baik sepanjang tahunnya.

Sistem Array Temperature



Gambar 8. Sistem Array Temperature



Selama periode operasi dari January hingga December, gambar ini menunjukkan hubungan antara sinar matahari efektif (Effective Irradiance) dan panel suhu modul. Sumbu vertikal menunjukkan suhu panel dalam derajat Celsius, sedangkan sumbu horizontal menunjukkan radiasi efektif dalam watt per meter persegi. Kondisi standar pengujian (STC), yang memiliki radiasi 1000 W/m² dan suhu 25°C, ditunjukkan dengan titik merah. Suhu modul jelas meningkat secara linier dengan peningkatan radiasi efektif tinggi. Panel modul biasanya memiliki suhu antara 25°C dan 65°C, dengan beberapa titik ekstrim yang mencapai 80°C dengan tingkat radiation yang sangat tinggi. Karena kondisi (titik hitam) hampir identik dengan titik STC, panel sedikit lebih tinggi daripada uji standar. Ini merupakan informasi krusial, ketika suhu panel meningkat, efisiensi panel menurun. Karena itu, meskipun matahari bersinar terik dan radiasi tinggi, suhu yang terlalu tinggi justru bisa menurunkan performa sistem jika tidak diantisipasi misalnya, dengan ventilasi yang baik atau penempatan sistem yang optimal di laut. Dalam konteks rumah apung di Malalayang, ini memberikan wawasan bahwa lokasi laut bisa menjadi keunggulan alami karena angin laut dapat membantu menurunkan suhu panel.

4.2 Potensi Energi Listrik Secara Manual (RetScreen)

Diketahui ;

Daya total panel: 4480 Wp = 4,48kWp

2. Performance Ratio (PR): diasumsikan 0.843

3. Data iradiasi rata-rata harian tiap bulan (kWh/m²/hari):

Dari tabel 4.5 dapat dilihat bahwa radiasi harian paling tinggi itu ada pada bulan September sedangkan yang paling rendah ada pada bulan Januari.

Tabel 6. Tabel Data RETScreen

Bulan	Iradiasi Harian (kWh/m ² /d)	Hari/Bulan
Januari	5.14	31
Februari	5.50	29 (karena 2024 kabisat)
Maret	5.91	31
April	6.29	30
Mei	6.00	31
Juni	5.88	30
Juli	5.92	31
Agustus	5.64	31
September	6.63	30
Oktober	6.23	31
November	5.79	30
Desember	5.20	31

Kategori intensitas:

< 85 W/m² = Kurang

85 – 95 W/m² = Cukup

95 – 105 W/m² = Baik

> 105 W/m² = Sangat Baik

Awal tahun (Januari-Maret) menunjukkan nilai intensitas cukup tinggi, berkisaran antara 98-102 W/m², sehingga dikategorikan (Baik)

Pertengahan tahun (April-Juli) mengalami penurunan ke 88-94 W/m² sehingga dikategorikan (Cukup)

Agustus dan Oktober menjadi bulan dengan intensitas terendah, masing-masing 83,75 W/m² dan 82,50 W/m², sehingga masuk kategori (Kurang)

Akhir tahun (November-Desember) kembali naik ke sekitar 93,75 W/m², yang berarti cukup stabil meski belum setinggi awal tahun.

Intensitas rata-rata sepanjang tahun berada di kisaran 82-102 W/m², dengan puncak terbaik di Februari, dan titik terendah di Oktober

4. KESIMPULAN

1. Penulis mampu mengevaluasi potensi energi surya dalam memenuhi kebutuhan energi rumah apung nelayan di Sulawesi Utara. Evaluasi menunjukkan bahwa wilayah Sulawesi Utara, khususnya Malalayang, memiliki potensi radiasi matahari yang cukup tinggi dan stabil sepanjang tahun, sehingga sangat mendukung implementasi sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) untuk rumah apung nelayan. Dengan pemanfaatan energi surya, kebutuhan listrik rumah apung sebesar 1080 W dapat terpenuhi secara mandiri dan berkelanjutan.
2. Simulasi dan perhitungan untuk jangka waktu 10 tahun ke depan memberikan gambaran yang jelas mengenai performa sistem tenaga surya yang dirancang. Sistem dengan kapasitas panel surya sebesar 4480 Wp mampu menghasilkan energi hingga sekitar 68,4 MWh selama satu dekade. Selain itu, proyeksi ini turut mempertimbangkan efisiensi sistem dari waktu ke waktu serta kemungkinan pertumbuhan jumlah rumah apung yang dapat dilayani oleh sistem tersebut.
3. Perancangan sistem tenaga surya dilakukan dengan memperhatikan kondisi dan kebutuhan spesifik rumah apung nelayan, mulai dari kapasitas daya yang dibutuhkan, jenis inverter, hingga spesifikasi baterai penyimpanan energi. Rangkaian sistem yang terdiri dari 8 panel surya (560 Wp per panel), inverter 4400 W, dan baterai 24V 400Ah terbukti mampu menyediakan energi yang cukup untuk mendukung aktivitas harian para nelayan, termasuk pada malam hari.

5. SARAN

Penulis menyarankan hal-hal berikut berdasarkan temuan penelitian:

1. Optimalisasi Sistem Untuk mengurangi kehilangan akibat debu dan kelembapan laut yang tinggi di pesisir, sistem pemeliharaan panel harus dikaji secara menyeluruh.
2. Diversifikasi Beban Agar nilai ekonomis sistem meningkat, penggunaan sistem sebaiknya dialihkan ke beban produktif seperti pompa air, sistem komunikasi, atau pengawetan hasil tangkapan selain pencahayaan.
3. Kebijakan dan Dukungan Pemerintah Disarankan agar pemerintah daerah memulai inisiatif untuk mendukung masyarakat pesisir dengan energi terbarukan. Program ini dapat mencakup subsidi untuk instalasi panel surya dan dukungan teknis untuk operasional dan perawatan.
4. Monitoring dan Evaluasi Untuk memantau kinerja sistem secara real-time dan memudahkan pemeliharaan, disarankan untuk memasang sistem monitoring energi berbasis Internet of Things (IoT).

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih pada pihak-pihak yang telah berkontribusi dalam proses penelitian yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Dlukha Nurcholik, H. Aprillia, K. Sugiarto, and J. Al Falah, "Desain PLTS 300 Watt off-Grid Pada Perahu Nelayan sebagai Sumber Energi Listrik," *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 5, no. 1, pp. 5940–5947, 2025.
- [2] M. Ariansyah Putra and E. Prabowo, "Analisis Kelayakan Proyek Pembangunan Pusat Listrik Tenaga Surya (PLTS) Apung Tembesi 40 MWp di Sistem Kelistrikan Batam – Bintan," *J. Amplif. J. Ilm. Bid. Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 15, no. 1, pp. 9–18, 2025, doi: 10.33369/jamplifier.v15i1.35885.
- [3] STASIUN KLIMATOLOGI SULAWESI UTARA, "Buletin Iklim & Kualitas Udara Provinsi Sulawesi Utara Edisi Desember 2024," 2024, [Online]. Available: <https://staklim-sulut.bmkg.go.id/wp-content/uploads/2025/01/Buletin-Edisi-Desember.pdf>
- [4] A. R. Rio, B. M. Siahaan, and E. Gani, "Pemetaan Potensi Energi Matahari di Sulawesi Utara menggunakan Machine Learning K-Means," *J. Mipa*, vol. 14, no. 1, pp. 1–5, 2025.



- [5] A. A. Sasmanto, T. Dewi, and Rusdianasari, "Eligibility Study on Floating Solar Panel Installation over Brackish Water in Sungsang, South Sumatra," *Emit. Int. J. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 1, pp. 240–255, 2020, doi: 10.24003/emitter.v8i1.514.
- [6] M. Ilham Amba and R. Dalimi, "Economic Analysis of Hybrid Power Plant (Solar-Diesel) on Kawaluso Island, North Sulawesi," *J. EECCIS (Electrics, Electron. Commun. Control. Informatics, Syst.)*, vol. 17, no. 1, pp. 13–21, 2023, doi: 10.21776/jeeccis.v17i1.1633.
- [7] D. Bidang Klimatologi Badan Meteorologi and D. Geofisika Jakarta, "Catatan Iklim Dan Kualitas Udara Indonesia 2024," pp. 1–104, 2024, [Online]. Available: [https://iklim.bmkg.go.id/bmkgadmin/storage/buletin/Catatan Iklim dan Kualitas Udara 2024 BMKG.pdf](https://iklim.bmkg.go.id/bmkgadmin/storage/buletin/Catatan%20Iklim%20dan%20Kualitas%20Udara%202024/BMKG.pdf)
- [8] T. M. Kibtiah, A. Bainus, G. D. P. Dewi, M. F. Abdul Rachman, K. M. Suitela, and D. R. Hasan, "Floating Solar Power Plants Potential in Indonesia," *J. Renew. Energy Environ.*, vol. 11, no. 3, p. 11, 2024, [Online]. Available: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>
- [9] D. F. Silalahi, A. Blakers, M. Stocks, B. Lu, C. Cheng, and L. Hayes, "Indonesia's vast solar energy potential," *Energies*, vol. 14, no. 17, 2021, doi: 10.3390/en14175424.