

Perancangan PLTS *Rooftop* untuk Pemakaian Sendiri (PS) di PLTU Berau 2 × 7 MW

Irwan Firmanto Nainggolan¹, Jaka Windarta¹, Nazaruddin Sinaga²

¹Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro;

²Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro;

Email : irwannainggolan@students.undip.ac.id (I.F.N), jakawindarta@lecturer.undip.ac.id (J.W),
nazarsinaga@lecturer.undip.ac.id (N.S);

Abstrak : PLTU Berau 2 × 7 MW terletak di Kelurahan Teluk Bayur Kecamatan Teluk Bayur Kabupaten Berau Provinsi Kalimantan Timur yang *Operation & Maintenance*-nya di Kelola oleh PT. Indonesia Power. PLTU Berau 2 × 7 MW mensuplai energi listrik ke sistem jaringan isolated 20 KV Tanjung redeb. Konsumsi daya listrik (Pemakaian Sendiri) rata-rata sebesar 10.419.942,030 kWh/tahun. Salah satu program untuk menurunkan konsumsi pemakaian sendiri dan untuk mendukung kebijakan peningkatan Energi Baru Terbarukan (EBT) dalam bauran energi nasional hingga 23% pada tahun 2025 yaitu dengan pemasangan PLTS *Rooftop*. Kawasan PLTU Berau 2 × 7 MW memiliki nilai radiasi rata-rata sebesar 4,67 kWh/m²/hari sepanjang tahun 2020 dan rata-rata 3,9 kWh/m²/hari dalam rentang 22 tahun. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui potensi energi surya yang dapat dihasilkan dilokasi *Rooftop* PLTU Berau 2 × 7 MW dengan menggunakan simulasi *software HelioScope*. Dari hasil simulasi diperoleh potensi energi listrik yang dapat dihasilkan adalah 570.364 kWh/tahun.

Kata Kunci : PLTU Berau 2 × 7 MW, PLTS *Rooftop*, *HelioScope*

Abstract : Steam Power Plant Berau 2 × 7 MW is located in Teluk Bayur Village, Teluk Bayur District, Berau Regency, East Kalimantan Province whose *Operation & Maintenance* is managed by PT. Indonesian Power. Steam Power Plant Berau 2 × 7 MW supplies electrical energy to the isolated 20 KV Tanjung Redeb grid system. The average self-consumption of electrical power is 10,419,942.030 kWh/year. One of the programs to reduce self-consumption and supporting government programs to achieve the 23% *renewable energy* mix target by the end of 2025 is the installation of Solar Power Plant *Rooftop*. The Steam Power Plant Berau 2 × 7 MW area has an average radiation value of 4.67 kWh/m²/day throughout 2020 and an average of 3.9 kWh/m²/day over a span of 22 years. The purpose of this study is to determine the potential of solar energy that can be produced at the *Rooftop* location

Jurnal Energi Baru & Terbarukan, 2022, Vol. 3, No. 3, pp 187 – 200

Received : 08 Agustus 2022

Accepted : 12 September 2022

Published : 31 Oktober 2022



Copyright: © 2022 by the authors. [Jurnal Energi Baru dan Terbarukan](#) (p-ISSN: [2809-5456](#) and e-ISSN: [2722-6719](#)) published by Master Program of Energy, School of Postgraduate Studies. This article is an open access article distributed under the terms and condition of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#) (CC BY-SA 4.0).

of the Steam Power Plant Berau 2×7 MW using *HelioScope software* simulation. From the simulation results, the potential for electrical energy that can be generated is 570,364 kWh/year.

Keywords : Steam Power Plant Berau 2×7 MW, Rooftop Solar Power Plant, *HelioScope*

1. Pendahuluan

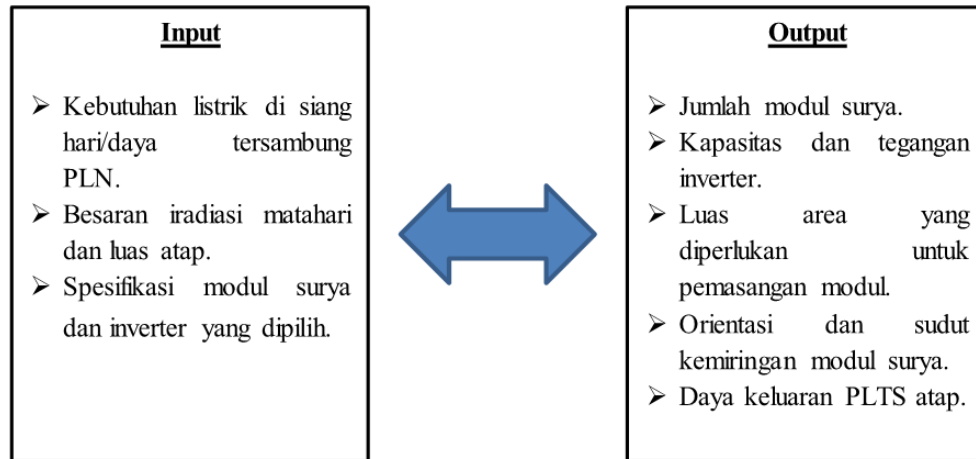
Sistem fotovoltaik mengubah radiasi sinar matahari menjadi listrik. Semakin tinggi intensitas radiasi (iradiasi) matahari yang mengenai sel fotovoltaik, semakin tinggi daya listrik yang dihasilkannya (SNI 8395:2017). Dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), melalui Peraturan Presiden Nomor 79 tahun 2014, Pemerintah Indonesia menetapkan kebijakan peningkatan pangsa energi terbarukan dalam bauran energi nasional hingga 23% pada tahun 2025. Untuk mendukung upaya tersebut, terutama di bidang pemanfaatan energi surya, pemerintah telah mengeluarkan beberapa kebijakan teknis sebagai landasan pelaksanaannya, salah satunya melalui Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 49 tahun 2018, Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 tahun 2019, Peraturan Menteri ESDM Nomor 16 tahun 2019, tentang penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga surya atap oleh pelanggan PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) Persero. Hampir seluruh wilayah Indonesia memiliki potensi pengembangan pembangkit listrik tenaga Surya (PLTS) dengan daya rata-rata mencapai 4 kWh/m². Berdasarkan wilayah, kawasan barat Indonesia memiliki potensi sekitar 4,5 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan mencapai 10%. Sedangkan Kawasan timur Indonesia memiliki potensi sekitar 5,1 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Adapun potensi tenaga surya secara nasional mencapai 4,8 kWh/m²/hari atau setara dengan 207.898 MW (Dewan Energi Nasional, 2020).

Tabel 1.
Potensi Energi Surya (Dewan Energi Nasional, 2020)

No.	Provinsi	Potensi	No.	Provinsi	Potensi
1	Kalimantan Barat	20.113	18	Sumatera Barat	5.898
2	Sumatera Selatan	17.233	19	Kalimantan Utara	4.643
3	Kalimantan Timur	13.479	20	Sulawesi Tenggara	3.917
4	Sumatera Utara	11.851	21	Bengkulu	3.475
5	Jawa Timur	10.335	22	Maluku Utara	3.036
6	Nusa Tenggara Barat	9.931	23	Bangka Belitung	2.810
7	Jawa Barat	9.099	24	Banten	2.461
8	Jambi	8.847	25	Lampung	2.238
9	Jawa Tengah	8.753	26	Sulawesi Utara	2.113
10	Kalimantan Tengah	8.459	27	Papua	2.035
11	Aceh	7.881	28	Maluku	2.020
12	Kepulauan Riau	7.763	29	Sulawesi Barat	1.677
13	Sulawesi Selatan	7.588	30	Bali	1.254
14	Nusa Tenggara Timur	7.272	31	Gorontalo	1.218
15	Papua Barat	6.307	32	DI Yogyakarta	996
16	Sulawesi Tengah	6.187	33	Riau	753
17	Kalimantan Tengah	6.031	34	DKI Jakarta	225

2. Perencanaan Pemasangan PLTS

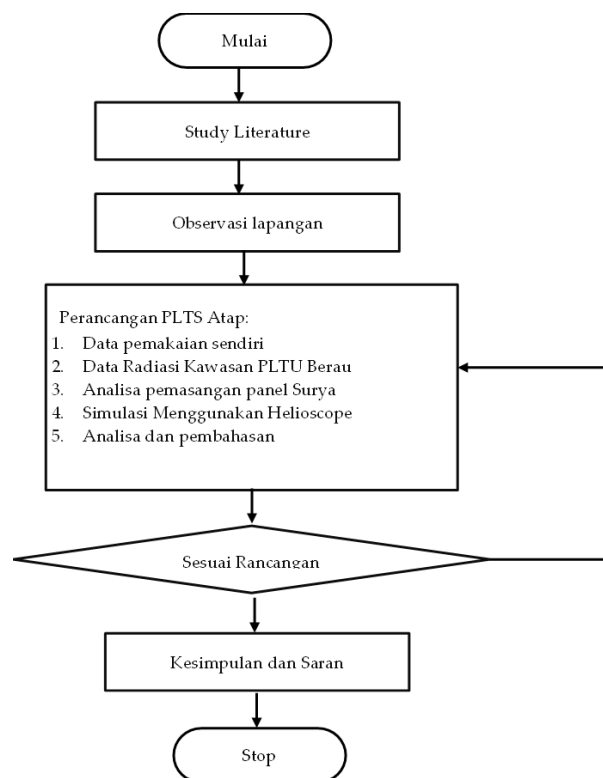
Dalam perencanaan sistem PLTS atap, diperlukan input data-data dan proses perhitungan teknis untuk mendapatkan konfigurasi sistem sesuai kebutuhan listriknya. Hasil dari perhitungan konfigurasi sistem ini nantinya menentukan RAB pemasangan PLTS atap secara rinci (USAAID ICED II, 2020).



Gambar 1. Data *Input* – *Output* dalam Perancangan PLTS

3. Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan berupa pengumpulan data secara langsung melalui survey lokasi dalam tahapan perencanaan untuk selanjutnya dilakukan perancangan sistem secara manual dan disimulasikan menggunakan *software HelioScope*.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Dalam perancangan PLTS *Rooftop* dilakukan beberapa tahapan, diantaranya:

- 1) Melakukan study literature teknologi PLTS.
- 2) Observasi Kawasan PLTU Berau.
- 3) Melakukan perancangan PLTS *Rooftop*.
- 4) Membuat kesimpulan, saran dan rekomendasi.

3.1. Study Literatur

Literatur yang menjadi acuan atau referensi dalam penulisan dalam penelitian ini adalah literatur terkait *renewable energy* dengan didukung oleh referensi yang kuat mengenai tenaga surya, studi pergerakan matahari dan bagaimana cara menganalisisnya, kemudian pengaruh efisiensi jenis bahan terutama ketiga bahan yang kita kenal yakni *Thin Film Solar Cell*, *Polycrystalline Silicon* dan *Monocrystalline Silicon* terhadap radiasi yang diserap, perancangan PLTS yang didukung oleh persamaan matematis yang digunakan hingga ke pembangkitan listrik. Selain literatur terkait perancangan PLTS, juga mencari data satelit yang dapat menampilkan data iklim, suhu serta yang paling penting adalah radiasi dikawasan PLTU Berau.

3.2. Observasi Lapangan

Lokasi PLTU Berau terletak pada *latitude* 2,1566173549604875 dan *longitude* 117,39300015463806, di Kelurahan Teluk Bayur Kecamatan Teluk Bayur Kabupaten Berau Provinsi Kalimantan Timur. Pengamatan pada lokasi diperlukan mengingat untuk perancangan PLTS harus mempertimbangkan dan memperhatikan iklim, lokasi, pergerakan matahari dan jenis material yang digunakan.



Gambar 3. Tampak Citra Satelit *Google Maps* PLTU Berau

3.3. Data Pemakaian Sendiri (Konsumsi Daya)

Konsumsi daya listrik Pemakaian Sendiri rata-rata sebesar 10.419.942,030 kWh/tahun.

3.4. Data Radiasi Kawasan PLTU Berau

Data intensitas radiasi matahari (memiliki peran yang penting dalam pemodelan). Tabel 2 menunjukkan nilai radiasi rata-rata Kawasan PLTU Berau sepanjang tahun 2020 Adalah sebesar 4,67 kWh/m²/hari.

Tabel 2.
Data Radiasi Matahari pada Kawasan PLTU Berau 2020 (Nasa, 2021)

Bulan	Radiasi Matahari (kWh/m ² /hari)
Januari	4,28
Februari	4,63
Maret	4,84
April	5,20
Mei	4,78
Juni	4,50
Juli	4,59
Agustus	5,33
September	4,67
Oktober	4,44
November	4,85
Desember	4,27
Rata-Rata	4,67

Sedangkan data radiasi di Kawasan PLTU Berau selama 22 tahun terakhir sebesar 3,9 kWh/m²/hari. Dapat disimpulkan bahwa kawasan PLTU Berau mengalami kenaikan yang signifikan.



Gambar 4. Rata – Rata Radiasi Kawasan PLTU Berau dalam 22 Tahun Terakhir (Nasa, 2021)

3.5. Perhitungan Pemasangan Panel Surya

Idealnya, panel surya dapat bekerja secara maksimal apabila kondisi sel terjaga pada suhu 25°C sehingga sistem panel Surya dapat bekerja secara efisien. Untuk menjaga suhu pada panel Surya tersebut, maka kita dapat mengantisipasinya dengan memperhitungkan desain jarak antar panel serta jarak di antara panel dengan atap atau genteng di bagian bawahnya. Penyebab kurang optimalnya kerja sel Surya adalah sebagai berikut:

- 1) Temperatur *Ambient*.
- 2) Radiasi solar matahari.
- 3) Kecepatan angin bertiup.
- 4) Keadaan atmosfer bumi.
- 5) Orientasi panel atau array PV (*photovoltaic*).
- 6) Posisi letak sel surya terhadap matahari.

Persamaan matematis yang digunakan untuk menghitung daya yang berkurang pada saat suhu di sekitar panel mengalami kenaikan °C dari temperature standar :

$$P_{\text{saat naik } ^\circ\text{C}} = 0,5\% \text{ per } ^\circ\text{C} \times P_{\text{MPP}} \times \Delta t \quad (1)$$

Persamaan matematis yang digunakan untuk menghitung daya keluaran maksimum panel surya pada saat suhu naik menjadi t°C dari suhu standar :

$$P_{\text{MPP saat naik menjadi t}^\circ\text{C}} = P_{\text{MPP}} - P_{\text{saat naik } ^\circ\text{C}} \quad (2)$$

Faktor koreksi temperatur dihitung sebagai berikut :

$$\text{TCF} = \frac{P_{\text{MPP saat naik menjadi t}^\circ\text{C}}}{P_{\text{MPP}}} \quad (3)$$

Perhitungan *Area Array* (PV *Area*) Luas *area array* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Area Array} = \frac{W}{G_{\text{av}} \times \eta_{\text{pv}} \times \text{TCF} \times \eta_{\text{out}}} \quad (4)$$

Persamaan matematis yang digunakan untuk menghitung besar daya yang dihasilkan PLTS (Watt Peak):

$$P_{\text{Watt-Peak}} = \text{Area Array} \times \text{PSI} \times \eta_{\text{pv}} \quad (5)$$

Persamaan matematis yang digunakan untuk menghitung Jumlah modul sel surya yang akan digunakan :

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P_{\text{Watt-Peak}}}{P_{\text{MPP}}} \quad (6)$$

3.6. Simulasi HelioScope

HelioScope memiliki desain 3D untuk memastikan ketepatan pada gambar sehingga mengetahui adanya perubahan dalam mendesain. Prinsip kerja dari simulasi ini menggunakan data input berupa spesifikasi teknis PLTS seperti teknologi modul surya, jenis inverter, jumlah dan jenis modul yang akan digunakan, dan luas area PLTS, sedangkan data lokasi PLTS mencakup koordinat, jenis atap bangunan.

4. Analisa dan Pembahasan

Lokasi pemasangan PLTS juga dipertimbangkan untuk menentukan arah hadapan panel surya, apakah menghadap utara atau selatan, dengan kemiringan tertentu sehingga diperoleh hasil yang efektif.



Gambar 5. Pembagian *Field Segment* Atap pada Gedung Kawasan PLTU Berau

Dari simulasi menggunakan *software HelioScope* pada gambar 5 akan didapatkan data jumlah modul terpasang tiap segmen, kapasitas terpasang tiap segmen, tipe *mounting* modul surya, orientasinya, dan daya yang dihasilkan tiap segmen.

Tabel 3 menunjukkan bahwa kawasan atap PLTU Berau terbagi menjadi 21 *field segment* dengan *orientation* 4 panel Surya *Landscape* (Horizontal) dan 17 panel Surya *Portrait* (Vertikal). Jumlah *frames* dan *modules* sebanyak 732 dan kapasitas terpasang sebesar 483,1 kWp. Hal selanjutnya yang perlu diperhatikan adalah modul Surya, pemilihan modul Surya disesuaikan dengan ketersediaan module surya yang terdapat pada database *HelioScope*. Modul surya yang dipilih dalam simulasi ini yaitu TD8G66M 132 *half cell* 660 (660 Watt).

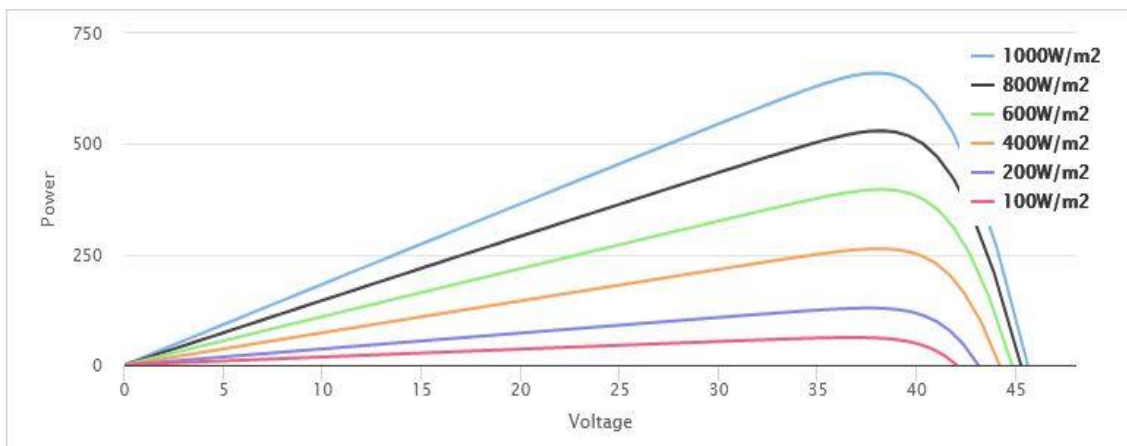
Tabel 3.
 Data Perancangan PLTS *Rooftop* di Kawasan PLTU Berau

<i>Field</i>	<i>Racking</i>	<i>Orientation</i>	<i>Tilt</i>	<i>Azimuth</i>	<i>Intrarow Spacing</i>	<i>Frame Size</i>	<i>Frames</i>	<i>Module</i>	<i>Power (kW)</i>
1	<i>Flush Mount</i>	<i>Landscape</i>	1°	25°	0,0 ft	1 × 1	29	29	19,10
2	<i>Flush Mount</i>	<i>Landscape</i>	1°	25°	2,0 ft	1 × 1	26	26	17,20
3	<i>Flush Mount</i>	<i>Portrait</i>	1°	25°	2,0 ft	1 × 1	16	16	10,60
4	<i>Flush Mount</i>	<i>Portrait</i>	1°	30°	2,0 ft	1 × 1	11	11	7,26
5	<i>Flush Mount</i>	<i>Portrait</i>	1°	25°	2,0 ft	1 × 1	23	23	15,20
6	<i>Flush Mount</i>	<i>Portrait</i>	1°	25°	2,0 ft	1 × 1	20	20	13,20
7	<i>Flush Mount</i>	<i>Landscape</i>	1°	25°	2,0 ft	1 × 1	72	72	47,50
8	<i>Flush Mount</i>	<i>Landscape</i>	1°	25°	2,0 ft	1 × 1	119	119	78,50
9	<i>Flush Mount</i>	<i>Portrait</i>	1°	25°	2,0 ft	1 × 1	172	172	113,50
10	<i>Flush Mount</i>	<i>Portrait</i>	1°	25°	2,0 ft	1 × 1	133	133	87,80
11	<i>Flush Mount</i>	<i>Portrait</i>	1°	25°	2,0 ft	1 × 1	15	15	9,90
12	<i>Flush Mount</i>	<i>Portrait</i>	1°	25°	2,0 ft	1 × 1	24	24	15,80
13	<i>Flush Mount</i>	<i>Portrait</i>	1°	25°	2,0 ft	1 × 1	12	12	7,92
14	<i>Flush Mount</i>	<i>Portrait</i>	1°	25°	2,0 ft	1 × 1	6	6	3,96
15	<i>Flush Mount</i>	<i>Portrait</i>	1°	25°	2,0 ft	1 × 1	12	12	7,92
16	<i>Flush Mount</i>	<i>Portrait</i>	1°	25°	2,0 ft	1 × 1	8	8	5,28
17	<i>Flush Mount</i>	<i>Portrait</i>	1°	25°	2,0 ft	1 × 1	10	10	6,60
18	<i>Flush Mount</i>	<i>Portrait</i>	1°	25°	2,0 ft	1 × 1	10	10	6,60
19	<i>Flush Mount</i>	<i>Portrait</i>	1°	25°	2,0 ft	1 × 1	5	5	3,30
20	<i>Flush Mount</i>	<i>Portrait</i>	1°	25°	2,0 ft	1 × 1	5	5	3,30
21	<i>Flush Mount</i>	<i>Portrait</i>	1°	25°	2,0 ft	1 × 1	4	4	2,64

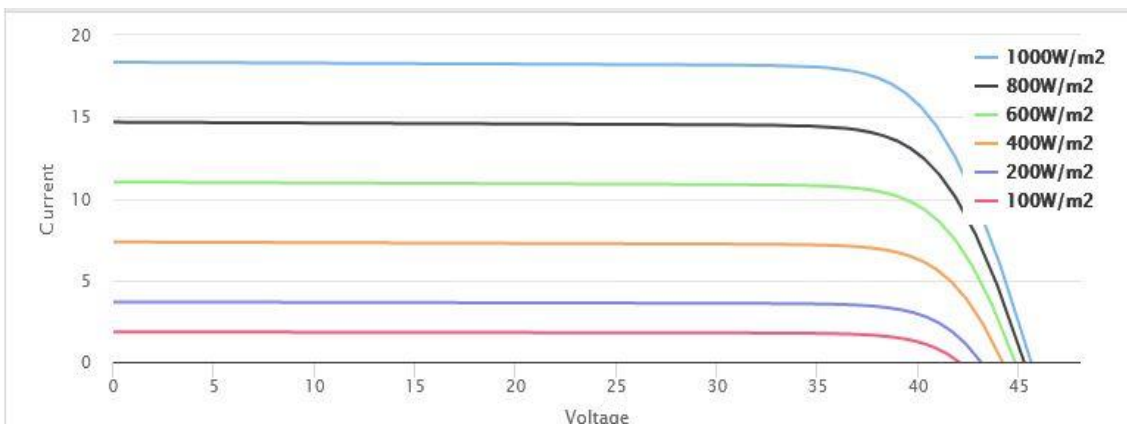
Tabel 4.
 Spesifikasi Modul Surya TD8G66M 132 *Half Cell* 660 (660 Watt)

<i>Electrical Data</i>	STC	NMOT
<i>Peak Power Watts – P_{Max}</i>	660 Wp	499 Wp
<i>Maximum Power Voltage – V_{MPP}</i>	38,2 V	35,8 V
<i>Maximum Power Current – I_{MPP}</i>	17,28 A	13,95 A
<i>Open Circuit Voltage – V_{OC}</i>	45,8 V	43,3 V
<i>Short Circuit Current - I_{SC}</i>	18,37 A	14,84 A

Gambar 6 menunjukkan kurva karakteristik tegangan terhadap daya yang dihasilkan oleh modul Surya dan Gambar 7 menunjukkan kurva karakteristik tegangan terhadap arus yang dihasilkan oleh modul TD8G66M 132 *half cell* 660 (660 Watt). Dari Gambar 6 dan Gambar 7 diketahui bahwa semakin besar nilai *irradiance* matahari, daya, tegangan, dan arus listrik maksimal juga akan semakin besar.



Gambar 6. Kurva Tegangan terhadap Daya yang dihasilkan Modul Surya



Gambar 7. Kurva Tegangan terhadap Arus yang dihasilkan Modul Surya

Dalam menentukan Kapasitas Inverter diperlukan spesifikasi inverter dan disesuaikan dengan *charge controller* yang digunakan sesuai dengan kapasitas yang terpasang. Inverter yang digunakan pada simulasi menggunakan *HelioScope* yaitu *Smart String* Inverter SUN2000-60KTL-M0, dimana inverter ini memiliki keunggulan *smart* (12 *strings intelligent monitoring*), efisiensi tinggi yang tinggi sebesar 98,7%, aman (*safe*), *reliable* (tipe 2 *surge arrester DC & AC*, *flexibility design* yang baik, dan kompatibilitas dengan banyak modul surya. Spesifikasi inverter dapat dilihat pada Tabel 5.

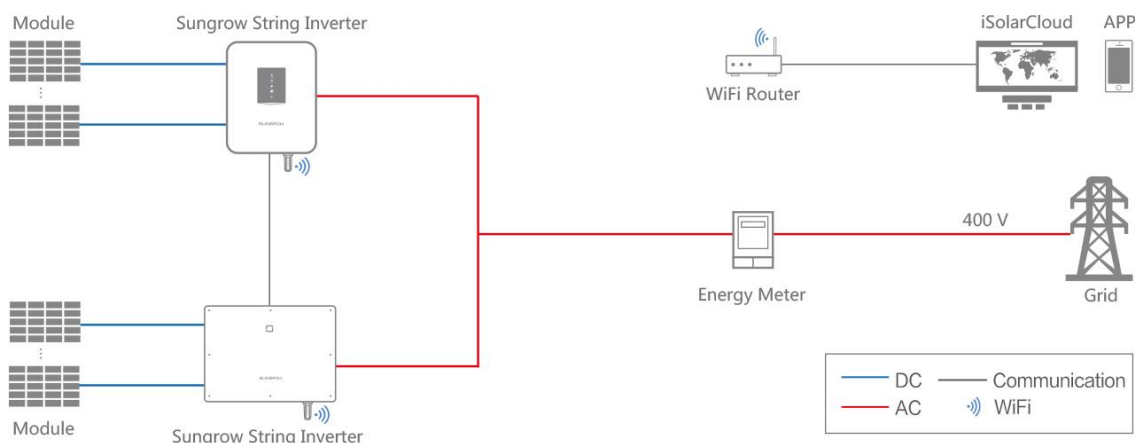
4.1. Single Line Diagram

Perancangan PLTS kawasan bangunan PLTU Berau 2×7 MW mampu menghasilkan energi listrik sebesar 483,1 kWp dengan terhubung ke jaringan PLN yang digunakan dalam menyuplai beban listrik pemakaian sendiri/konsumsi listrik PLTU. Sistem *Smart Microgrid* pada perancangan PLTS memiliki sistem *monitoring* yang berfungsi memantau proses parameter operasi dari keseluruhan sistem dan terhubung dengan jaringan internet sehingga dapat diakses dan dipantau secara *realtime*.

Tabel 5.

Spesifikasi Inverter SUN2000-60KTL-M0

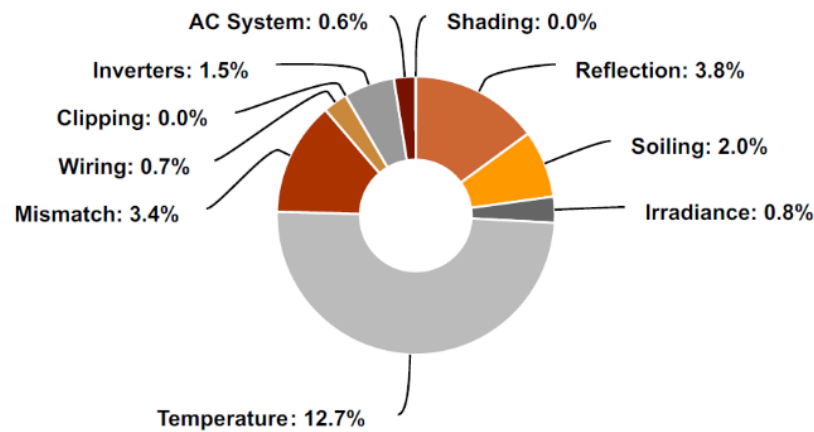
Spesifikasi Teknis	SUN2000-60KTL-M0
<i>Efficiency</i>	
<i>Maximum Efficiency</i>	98,9% @480 V; 98,7% @380 V / 400 V
<i>European Efficiency</i>	98,7% @480 V; 98,5% @380 V / 400 V
<i>Input</i>	
<i>Maximum Voltage</i>	1.100 V
<i>Maximum Current per MPPT</i>	22 A
<i>Maximum Short Circuit Current per MPPT</i>	30 A
<i>Start Voltage</i>	200 V
<i>MPPT Operating Voltage Range</i>	200 V ~ 1,000 V
<i>Rated Input Voltage</i>	600 V @380 V _{ac} / 400 V _{ac} ; 720 V @480 V _{ac}
<i>Number of MPP Trackers</i>	6
<i>Max Number of Inputs</i>	12
<i>Output</i>	
<i>Rated AC Active Power</i>	60.000 W
<i>Maximum AC Apparent Power</i>	66.000 VA
<i>Maximum AC Active Power (cos φ = 1)</i>	60.000 W
<i>Rated Output Voltage</i>	220 V / 380 V, 230 V / 400 V default 3W + N + PE 3W + PE <i>optional in settings</i> 277 V / 480 V, 3W + PE
<i>Rated AC Grid Frequency</i>	50 Hz / 60 Hz
<i>Rated Output Current</i>	91,2 A@380 V, 86,7 A @400 V, 72,2 A @480 V
<i>Maximum Output Current</i>	100 A@380 V, 95,3 A @400 V, 79,4 A @480 V
<i>Adjustable Power Factor Range</i>	0,8 LG ... 0,8 LD
<i>Maximum Total Harmonic Distortion</i>	<3%



Gambar 8. Design Single Line Diagram (<https://en.sungrowpower.com/>)

4.2. Rugi-Rugi Daya PLTS

Dalam perancangan PLTS, beberapa hal yang penting untuk diperhatikan yaitu rugi – rugi atau *losses*. Rugi – rugi tersebut dapat dipengaruhi oleh temperatur, kabel penghantar, *clipping*, inverter, akibat debu pada modul surya dan efek *shading*.



Gambar 9. Komposisi Rugi – Rugi PLTS *Rooftop* PLTU Berau

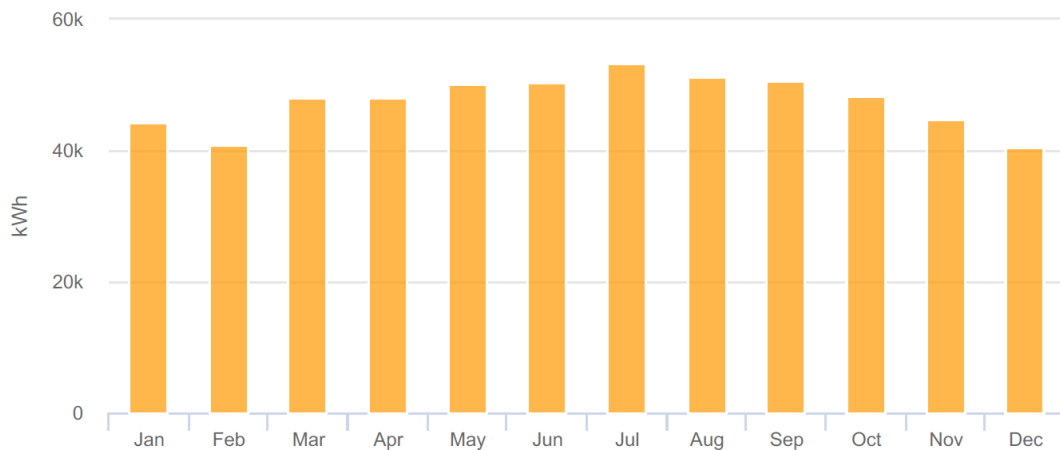
Berdasarkan gambar 9 diatas besaran rugi-rugi daya yang terbesar disebabkan oleh temperatur modul surya sebesar 12,7%, untuk rugi-rugi daya terkecil disebabkan oleh *wiring* atau penghantar sebesar 0,2%.

4.3. Produksi Energi PLTS

Setelah mengetahui jumlah modul, inverter, potensi daya terpasang dan rugi – rugi/*losses*, maka selanjutnya dapat mengetahui produksi energi yang dapat dihasilkan dari atap gedung dengan melakukan simulasi dengan menggunakan *HelioScope*.

Tabel 6.
 Produksi Energi PLTS Menggunakan Simulasi *HelioScope*

Month	GHI (kWh/m ²)	POA (kWh/m ²)	Shaded (kWh/m ²)	Nameplate (kWh)	Grid (kWh)
January	119,8	119,4	119,4	54.286,1	44.231,4
February	110,9	110,6	110,6	50.393,2	40.891,4
March	129,4	129,4	129,4	58.920,8	47.914,2
April	129,1	129,4	129,4	58.885,8	48.090,1
May	135,2	136,0	136,0	61.975,7	50.174,9
June	134,6	135,4	135,4	61.708,5	50.285,7
July	142,7	143,5	143,5	65.440,7	53.293,6
August	137,5	138,0	138,0	62.836,5	51.208,4
September	137,7	137,8	137,8	62.902,6	50.655,9
October	131,1	130,9	130,9	59.650,0	48.215,6
November	121,3	120,9	120,9	55.004,4	44.890,7
December	108,7	108,2	108,2	49.116,6	40.512,4
Total	1.538,0	1.539,5	1.539,5	701.120	570.364



Gambar 10. Produksi Energi Rata-Rata tiap Bulan

Tabel 6 dan Gambar 10 menunjukkan bahwa potensi energi listrik yang mampu dibangkitkan PLTS per tahun sebesar 570.364 kWh dengan produksi tertinggi terjadi pada bulan Juli dan produksi terendah terjadi pada bulan Desember.

5. Kesimpulan

Simulasi yang telah dilakukan menunjukkan kawasan PLTU Berau 2×7 MW memiliki nilai radiasi rata-rata sebesar $4,67 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ sepanjang tahun 2020. Estimasi total energi listrik yang dapat dihasilkan selama satu tahun oleh PLTS *rooftop* PLTU Berau adalah sebesar 570.364 kWh. Sedangkan untuk data Global Horizontal Irradiance (GHI) dalam satu tahun sebesar 1.538 kWh/m^2 , *Plane Of Array (POA) Irradiance* $1,539.5 \text{ kWh/m}^2$, *Shaded Irradiance* $1,539.5 \text{ kWh/m}^2$. *Temperature ambient* rata-rata dalam satu tahun sebesar $27,8^\circ\text{C}$ dan temperatur rata – rata pada *cell* sebesar $45,5^\circ\text{C}$. Rugi – rugi terbesar yaitu 12,7% dikarenakan efek dari temperatur modul surya.

Daftar Pustaka

- Ali, M. S., Rima, N. N., Sakib, M. I. H., & Khan, M. F. (2018). Helioscope Based Design of a MWp Solar PV Plant on a Marshy Land of Bangladesh and Prediction of Plant Performance with the Variation of Tilt Angle. *GUB Journal of Science and Engineering*, 5(1). <https://doi.org/10.3329/gubjse.v5i1.47893>
- Arvin Karuniawan, E. (2021). Analisis Perangkat Lunak PVSYSY, PVSOL dan HelioScope dalam Simulasi Fixed Tilt Photovoltaic. *Jurnal Teknologi Elektro*, 12(3).
- Ballaji, A., MH, A., Swamy, K. N., Oommen, S., & Ankaiah, B. (2019). A Detailed Study On Different Generations Of Solar Cell Technologies With Present Scenario Of Solar PV Efficiency And Effect Of Cost On Solar PV Panel. *International Journal of Research in Advent Technology*, 7(4). <https://doi.org/10.32622/ijrat.74201963>
- Andrei, H., Dogaru-Ulieru, V., Chicco, G., Cepisca, C., & Spertino, F. (2007). Photovoltaic applications. *Journal of Materials Processing Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.03.043>
- Bhadoria, V. S., Pachauri, R. K., & Tiwari, S. (2020). Investigation of Different BPD Placement Topologies for Shaded Modules in a Series-Parallel Configured PV Array. 216911–216921. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3041715>

- Desai, A. A., & Mikkili, S. (2019). Modelling and analysis of PV configurations (alternate TCT-BL, total cross tied, series, series parallel, bridge linked and honey comb) to extract maximum power under partial shading conditions. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, PP(99). <https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2020.00900>
- Bandong, S., Leksono, E., Purwarianti, A., & Joelianto, E. (2019). Performance Ratio Estimation and Prediction of Solar Power Plants Using Machine Learning to Improve Energy Reliability. *Proceedings of the 2019 6th International Conference on Instrumentation, Control, and Automation, ICA 2019*. <https://doi.org/10.1109/ICA.2019.8916687>
- Arvin Karuniawan, E. (2021). Analisis Perangkat Lunak PVSYST, PVSOL dan HelioScope dalam Simulasi Fixed Tilt Photovoltaic. *Jurnal Teknologi Elektro*, 12(3).
- Ballaji, A., MH, A., Swamy, K. N., Oommen, S., & Ankaiah, B. (2019). A Detailed Study On Different Generations Of Solar Cell Technologies With Present Scenario Of Solar PV Efficiency And Effect Of Cost On Solar PV Panel. *International Journal of Research in Advent Technology*, 7(4). <https://doi.org/10.32622/ijrat.74201963>
- Bandong, S., Leksono, E., Purwarianti, A., & Joelianto, E. (2019). Performance Ratio Estimation and Prediction of Solar Power Plants Using Machine Learning to Improve Energy Reliability. *Proceedings of the 2019 6th International Conference on Instrumentation, Control, and Automation, ICA 2019*. <https://doi.org/10.1109/ICA.2019.8916687>
- Camarena-Gamarra, C., Calle-Maravi, J., & Nahui-Ortiz, J. (2020). Benchmarking of Solar PV performance ratio among different regions in Peru: Sample of five small-scale systems. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.245>
- Chandra, S., Agrawal, S., & Chauhan, D. S. (2018). Effect of ambient temperature and wind speed on performance ratio of polycrystalline solar photovoltaic module: An experimental analysis. *International Energy Journal*, 18(2).
- Damiri, D. J., & Nugraha, A. A. (2021). Technical Performance and Economic Feasibility Simulation of 200kWP Rooftop Solar Photovoltaic On grid on Industrial Estate Factory Building with Helioscope Software. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 17(2). <https://doi.org/10.17529/jre.v17i2.19578>
- Gopi, A., Sudhakar, K., Keng, N. W., & Krishnan, A. R. (2021). Comparison of normal and weather corrected performance ratio of photovoltaic solar plants in hot and cold climates. *Energy for Sustainable Development*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.09.005>
- HemanthBabu, N., Shivashimpiger, S., Samanvita, N., & Parthasarathy, V. M. (2019). Performance ratio and loss analysis for 20MW grid connected solar PV system - case study. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(2).
- Hsu, P. C., Huang, B. J., Wu, P. H., Wu, W. H., Lee, M. J., Yeh, J. F., Wang, Y. H., Tsai, J. H., Li, K., & Lee, K. Y. (2017). Long-term Energy Generation Efficiency of Solar PV System for Self-consumption. *Energy Procedia*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.018>
- Kokate, A., & Wagh, M. (2019). Experimental Analysis of Performance Ratio of Solar Rooftop Photovoltaic System (SRTPV) for Various Roof Orientation and Tilt. *Journal of Physics: Conference Series*, 1172(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1172/1/012067>
- Mustafa, U., Qeays, I. A., BinArif, M. S., Yahya, S. M., & Shahrin, S. bin. (2020). Efficiency improvement of the solar PV-system using nanofluid and developed inverter topology. *Energy*

- Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1808119>
- Pakkiraiah, B., & Sukumar, G. D. (2016). Research Survey on Various MPPT Performance Issues to Improve the Solar PV System Efficiency. *Journal of Solar Energy*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/8012432>
- Peng, Z., Herfatmanesh, M. R., & Liu, Y. (2017). Cooled solar PV panels for output energy efficiency optimisation. *Energy Conversion and Management*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.07.007>
- Prakhya, R. K., Shashidhar Reddy, K., & Lokeshawar Reddy, C. (2019). Estimating degradation factor by performance ratio of rooftop solar PV plant. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(9 Special Issue 2). <https://doi.org/10.35940/ijitee.I1126.0789S219>
- Rega, M. S. N., Sinaga, N., & Windarta, J. (2021). Perencanaan PLTS Rooftop untuk Kawasan Pabrik Teh PT Pagilaran Batang. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 9(4). <https://doi.org/10.26760/elkomika.v9i4.888>
- Rizkasari, D., Wilopo, W., & Ridwan, M. K. (2020). Potensi Pemanfaatan Atap Gedung Untuk Plts Di Kantor Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan Dan Energi Sumber Daya Mineral (Pup-Esdm) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Journal of Appropriate Technology for Community Services*, 1(2). <https://doi.org/10.20885/jattec.vol1.iss2.art7>
- Rohankar, N., C.J, J., Bakre, S., Shelar, S., & Shiralkar, A. (2020). Designing and Simulation using Software's PV SYST & HELIOSCOPE for Mitigating Challenges of Grid Connected PV Based Solar Plant. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(6). <https://doi.org/10.35940/ijitee.e3758.049620>
- Law No. 30 of 2009 concerning Electricity, Pub. L. No. 30, Law No. 30 of 2009 concerning Electricity (2009). https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/9ef73-03.uu-30-2009-tentang-ketenagalistrikan.pdf
- Syahindra, K. D., Ma'Arif, S., Widayat, A. A., Fauzi, A. F., & Setiawan, E. A. (2021). Solar PV system performance ratio evaluation for electric vehicles charging stations in transit oriented development (TOD) areas. *E3S Web of Conferences*, 231. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123102002>
- Tambunan, H. B., Hakam, D. F., Prahastono, I., Pharmatrisanti, A., Purnomoadi, A. P., Aisyah, S., Wicakson, Y., & Sandy, I. G. R. (2020). The challenges and opportunities of renewable energy source (RES) penetration in Indonesia: Case study of Java-Bali power system. *Energies*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/en13225903>
- Umar, N. H., Bora, B., Umar, N., Banerjee, C., & Panwar, B. S. (2018). Study of different PV Technologies under Composite Climates using test beds at NISE View project All-India Survey of Photovoltaic Module Reliability: 2016 View project Comparison of different PV power simulation softwares: case study on performance analysis of 1 MW grid-connected PV solar power plant. www.ijesi.org | Volumewww.ijesi.org
- Umer, F., Aslam, M. S., Rabbani, M. S., Hanif, M. J., Naeem, N., & Abbas, M. T. (2019). Design and optimization of solar carport canopies for maximum power generation and efficiency at Bahawalpur. *International Journal of Photoenergy*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/6372503>