

# STUDI PERANCANGAN DAN ANALISA DAYA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DENGAN SISTEM ON GRID PADA PONDOK PESANTREN TANBIHUL GHOFILIIN KABUPATEN BANJARNEGARA

Ali Firmansyah<sup>\*)</sup>, Karnoto dan Jaka Windarta

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: [alifirmansyah@gmail.com](mailto:alifirmansyah@gmail.com)

## Abstrak

Menipisnya energi fosil, terutama minyak, gas, memberi komitmen dunia untuk mengurangi emisi. Hal ini mendorong pemerintah Indonesia untuk menjadikan energi baru dan terbarukan sebagai prioritas utama. Salah satu energi baru dan terbarukan yang memiliki potensi besar di Indonesia adalah energi surya, mengingat Indonesia terletak di garis Khatulistiwa yang menerima sinar matahari sepanjang tahun. Potensi energi surya di Indonesia mencapai 207.8 GWp. Akan tetapi, kapasitas pembangkit listrik tenaga surya yang terpasang hanya 0.085 Gwp atau 0.04% dari total potensi. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang pembangkit listrik tenaga surya on-grid dan menganalisa energi yang dihasilkan pada Pondok Pesantren Tanbihul Ghofiliin. Terdapat 3 variasi daya yang dirancang berdasarkan perhitungan potensi kapasitas PLTS, Regulasi PLN, dan berdasarkan anggaran dana. Panel Surya yang digunakan adalah ST Solar 450WP Monocrystalline. Inverter yang digunakan adalah Sofar 1100TL, Sofar 3ktlm, dan Sofar 5ktlm. Perancangan PLTS dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak PVSyst 7.2. Berdasarkan simulasi PVSyst 7.2, PLTS 11700WP menghasilkan energi dalam satu tahun 16,136 kWh. PLTS 3150WP menghasilkan energi dalam satu tahun 4,364.3 kWh. PLTS 1350Wpmenghasilkan energi dalam satu tahun 1,852.4 kWh

*Kata Kunci : PLTS, On-grid, Energi Terbarukan, PVSyst 7.2*

## Abstract

*The depletion of fossil energy, especially oil and gas, gives the world a commitment to reduce emissions. This has prompted the Indonesian government to make new and renewable energy a top priority. One of the new and renewable energies that has great potential in Indonesia is solar energy, considering that Indonesia is located on the equator which receives sunlight all year round. The potential of solar energy in Indonesia reaches 207.8 GWp. However, the installed solar power generation capacity is only 0.085 GWP or 0.04% of the total potential. The purpose of this research is to design an grid-connected solar power plant and analyze the energy generated at the Tanbihul Ghofiliin Islamic Boarding School. There are 3 variations of power that are designed based on the calculation of the potential capacity of Solar Power Plant, PLN regulations, and based on the budget. The solar panel used is ST Solar 450WP Monocrystalline. The inverters used are Sofar 1100TL, Sofar 3KTLM, and Sofar 5KTLM. PV System design is done using software PVSyst 7.2. Based on the PVSyst 7.2 simulation, PLTS 11700WP produces 16,136 kWh of energy in one year. PLTS 3150WP produces 4,364.3 kWh of energy in one year. PLTS 1350Wp generates energy in one year 1,852.4 kWh.*

*Keywords: Solar Power Plant, Grid-connected, Renewable Energy, PVSyst 7.2*

## 1. Pendahuluan

Menipisnya Menipisnya energi fosil terutama minyak dan gas bumi serta komitmen internasional dalam pengurangan emisi, mendorong Pemerintah menjadikan energi baru dan terbarukan sebagai prioritas utama untuk menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Salah satu dari energi baru dan terbarukan yang memiliki potensi besar di Indonesia adalah energi surya. Potensi energi surya yang dimiliki Indonesia mencapai 207,8 GWp,

Namun, kapasitas terpasang yang dimiliki Indonesia saat ini hanyalah 0.085 GWp atau 0.04% dari total keseluruhan potensi energi surya di Indonesia [1]

Pemerintah telah menetapkan beberapa regulasi untuk mempercepat pengembangan EBT, yaitu Peraturan Presiden No. 4 Tahun 2016 (Pasal 14) tentang Percepatan Infrastruktur Ketenagalistrikan mengutamakan pemanfaatan energi baru dan terbarukan, Peraturan Menteri ESDM No. 26 Tahun 2021 tentang Pokok-Pokok Dalam Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik, Peraturan

Menteri ESDM No. 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik, dan Peraturan Menteri ESDM No. 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (PLN). Dengan potensi energi matahari yang cukup tinggi di Indonesia dan dengan dukungan regulasi dari pemerintah diharapkan dapat menjadi solusi tingginya permintaan listrik di Indonesia di masa mendatang dengan pemanfaatan sel surya sebagai sumber energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu aplikasi dari penggunaan energi terbarukan, dengan matahari sebagai sumber energi primer. Mengingat pertumbuhan jumlah pelanggan rumah tangga yang terus meningkat, memanfaatkan atap rumah sebagai lahan PLTS bisa menjadi solusi yang efektif dan efisien.

Penelitian sejenis yang lain dilakukan oleh Dimas Aji Satrio pada Tugas Akhir Sarjana Teknik Elektro Universitas Diponegoro berjudul “Perancangan dan Analisis Kelayakan Tekno Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Kapasitas 1215 Wp dengan Sistem On-Grid Skala Rumah Tangga Studi Kasus Perumahan Sambiroto Asri Kota Semarang”. Dari penelitian didapatkan energi listrik yang dapat dihasilkan 1215Wp di Perumahan Sambiroto Asri Semarang adalah sebesar 1873 kWh/tahun dengan rasio kinerja 82,8% [2]

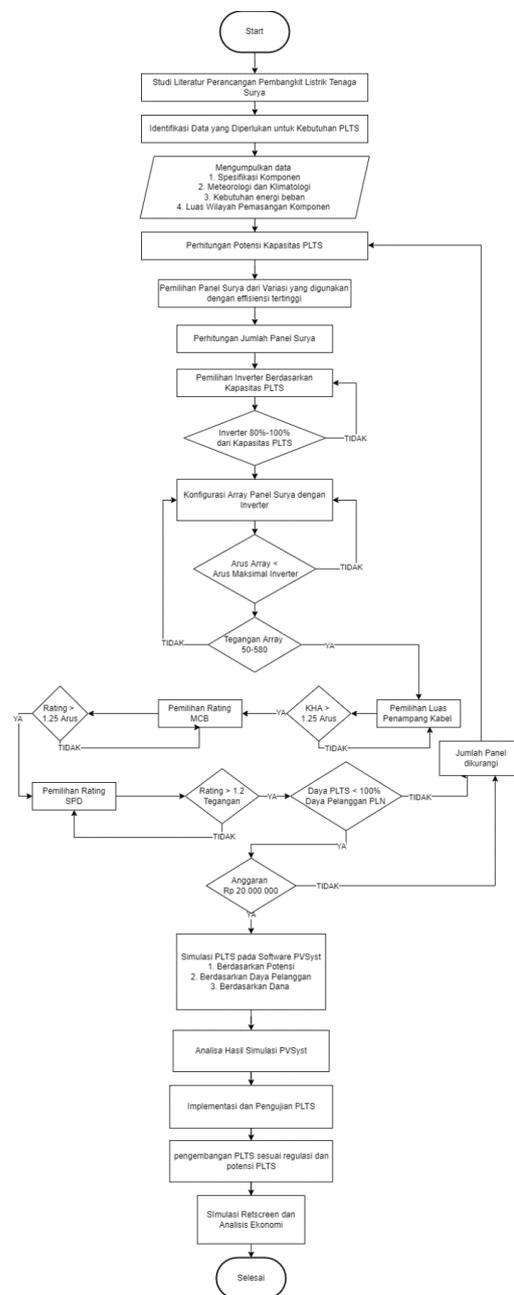
PLTS adalah sistem pembangkit listrik memanfaatkan radiasi matahari menggunakan konversi energi dari sel fotovoltaik. Sistem fotovoltaik mengubah iradiasi matahari menjadi energi listrik [3]. Iradiasi merupakan jumlah energi total matahari per satuan luas yang diterima selama periode tertentu. Iradiasi umumnya dinyatakan dalam kilowatt-jam per meter persegi (kWh/m<sup>2</sup>). Semakin tinggi tingkat iradiasi matahari yang diterima sel fotovoltaik, semakin tinggi daya listrik yang dihasilkan. Iradiasi matahari yang diterima oleh sel fotovoltaik pada panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya massa udara, sudut kemiringan dan azimuth panel surya, [4]

Panel Surya mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan panel surya memiliki arus listrik searah (DC). [5] Oleh karena itu perlu mengubah arus searah menjadi arus listrik bolak-balik (AC) menggunakan inverter. Inverter konfigurasi dibedakan menjadi tiga, yaitu *central inverter*, *string inverter*, dan *micro inverter*. [6]. Rasio daya inverter umumnya dipilih dalam rentang 80% - 100% dari daya puncak panel surya [7]

Sistem pengkabelan PLTS menggunakan kabel DC dan AC sedangkan sistem proteksi PLTS menggunakan MCB dan SPD. Ukuran dari konduktor kabel, MCB dan SPD dipilih berdasarkan buku NEC 2017 [8], PUIL 2011 [9], dan Buku Panduan Instalasi PLTS Do’s and Don’ts [10].

## 2. Metode

### 2.1. Perancangan PLTS

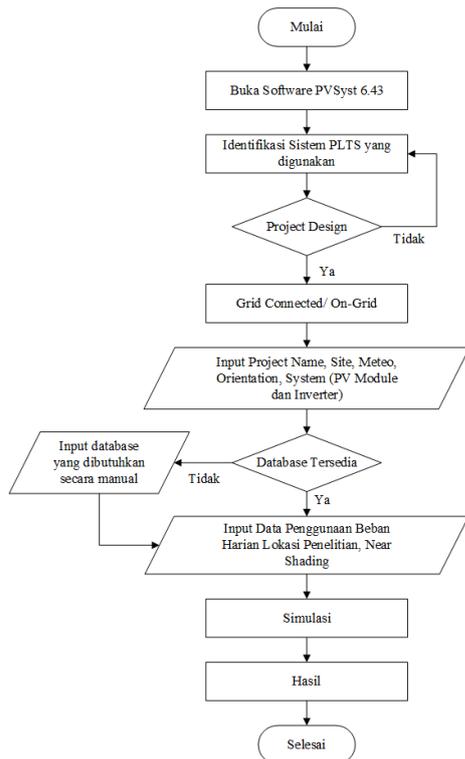


Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pada penelitian dengan judul “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Dengan Sistem On-Grid Sebagai Supply Listrik Pada Pondok Pesantren Tanbihul Ghofiliin Kabupaten Banjarnegara” dilakukan simulasi pada software PVsyst untuk analisis potensiproduksi energi listrik dari PLTS dan software Retscreen untuk mengetahui sistem yang paling optimal dari sisi ekonominya. Penelitian ini juga dilakukan pengujian dan implementasi hasil dari simulasi. kemudian dari keduanya

dilakukan perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil di lapangan yang berguna sebagai dasar layak atau tidak untuk diterapkan di masyarakat umum.

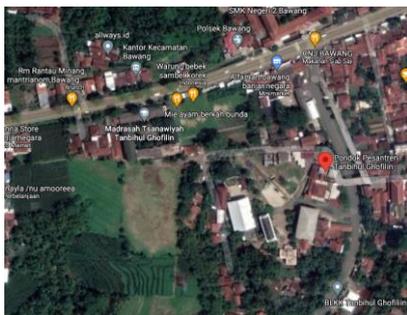
Adapun penelitian ini menggunakan perangkat lunak PVSystem 7.2 untuk mensimulasikan perancangan PLTS dikarenakan parameter yang dapat dimasukkan dalam aplikasi ini cukup lengkap, sehingga hasil yang muncul dalam aplikasi ini diharapkan akan mendekati dengan keadaan sesungguhnya.



Gambar 2. Diagram Alir Pengoperasian Software PVSystem 7.2

### 2.2. Lokasi Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan perancangan pembangkit listrik tenaga surya on-grid pada pondok pesantren Tanbihul Ghofiliin Banjar negara yang berada di 7.4005°LS dan 109.674°BT.



Gambar 3. Lokasi Perancangan PLTS

### 2.3. Pengambilan Data

Pengambilan data sudut kemiringan dapat diperoleh melalui global solar atlas [11], data azimuth dapat diperoleh dari google map [12], dan data insolasi matahari dan temperatur di lokasi penelitian dapat diperoleh melalui NASA Prediction of Worldwide Energy Resource [13] dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan global solar atlas, sudut kemiringan yang disarankan adalah 10° menghadap utara, azimuth gedung pada google map adalah 15° menghadap utara condong ke arah timur

Tabel 1. Insolasi Matahari dan Temperatur di Lokasi Penelitian

Bulan	Insolasi Matahari (kWh/m <sup>2</sup> /hari)	Temperatur (°C)
Januari	4,55	26,3
Februari	4,52	26,1
Maret	4,69	26,5
April	4,80	26,8
Mei	4,91	27,4
Juni	4,78	26,8
Juli	5,05	26,6
Agustus	5,08	26,9
September	5,37	27,2
October	5,32	27,7
November	4,62	26,9
December	4,60	26,6
<b>Rata-rata</b>	<b>4,86</b>	<b>26,8</b>

Selain data sudut kemiringan, azimuth, insolasi matahari dan temperatur di lokasi penelitian, diperlukan juga data pemakaian beban listrik pada lokasi penelitian

Tabel 2. Penggunaan Beban Listrik Harian Lokasi Penelitian

Beban	Jumlah	Daya (W)	Total Daya (W)	Lama Pakai (Jam)	Jam
Lampu Kamar	22	7.5	165	8	16 s/d 24
Lampu Teras	12	18.0	216	14	16 s/d 06
Lampu TL	1	40.0	40	14	16 s/d 06
Lampu Sorot	1	40.0	40	14	16 s/d 06
Komputer	3	450.0	1,350	9	07 s/d 16
Pompa Air (200 W)	2	200.0	400	24	00 s/d 24
Pompa Air (150 W)	1	150.0	150	24	00 s/d 24
Amplifier	1	150.0	150	18	04 s/d 22
Kipas Angin	2	45.0	90	15	07 s/d 22
CCTV	1	60.0	60	24	00 s/d 24
Heater	1	450.0	450	2	8 dan 18
Dispenser	1	150.0	150	24	00 s/d 24
Setrika	1	150.0	150	2	08 s/d 10
Printer	1	20.0	20	18	04 s/d 22

## 3. Hasil dan Analisa PVSystem

### 3.1. Perancangan PLTS

#### 3.1.1. Potensi Kapasitas PLTS

Kapasitas PLTS ditentukan dengan menghitung kebutuhan energi harian dibagi dengan rata-rata iradiasi

matahari terendah [14] dikalikan dengan faktor kali 1.3 untuk rugi-rugi yang terdapat pada PLTS [15]. Perhitungan ini dilakukan apabila ingin merancang PLTS sehingga tagihan listrik pada beban sama dengan 0.

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Modul} &= \frac{\text{Energi beban harian}}{\text{PSH (Peak Sun Hour)}} \times 1.3 \quad (1) \\ \text{Kapasitas Modul} &= \frac{41.46 \text{ kWh}}{4.52 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}} \times 1.3 \\ \text{Kapasitas Modul} &= 11.92 \text{ kW} \end{aligned}$$

### 3.1.2. Panel Surya

Pemilihan Panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut yaitu efisiensi modul, dan tipe sel panel surya.

Tabel 3. Perbandingan Panel Surya

Variasi	Tipe Sel	Daya (Wp)	Efisiensi Panel
1	Poly-Crystalline	150	15.13%
2	Poly-Crystalline	225	15.70%
3	Mono-Crystalline	150	15.13%
4	Mono-Crystalline	225	15.70%
5	Mono-Crystalline	450	18.22%

Berdasarkan pada Tabel 3, ada dua faktor yang digunakan untuk memilih panel surya pada penelitian ini yaitu tipe sel surya, efisiensi modul. Berdasarkan penelitian pada jurnal yang ditulis oleh Sugianto [16] efisiensi panel surya monocrystalline lebih tinggi daripada polycrystalline, sedangkan berdasarkan pada referensi jurnal yang ditulis oleh M.F. Nayan [17] kinerja dari panel surya dari berbagai tipe sel tergantung dari kondisi standar dari panel surya tersebut. Namun, panel surya dengan tipe monocrystalline memiliki kinerja yang lebih baik dibanding panel surya dengan tipe sel lainnya. Oleh karena itu, panel surya dengan tipe sel Monocrystalline lebih baik daripada tipe sel Polycrystalline. Berdasarkan efisiensi panel, panel surya variasi 5 memiliki efisiensi tertinggi dengan nilai 18,22%.

Pemilihan panel surya selain dipilih berdasarkan tipe sel dan efisiensi, dilakukan juga simulasi menggunakan PVSyst untuk menganalisis energi yang dihasilkan pada setiap variasi panel surya, selain itu dibandingkan analisis ekonomi berapa lama payback period dari kelima variasi. Kapasitas PLTS yang digunakan dalam pemilihan panel surya adalah PLTS 1350Wp.

Tabel 4. Produksi Energi dan Ekonomi Panel Surya

No	Variasi	Energi Keluaran Panel Surya (kWh)	PR	PBP (tahun)
1	Poly 150Wp	1894,3	0,787	8,3
2	Poly 225Wp	1886,0	0,784	7,8
3	Mono 150Wp	1840,4	0,764	9,4
4	Mono 225Wp	1863,2	0,774	8,1
5	Mono 450Wp	1907,4	0,792	6,8

Berdasarkan Tabel 4, simulasi PLTS menggunakan perangkat lunak PVSyst 7.2, variasi 5 memiliki energi keluaran panel surya tertinggi sebesar 1907.4 kWh per tahun dengan rasio kinerja 0.792 atau 79.2%. Investasi awal dan *Payback Period* dari variasi 5 memiliki nilai terkecil yaitu Rp 18.376.000 dan payback period 6,8 tahun atau sekitar 6 tahun 10 bulan. Variasi 3 dengan tipe sel monocrystalline daya 150Wp memiliki energi keluaran terkecil sebesar 1840.4 kWh dan rasio kinerja 0.764 atau 76.4%. Berdasarkan faktor tersebut maka variasi 5 dipilih sebagai panel surya yang digunakan pada perancangan PLTS di Pondok Pesantren Tanbihul Ghofilin Banjarnegara.

Jumlah panel surya dihitung dengan membagi daya PLTS dibagi dengan daya panel surya tiap modul

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Panel Surya} &= \frac{\text{Potensi Daya PLTS}}{\text{Daya Nominal PV}} \quad (2) \\ \text{Jumlah Panel Surya} &= \frac{11.72 \times 1000}{450} = 26.04 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, perancangan PLTS 11.72kW memutuhkan panel surya 450Wp sebanyak 26 panel.

Susunan optimal panel surya Monocrystalline ST Solar 450Wp pada PLTS 11700WP. PLTS 11700WP membutuhkan 26 buah panel surya 450WP. Maka, dapat kita hitung konfigurasi apabila array terdapat 1 string atau 2 string

Susunan optimal panel surya Monocrystalline ST Solar 450Wp pada PLTS 11700WP. PLTS 11700WP membutuhkan 26 buah panel surya 450WP. Maka, dapat kita hitung konfigurasi apabila array terdapat 1 string atau 2 string

Konfigurasi panel surya menggunakan 1 buah string

$$\begin{aligned} V_{mp \text{ array}} &= \text{Jumlah seri} \times V_{mp \text{ Panel}} \quad (3) \\ V_{mp \text{ array}} &= 26 \times 34.15 = 887.9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{mp} &= \text{Jumlah string} \times I_{mp \text{ panel}} \quad (4) \\ I_{mp \text{ array}} &= 1 \times 13.15 = 13.15 \end{aligned}$$

Tabel 5. Desain Rangkaian Panel Surya

Jumlah String	Vmp (V)	Voc (V)	Imp (A)
1	887.9	1067.04	13.15
2	443.95	533.52	23.30

### 3.1.3. Inverter

Pemilihan inverter jenis didasari pada rasio nilai 80% - 100% dari daya yang dihasilkan array surya sehingga aman digunakan [7]. Inverter yang digunakan pada perancangan PLTS ini adalah SOFAR 5KTLM-G2 dengan kapasitas daya 5000W. Inverter yang digunakan 2 buah dengan sistem inverter string. Kedua inverter SOFAR 5KTLM-G2 dihubungkan dengan array panel

surya masing-masing 5850Wp, sehingga total daya puncak array adalah 11.7kWp.

Inverter 5KTLM-G2 memiliki rentang tegangan operasi MPPT adalah 90V-580V dan rentang tegangan MPPT untuk menghasilkan daya penuh adalah 250V-520V. Berdasarkan konfigurasi PLTS, array dengan 1 string tegangan (Vmp) 887.9V, sedangkan sedangkan array 2 string tegangan daya penuh (Vmp) 443.95V. Maka, konfigurasi yang digunakan adalah array dengan 2 string.

3.1.4. Konfigurasi PLTS

Tabel 6 Konfigurasi Panel Surya dengan Inverter

Keterangan	PLTS 11700Wp	PLTS 3150Wp	PLTS 1350Wp
Panel Surya	Mono-crystalline 450Wp	Mono-crystalline 450Wp	Mono-crystalline 450Wp
Jumlah Panel Surya	26	7	3
Konfigurasi Panel Surya	2x13	1x7	1x3
Vmp Array	443.95 V	239.05	102.45
Inverter	5000 W	3000 W	1100 W
Jumlah Inverter	2	1	1
Rentang Tegangan MPPT	90-580 V	90-580 V	50-500
Rasio Daya Inverter	85,47 %	95,29 %	81,48 %
Biaya Investasi	Rp102,615,500	Rp32,410,000	Rp18,376,000

3.2. Simulasi PVSyst 7.2

Simulasi menggunakan software PVSyst 7.2 dilakukan pada perancangan PLTS 11700 berdasarkan perhitungan potensi, PLTS 3150WP berdasarkan regulasi Permen ESDM, dan PLTS 1350WP berdasarkan ketersediaan dana.

3.2.1. Orientasi Panel Surya

Orientasi Panel surya merupakan salah satu faktor penting pada perancangan pembangkit listrik tenaga surya. Hal ini dikarenakan orientasi panel surya mempengaruhi radiasi matahari yang diterima oleh panel surya. Semakin besar radiasi matahari yang diterima panel surya, maka potensi energi ideal yang dihasilkan panel surya semakin besar.

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	BeamHor kWh/m²	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²
January	134.2	72.50	61.70	127.9	124.1
February	126.6	66.60	60.00	123.3	120.1
March	142.0	71.60	70.40	143.0	139.7
April	139.5	62.10	77.40	145.6	142.4
May	142.9	55.20	87.70	154.5	151.2
June	132.9	49.20	83.70	146.0	142.8
July	144.2	51.50	92.70	157.2	153.7
August	153.1	57.70	95.40	162.3	159.0
September	155.7	63.60	92.10	158.6	155.4
October	153.8	72.20	81.60	150.8	147.3
November	133.8	69.90	63.90	127.5	124.1
December	142.6	71.90	70.70	134.8	131.1
Year	1701.3	764.00	937.30	1731.5	1690.7

Gambar 4. Radiasi Matahari yang diterima PLTS

Berdasarkan pada Gambar 4 parameter GlobHor merupakan nilai radiasi matahari yang dipancarkan pada bidang horizontal. Dapat dilihat bahwa, radiasi matahari total(GlobHor) merupakan jumlah dari radiasi matahari terdifusi(DiffHor) dengan radiasi matahari langsung(BeamHor). Parameter GlobInc merupakan nilai radiasi matahari yang diterima panel surya dengan sudut kemiringan 10° dan sudut azimuth 15°, radiasi matahari yang diterima panel surya dalam satu tahun adalah 1731.5 kWh/m2 dengan radiasi matahari efisiensi yang diterima 1690.7 kWh/m2

3.2.2. Rugi-rugi Panel Surya

Energi yang dihasilkan oleh Panel Surya dipengaruhi oleh beberapa faktor. Fakor diantaranya adalah temperatur, irradiance, kualitas modul, dan tahanan. Diantara faktor-faktor tersebut temperatur sangat mempengaruhi kinerja panel surya. Idealnya, panel surya beroperasi dengan suhu 25oC. Pada PLTS 11700 menggunakan panel surya ST SOLAR Monocrystalline 450Wp dengan efisiensi modul 18.22% dihubung sebanyak 26 buah panel dan luas array 64.22 m2. Energi yang diterima panel surya pada panel surya diperoleh dari radiasi matahari efektif yang diterima panel surya dikali dengan efisiensi modul dan luas array panel surya.

	EArrNom kWh	TArr °C	TempLss kWh	GInCLss kWh	ModQual kWh	MisLoss kWh	OhmLoss kWh	EArrMPP kWh
January	1452	39.40	124.6	72.90	-9.405	26.53	11.53	1225
February	1405	40.29	120.7	67.74	-9.123	25.74	11.15	1189
March	1635	41.84	152.7	70.01	-10.590	29.88	14.18	1379
April	1686	42.92	158.7	67.87	-10.798	30.46	14.74	1405
May	1769	43.45	165.2	70.72	-11.496	32.43	15.43	1496
June	1671	42.59	146.7	71.23	-10.895	30.74	13.93	1419
July	1798	42.43	161.9	72.11	-11.730	33.09	15.68	1527
August	1860	43.10	179.8	67.14	-12.101	34.14	17.30	1574
September	1818	44.50	179.4	65.37	-11.799	33.29	17.02	1535
October	1723	42.30	164.9	69.92	-11.165	31.50	15.24	1453
November	1451	39.92	123.2	72.53	-9.418	26.57	11.23	1227
December	1533	39.99	135.5	72.55	-9.939	28.04	12.59	1294
Year	19781	41.86	1613.3	840.09	-126.458	362.38	170.04	16724

Gambar 5. Rugi-rugi panel surya

Berdasarkan pada Gambar 5, dapat dilihat bahwa terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi produksi panel surya, salah satu diantaranya adalah Temperatur. Besar rugi-rugi Temperatur mencapai 1813.3 kWh dalam satu tahun. Rugi-rugi temperatur terbesar terdapat pada bulan September dengan rugi-rugi 179.4 kWh dan suhu 44.5 °C. Rugi-rugi temperatur terkecil terdapat pada bulan Februari dengan rugi-rugi sebesar 120.7 dan suhu 40.29 °C

**3.2.3. Rugi-rugi Inverter**

Rugi-rugi inverter diperoleh dari besarnya efisiensi pada inverter. Efisiensi merupakan parameter yang mempengaruhi produksi energi listrik dari suatu PLTS. Listrik yang umum digunakan pada beban rumah tangga adalah listrik AC sehingga diperlukan suatu konversi dari listrik DC atau keluaran panel surya ke listrik AC. Pada saat proses konversi inilah terjadi rugi-rugi pada inverter sehingga mempengaruhi keluaran listrik AC. Efisiensi inverter didefinisikan sebagai rasio keluaran listrik AC dari inverter dengan listrik DC masukan dari panel surya. Inverter yang digunakan dalam perancangan ini adalah inverter merk SOFAR SOLAR 5KTLM-G2 yang memiliki efisiensi sebesar 97,7%

	EArrMPP kWh	EffInvR %	InvLoss kWh	E_Avail kWh
January	1225	97.5	42.99	1182
February	1189	97.6	35.88	1153
March	1379	97.6	61.67	1317
April	1405	97.7	55.93	1349
May	1496	97.8	45.54	1451
June	1419	97.8	36.37	1383
July	1527	97.7	47.30	1480
August	1574	97.7	55.22	1519
September	1535	97.8	65.65	1469
October	1453	97.7	55.48	1398
November	1227	97.6	38.66	1189
December	1294	97.6	47.18	1247
Year	16724	97.7	587.86	16136

Gambar 6. Rugi-rugi Inverter

Berdasarkan pada Gambar 6, dapat dilihat bahwa energi tahunanyang masuk pada MPP inverter adalah 16724 kWh, dengan efisiensi inverter 97.7% maka rugi-rugi inverter yang terbuang adalah 587.86 kWh. Sehingga, energi listrik yang keluar dari inverter dan siap untuk digunakan adalah 16136 kWh. Hal ini membuktikan bahwa efisiensi inverter mempengaruhi daya yang dihasilkan PLTS.

**3.2.4. Rasio Kinerja**

Rasio Kinerja merupakan parameter utama yang penting dalam perancangan PLTS. Rasio kinerja atau Performance Ratio (PR) merupakan perbandingan antara energi listrik yang diproduksi PLTS secara efektif dengan produksi energi listrik yang dihasilkan sistem dalam

kondisi standar tes (STC). Terdapat dua parameter dasar untuk menghitung rasio kinerja yaitu Yf dan Yr. Nilai Yf, Yr dan rasio kinerja dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

	E_Avail kWh	GlobInc kWh/m²	Yr kWh/m²/day	Yf kWh/kWp/day	PR ratio
January	1182	127.9	4.13	3.26	0.790
February	1153	123.3	4.40	3.52	0.799
March	1317	143.0	4.61	3.63	0.787
April	1349	145.6	4.85	3.84	0.792
May	1451	154.5	4.98	4.00	0.803
June	1383	146.0	4.87	3.94	0.810
July	1480	157.2	5.07	4.08	0.804
August	1519	162.3	5.24	4.19	0.800
September	1469	158.6	5.29	4.19	0.792
October	1398	150.8	4.86	3.85	0.792
November	1189	127.5	4.25	3.39	0.797
December	1247	134.8	4.35	3.44	0.791
Year	16136	1731.5	4.74	3.78	0.796

Gambar 7. Rasio Kinerja PLTS

Berdasarkan Gambar 7, rasio kinerja dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Yf = \frac{E}{P_0} \tag{5}$$

$$Yf = \frac{16136 \text{ kWh}}{11.7 \text{ kWh}} \\ Yf = 1379.145$$

$$Yr = \frac{H}{G} \tag{6}$$

$$Yr = \frac{1731.5}{1} = 1731.5$$

$$PR = \frac{Yf}{Yr} \tag{7}$$

$$PR = \frac{1379.145}{1731.5} = 0.797$$

Berdasarkan perhitungan di atas, dilakukan perhitungan serupa pada setiap bulan sehingga mendapatkan hasil pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil Perhitungan Rasio Kinerja PLTS

Variasi Perancangan	Yf (kWh/kWp)	Yr (kWh/kWp)	PR (%)
PLTS 11700 Wp	1379,14	1731,5	79,7
PLTS 3150 Wp	1385,52	1731,5	80,0
PLTS 1350Wp	1372,22	1731,5	79,3

Berdasarkan pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan rasio kinerja (PR) 0.797 , nilai ini berbeda 0.001 atau 0.1% dengan hasil simulasi PVSys 7.2 yaitu 0.796. Berdasarkan Buku Pegangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya nilai rasio kinerja untuk PLTS ongrid, nilai 0.7 sampai dengan 0.8 tergolong baik [4]

**3.2.5. Penggunaan Energi pada Beban**

Keluaran dari PLTS ongrid dihubungkan langsung dengan jala-jala PLN. Oleh karena itu, jika daya yang diproduksi

PLTS lebih besar dari beban yang digunakan, maka daya akan dialirkan ke jala-jala PLN. Sehingga, perlu disimulasikan berapa daya yang berasal dari PLTS, daya yang berasal dari jala-jala PLN, dan daya yang di-export ke jala-jala PLN.

	E_Avail kWh	E_User kWh	E_Grid kWh	EfrGrid kWh	E_Solar kWh
January	1182	1287	532.8	637.4	649.5
February	1153	1162	533.6	543.2	619.2
March	1317	1287	642.1	612.2	674.7
April	1349	1245	674.0	570.1	675.3
May	1451	1287	748.7	584.8	702.1
June	1383	1245	688.6	551.4	694.0
July	1480	1287	758.7	566.0	721.0
August	1519	1287	818.8	586.8	700.1
September	1469	1245	779.7	556.0	689.4
October	1398	1287	714.4	603.7	683.2
November	1189	1245	536.0	592.8	652.7
December	1247	1287	579.7	619.3	687.6
Year	16136	15153	8007.0	7023.7	8128.9

Gambar 8. Penggunaan Energi pada Beban

Berdasarkan pada Gambar 8, dapat dilihat bahwa energi yang dibutuhkan beban dalam satu tahun sebesar 15153 kWh. PLTS menghasilkan energi 16136 kWh, energi tersebut dimanfaatkan oleh beban sebesar 8128.9 kWh, sedangkan 8007 kWh diekspor ke jala-jala. energi listrik dari pln ke beban sebesar 7023.7 kWh

Tabel 8. Distribusi Energi PLTS dan Penggunaan Energi pada Beban

Energy	PLTS 11700 Wp	PLTS 3150 Wp	PLTS 1350 Wp
E_Avail (kWh)	16136	4364,2	1852,4
E_User (kWh)	15153	15153	15153
E_Solar (kWh)	8128,8	4361,8	1852,4
E_Grid (kWh)	8006,8	2,62	0
EfrGrid (kWh)	7023,7	10791	13300

*E\_Avail* : Energi yang dihasilkan PLTS (kWh)

*E\_User*: Energi penggunaan beban (kWh)

*E\_Solar*: Energi dari PLTS yang digunakan beban (kWh)

*E\_Grid* :Energi dari PLTS yang dialirkan ke jala-jala PLN (kWh)

*EfrGrid* :Energi dari jala-jala PLN yang dialirkan ke beban

Berdasarkan pada Tabel 8, Produksi energi pada PLTS 11700Wp 50% dialirkan ke beban dan 50% dialirkan ke grid PLN, penggunaan energi pada beban 54% dari PLTS sedangkan 46% berasal dari PLN. Pada PLTS Berdasarkan Regulasi (PLTS 3150Wp) dari 4364 kWh energi yang dihasilkan PLTS, hanya 2,624 kWh (kurang dari 1 %) dialirkan ke grid PLN, sisanya digunakan langsung oleh beban. Sedangkan penggunaan energi pada beban 29% berasal dari PLTS dan 71% berasal dari grid PLN Pada PLTS Berdasarkan Ketersediaan Dana (PLTS 1350Wp) seluruh energi yang dihasilkan PLTS digunakan langsung oleh beban, sedangkan penggunaan energi pada

beban 12% berasal dari PLTS dan 88% berasal dari grid PLN.

### 3.2.6. Implementasi Perancangan PLTS

Perancangan PLTS yang diimplementasikan adalah PLTS berdasarkan ketersediaan dana Rp. 20.000.000,00. apabila pihak Pondok ingin menambah kapasitas PLTS, maka dapat diimplementasikan PLTS dengan kapasitas 3150Wp. Kapasitas PLTS ini berdasarkan regulasi permen ESDM no 26 tahun 2021 yang menyebutkan bahwa maksimal kapasitas PLTS tidak boleh melebihi daya langganan PLN [18] sedangkan daya langganan PLN beban adalah 3500 VA. Apabila kedepannya Pondok pesantren akan ada pembangunan dan ingin menambah kapasitas PLTS lagi, maka dapat dilakukan implementasi berdasarkan perancangan PLTS berdasarkan potensi yang memiliki kapasitas PLTS 11700Wp.

## 4. Kesimpulan

Pemilihan Panel Surya dilakukan analisis dari 5 variasi panel didapatkan panel surya *monocrystalline* 450Wp dengan efisiensi tertinggi sebesar 18.22%. Perancangan PLTS 11700Wp menggunakan 26 buah panel surya, perancangan PLTS 3150Wp menggunakan 7 buah panel surya, perancangan PLTS 1350Wp menggunakan 3 buah panel surya. Perancangan PLTS 11700Wp menghasilkan energi 16136 kWh dalam satu tahun dengan rasio kinerja 79,6%. Perancangan PLTS 3150Wp menghasilkan energi 4364,2 kWh dalam satu tahun dengan rasio kinerja 80%. Perancangan PLTS 1350Wp menghasilkan energi 1852,4 kWh dalam satu tahun dengan rasio kinerja 79,2%. Energi yang dibutuhkan pada Gedung Tata Usaha Pondok Pesantren Tanbihul Ghofiliin dalam satu tahun adalah 15153 kWh. Energi yang dihasilkan PLTS 11700Wp sebesar 16136 kWh, sebesar 8128,9 kWh digunakan langsung oleh beban, sedangkan 8007 kWh dialirkan ke jala-jala PLN. Energi yang dihasilkan PLTS 3150Wp sebesar 4364,3 kWh, sebesar 4361,7 kWh digunakan langsung oleh beban, sedangkan 2,64 kWh dialirkan ke jala-jala PLN. Energi yang dihasilkan PLTS 1350Wp sebesar 1852,4 kWh, seluruh energi dialirkan ke beban 1852,4 kWh dan tidak energi yang dialirkan ke jala-jala PLN sehingga energi dari jala-jala PLN 10790 kWh

## Referensi

- [1]. Dewan Energi Nasional. Indonesia Energy Outlook 2019. Jakarta. 2019.
- [2]. Satrio D A. Perancangan dan Analisis Kelayakan Tekno Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Kapasitas 1215 Wp dengan Sistem On Grid Skala Rumah Tangga Studi Kasus Perumahan Sambiroto Asri Kota Semarang. Laporan Tugas Akhir Universitas Diponegoro. Semarang. 2020.

- [3]. Kementerian Energi Sumber Daya Mineral. Panduan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat. Jakarta. 2018.
- [4]. Haning D. Askolani I. Buku Pegangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Jakarta. GIZ. 2020. pp. 34-41
- [5]. Boxwell M. Solar Electricity Handbook 2017 Edition. Brimingham: Greenstream Publishing. 2017.
- [6]. Wollny M. Solar Photovoltaic (PV) Installation System Handbook. Jakarta: DG NREEC. 2015.
- [7]. MCS Solar PV Technical Working Group. in *Guide to the Installation of Photovoltaic Systems*. London. MCS. 2012. pp. 48-49.
- [8]. *National Electrical Code (NEC) 2017*. NFPA. Quincy. Massachusett. 2017.
- [9]. *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011)*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta. 2011
- [10]. Ramadhani B. Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos and Don'ts. Jakarta: GIZ. 2018
- [11]. Global Solar Atlas. World Bank Group. [Daring]. Tersedia: [globalsolaratlas.info](http://globalsolaratlas.info). [Diakses 5/12/2021].
- [12]. Google Maps. Google. [Daring]. Tersedia: <https://goo.gl/maps/BtuvDYYPZpSvaunn8>. [Diakses 5/12/21].
- [13]. NASA Prediction of Worldwide Energy Resources(POWER). NASA. [Daring]. Tersedia: <https://power.larc.nasa.gov/>. [Diakses 12/5/2021].
- [14]. Goswami D Y. Principles of Solar Engineering Third Edision. Boca Raton: CRC Press. 2015.
- [15]. Khatri R. Design and assessment of solar PV plant for girls hostel (GARGI) of MNIT University. Jaipur city: A case study. *Energy Reports*. vol. 2. no. ISSN 2352-4847. pp. 89-98. 2016.
- [16]. Sugianto. Comparative Analysis of Solar Cell Efficiency between. *INTEK Jurnal Penelitian*. vol. 7. no. 2. pp. 92-100. 2020.
- [17]. Nayan M F, Ullah S M S, Saif N F. Comparative analysis of PV module efficiency for different types of silicon materials considering the effects of environmental parameters. *2016 3rd International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT)*. 2016.
- [18]. Peraturan Menteri ESDM No 26 tahun 2021. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta. 2021.