

PENGUJIAN DAN IMPLEMENTASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ROOFTOP KAPASITAS 1200WP DENGAN SISTEM ON GRID PADA PT. BPR BKK MANDIRAJA CABANG WANAYASA KABUPATEN BANJARNEGARA

Ilham Muammar Yusuf^{*)}, Jaka Windarta dan Denis

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

^{*)}E-mail: ilham.muammar98@gmail.com

Abstrak

Adanya kekhawatiran biaya penggunaan energi fosil dari PLN yang meningkat serta kebutuhan listrik yang tidak sedikit sehingga diperlukan adanya sistem kelistrikan dengan sumber energi terbarukan. Pembangkit listrik tenaga surya dengan sistem *on grid* merupakan solusi bagi pelanggan PLN untuk mengurangi tagihan listrik. Dengan penggunaan sistem ini akan mengurangi tagihan listrik dan memberikan nilai tambah pada pemilikinya. Pada penelitian ini dilakukan pengujian komponen pada sistem PLTS dan menganalisis dampak dari pengimplementasian PLTS *on grid* terhadap konsumsi energi listrik di lokasi penelitian. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan hasil bahwa array surya memiliki efisiensi sebesar 16,03% dan inverter memiliki efisiensi sebesar 92,61% dimana nilai efisiensi masih lebih rendah dari nilai pada data *sheet* komponen yang disebabkan karena suhu lingkungan yang lebih tinggi dari suhu optimal. Berdasarkan analisis dari produksi PLTS, didapatkan hasil bahwa dari total beban yang beroperasi selama 30 hari objek penelitian hanya memerlukan impor energi listrik dari PLN sebesar 232,318 kWh dari total beban yang beroperasi sebesar 313.99 kWh.

Kata kunci: Fotovoltaik, PLTS, Pengujian, On Grid, Sel Surya.

Abstract

The rising concern over the increasing cost of the usage of fossil fuel by PLN and the high electricity demand made it clear that an electricity system with renewable energy resources is needed. A solar power plant with an on-grid system is the solution for PLN customer to reduce their electricity bills. The use of this system will reduce the customer's household electricity bills and provide new values for the owner. In this research, we conduct a component testing in the solar power plant system, and the impact of implementing the on-grid system in the solar power plant on electrical energy consumption at the research location was analyzed. Based on the test results, obtained the result that the solar array has an efficiency of 16.03% and the inverter has an efficiency of 92.61% where the efficiency value is still lower than the value of the data sheet component because the ambient temperature is higher than the optimal temperature. Based on the analysis of PLTS production, the result shows that from the total load operating for 30 days the object of research only requires imports of electrical energy from PLN of 232.318 kWh from total the operating load of 313.99 kWh.

Keywords: Fotovoltaik, PLTS, Testing, On Grid, Solar Cell.

1. Pendahuluan

Pertumbuhan permintaan listrik, diproyeksikan mencapai 2.214 TWh pada tahun 2050 atau naik hampir 9 kali lipat dari permintaan listrik tahun 2018 sebesar 254,6 TWh. Laju pertumbuhan permintaan listrik rata-rata sebesar 7% per tahun selama periode 2018-2050 [1]

Untuk memenuhi permintaan listrik yang naik sebesar 9 kali lipat dari tahun 2018, maka produksi listrik pada tahun 2050 akan mencapai 2.562 TWh. Semakin berkurangnya produksi energi fosil terutama minyak bumi serta komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah

kaca, serta mendorong Pemerintah untuk meningkatkan peran energi baru dan terbarukan secara terus menerus sebagai bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Sesuai PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050. Indonesia mempunyai potensi energi baru terbarukan yang cukup besar untuk mencapai target bauran energi primer tersebut [1].

Salah satu pemanfaatan sumber energi terbarukan yang cukup potensial di Indonesia adalah energi sinar matahari. Indonesia merupakan negara yang secara geografis terletak

tepat di garis khatulistiwa dan memberikan beragam keuntungan serta potensi besar dalam hal pemanfaatan energi matahari. Hal ini dikarenakan besarnya radiasi matahari bergantung pada letak garis lintang, kondisi atmosfer, dan posisi matahari terhadap garis khatulistiwa [2]. Tingkat radiasi rata-rata di Indonesia relatif tinggi, yaitu 4,80 kWh/m²/hari [3].

Indonesia memiliki total potensi energi terbarukan ekuivalen 442 GW yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik, sedangkan pemanfaatannya pada tahun 2018 baru sebesar 8,8 GW atau 0,019% dari total potensi energi terbarukan. Potensi energi terbarukan terbesar adalah energi surya sebesar 207,8 GWp. Untuk mempercepat pengembangan EBT, Pemerintah telah menetapkan beberapa regulasi, yaitu Peraturan Presiden No. 4 Tahun 2016 (Pasal 14) tentang Percepatan Infrastruktur Ketenagalistrikan mengutamakan pemanfaatan energi baru dan terbarukan, Peraturan Menteri ESDM No. 49 Tahun 2017 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).

Bank Perkreditan Rakyat (BPR) perdesaan atau kecamatan merupakan salah satu Lembaga keuangan yang menyediakan pelayanan perbankan bagi masyarakat menengah ke bawah. Perkembangan sektor perbankan pedesaan juga membawa misi pemerintah dalam upaya pemerataan pembangunan dan pemerataan pendapatan bagi masyarakat bawah melalui mobilisasi penghimpunan dana masyarakat dan disalurkan kembali untuk kegiatan masyarakat serta tujuan untuk menggerakkan potensi ekonomi daerah [4].

Dalam upaya pengembangan sektor perbankan pedesaan, diperlukan adanya peningkatan fasilitas. Upaya tersebut menimbulkan beberapa kekhawatiran, salah satunya peningkatan penggunaan energi listrik PLN yang berpengaruh pada biaya operasional perbankan.

Salah satu solusi dalam permasalahan tersebut adalah pengimplementasian Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Energi listrik searah dapat diperoleh langsung dari sinar matahari menggunakan perangkat *photovoltaic* (PV) berbentuk sel. Sel-sel ini mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui efek photovoltaic. Sel PV merupakan dioda tipe p-n luas yang dirakit dalam suatu modul. Instalasi pada PV, tidak memiliki bagian yang bergerak dan bergetar sehingga tidak menghasilkan suara, serta instalasi PV tidak membutuhkan menara pendingin [5]. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi daya keluaran sel surya, yaitu radiasi matahari, temperatur

sel surya, orientasi panel surya, sudut kemiringan panel surya, dan pengaruh bayangan. [6]

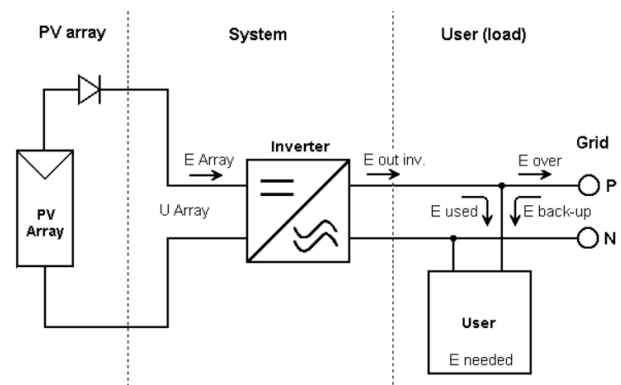
Berangkat dari kondisi tersebut, sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi, penulis merencanakan inisiasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energi listrik terbarukan yang dapat menghemat penggunaan energi fosil dan ramah lingkungan serta dapat diimplementasikan di satu BPR Pedesaan yaitu PT. Bank Perkreditan Rakyat BKK Mandiraja Cabang Wanayasa – Kabupaten Banjarnegara.

Dalam tugas tugas akhir ini akan dilakukan penelitian untuk merancang, menguji, dan mengimplementasikan pembangkit listrik tenaga surya rooftop berkapasitas 1200Wp dengan sistem on grid. Pengujian dan implementasi pembangkit listrik tenaga surya akan diterapkan di atap bangunan untuk mengurangi konsumsi listrik PLN dengan sistem yang terhubung ke jala-jala PLN.

2. Metode

2.1. Perancangan

Dalam penelitian ini, sistem PLTS yang akan diimplementasikan pada lokasi penelitian adalah menggunakan sistem *On Grid*. Sistem *On Grid* adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang selain mengandalkan energi matahari sebagai sumber energi juga dicatu oleh jala jala PLN, sistem ini beroperasi tanpa baterai, karena output listriknya disalurkan ke jaringan distribusi PLN [14]. juga biasa disebut dengan sistem *grid connected*.



Gambar 1. Konfigurasi sistem on grid

Gambar 1 menunjukkan konfigurasi perancangan PLTS sistem *on grid*.

2.2. Kebutuhan Energi Listrik Harian

Berikut profil beban harian di PT. BPR BKK Cabang Wanayasa Kabupaten Banjarnegara:

Tabel 1. Profil beban hari kerja (Senin-Sabtu)

Beban	Jumlah	Daya (W)	Total Daya (W)	Waktu (h)	Energi (Wh)	Jam Pemakaian
Lampu R. Kerja 1	2	18	26	8	208	08.00-16.00
Lampu R. Kerja 2	6	23	138	8	1104	08.00-16.00
Lampu R. Kerja 3	1	23	23	7	161	08.00-15.00
Lampu Kamar Mandi	2	10	20	8	160	08.00-16.00
Lampu Teras	2	65	130	11	1430	18.00-05.00
Lampu Halaman	3	12	36	11	396	18.00-05.00
Lampu Neon Box	1	450	450	11	4950	18.00-05.00
TV LED	1	42	42	2	84	11.30-12.30
Printer 1	1	7.6	7.6	2	15.2	09.00-11.00
Printer 2	1	42.4	42.4	3	127.2	09.00-11.00
Komputer 1	2	57.8	115.6	2	231.2	09.00-11.00
Komputer 2	1	57.8	57.8	5	289	09.00-14.00
Rice Cooker	1	311	311	1	311	11.00-12.00
Wifi	1	3	3	24	72	00.00-23.59
Total					9.339	

Tabel 2. Profil beban akhri pekan (Minggu)

Beban	Jumlah	Daya (W)	Total Daya (W)	Waktu (h)	Energi (Wh)	Jam Pemakaian
Lampu R. Kerja 1	2	18	26	-	-	-
Lampu R. Kerja 2	6	23	138	-	-	-
Lampu R. Kerja 3	1	23	23	-	-	-
Lampu Kamar Mandi	2	10	20	-	-	-
Lampu Teras	2	65	130	11	1430	18.00-05.00
Lampu Halaman	3	12	36	11	396	18.00-05.00
Lampu Neon Box	1	450	450	11	4950	18.00-05.00
TV LED	1	42	42	-	-	-
Printer 1	1	7.6	7.6	-	-	-
Printer 2	1	42.4	42.4	-	-	-
Komputer 1	2	57.8	115.6	-	-	-
Komputer 2	1	57.8	57.8	-	-	-
Rice Cooker	1	311	311	-	-	-
Wifi	1	3	3	24	72	00.00-23.59
Total					7.464	

2.3. Isolasi Matahari

Berikut data insolasi matahari di daerah Wanayasa berdasarkan sumber dari situs online NASA pada tahun 2019:

Tabel 3. Isolasi matahari di lokasi penelitian

BULAN	Insolasi Matahari (kWh/m ² /hari)
Januari	3,86
Februari	3,87
Maret	3,85
April	4,02
Mei	4,44
Juni	4,37
Juli	4,10
Agustus	4,39
September	4,30
Oktober	4,26
November	4,81
Desember	3,60
Rata-Rata	4,16

Nilai rata-rata isolasi matahari pada lokasi penelitian adalah 4,16 kWh/m²/hari. Bulan November memiliki nilai tertinggi karena pada saat itu merupakan puncak musim kemarau sehingga insolasi matahari dapat diterima permukaan bumi lebih maksimal.

2.4. Temperatur Wilayah

Berikut data temperatur wilayah di daerah Wanayasa berdasarkan sumber dari situs online NASA pada tahun 2019:

Tabel 4. Data Temperatur Wilayah

Bulan	Temperatur (°C)
Januari	25,86
Februari	25,69
Maret	25,40
April	26,20
Mei	25,79
Juni	24,54
Juli	24,22
Agustus	25,04
September	27,00
Oktober	28,68
November	28,85
Desember	27,20
Rata-Rata	26,20

Berdasarkan data temperatur wilayah, diketahui bahwa pada tahun 2019 temperatur rata-rata per bulan di lokasi penelitian sebesar 28,86°C.

2.5. Spesifikasi Modul Surya

Modul surya yang digunakan dalam pengimplementasian adalah OSDA Solar 400Wp. Spesifikasi teknis dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. Spesifikasi OSDA Solar 400Wp

Spesifikasi	Nilai
Daya Maksimum (P _{max})	400 Wp
Tegangan Maksimum (V _{mp})	40,36 V
Arus Maksimum (I _{mp})	9,92 A
Tegangan Rangkaian Terbuka (V _{oc})	49,44 V
Arus Hubung Singkat (I _{sc})	10,86 A
Efisiensi Cell	22,21 %
Efisiensi Modul	19,83 %
Dimensi (mm x mm x mm)	2025 x 996 x 40

Modul surya yang akan digunakan sebanyak 3 buah dan dirangkai secara seri. Jika dirangkai seri maka tegangan keluarannya merupakan penjumlahan dari tegangan keluaran tiap modul, dan arus keluarannya sama dengan arus keluaran dari tiap modul [8], sehingga didapatkan nilai spesifikasi 3 modul surya yang dirangkai seri.

Tabel 6. Spesifikasi rangkaian seri 3 buah modul surya

Spesifikasi	Nilai
Daya Maksimum (P_{max})	1200 Wp
Tegangan Maksimum (V_{mp})	121,08 V
Arus Maksimum (I_{mp})	9,92 A
Tegangan Rangkaian Terbuka (V_{oc})	148,32 V
Arus Hubung Singkat (I_{sc})	10,86 A
Efisiensi Cell	22,21 %
Efisiensi Modul	19,83 %

Perhitungan nilai daya maksimum serta efisiensi rangkaian seri modul surya kondisi standar atau STC (*Standard Test Condition*) menggunakan data yang tertera pada nameplate. Kondisi standar yaitu pengujian dengan $1000W/m^2$ dan temperatur $25^{\circ}C$.

2.6. Spesifikasi Inverter

Inverter yang digunakan dalam penelitian ini adalah inverter Solis Mini 1500 4G. Solis Mini 1500 4G adalah grid tie inverter, sehingga tegangan dan frekuensi keluarannya sama dengan grid. Spesifikasi inverter Solis Mini 1500 4G terdapat pada tabel berikut:

Tabel 7. Spesifikasi Inverter SOLIS Mini 1500 4G

Spesifikasi	Nilai
Input DC	
Daya Array Surya Maksimal	1800 W
Tegangan DC Maksimal	600 V
Tegangan <i>Start-up</i>	60 V
Arus Masukan Maksimal	11 A
Rentang Tegangan MPPT	50-500 V
Output AC	
Daya Keluaran Maksimal	1500 W
Rentang Tegangan Grid Nominal	220-230 V
Arus Keluaran Maksimal	8,1 A
Rentang Frekuensi Grid	57-52 atau 57-62
Data Umum	
Efisiensi Maksimal	97,2%
Dimensi	310W x 373H* x 160D

Kapasitas inverter yang penulis pilih memiliki daya masukan pada rentang 0,9 – 1,25 dari daya yang dihasilkan modul surya sehingga aman digunakan dan tidak terjadi inefisiensi[8].

].

$$0,9 \times PDC \text{ Larik modul surya} \leq PAC \text{ Inverter} \leq 1,25 \times PDC \text{ Larik modul surya}$$

$$0,9 \times 1200 \leq 1500W \leq 1,25 \times 1200W$$

$$1080 W \leq 1500 W \leq 1500 W$$

Rating tegangan dan arus disesuaikan dengan rating array surya.

2.7. Penghantar DC

Untuk menentukan penghantar DC yang digunakan dalam pengimplementasian PLTS *rooftop* ini diperlukan nilai arus maksimal keluaran dari *array* surya yang dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_{max} = I_{sc} \times \text{Jumlah string}$$

$$I_{max} = 10,86 A \times 1 = 10,86 A$$

Kemudian menentukan kuat hantar arus kabel yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$KHA = I_{max} \times \text{Faktor Koreksi}$$

$$KHA = 10,86 A \times 1,25 = 13,575 A$$

Penentuan luas penampang kabel yang dipilih mengacu pada metode instalasi B1 karena kabel akan di masukkan ke dalam conduit agar lebih terproteksi. Berdasarkan PUIL 2011[9] kabel yang dibutuhkan adalah kabel dengan minimal luas penampang sebesar $1,5 \text{ mm}^2$ berkonduktor tembaga dengan KHA sebesar 23 A, sehingga akan digunakan kabel PV1-F merk slocable dengan luas penampang sebesar 6 mm^2 .

2.8. Penghantar AC

Untuk menentukan penghantar AC yang digunakan dalam perancangan PLTS *rooftop* ini diperlukan nilai arus maksimal keluaran dari inverter yang dapat dilihat pada spesifikasi inverter di Tabel 7, kemudian menentukan kuat hantar arus kabel yang dibutuhkan menggunakan persamaan berikut:

$$KHA = I_{max} \times \text{Faktor Koreksi}$$

$$KHA = 8,1 A \times 1,25 = 10,125 A$$

Penentuan luas penampang kabel yang dipilih mengacu pada PUIL 2011[9] metode instalasi B1 karena kabel akan dimasukkan ke dalam conduit. Berdasarkan PUIL 2011, luas penampang minimal yang bisa dialiri arus sebesar 10,125 A adalah seluas $1,5 \text{ mm}^2$ dengan KHA sebesar 18,5 A, sehingga kabel yang akan adalah kabel NYM merk Pulung dengan 3 inti yang masing-masing digunakan untuk fasa, netral dan arde dengan luas penampang sebesar 4 mm^2 .

2.9. Fuse DC

Pada Pengimplementasian PLTS *rooftop* ini arus maksimal dari array surya yang mengalir dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$I_{max} = I_{sc} \times \text{Jumlah string}$$

$$I_{max} = 10,86 A \times 1 = 10,86 A$$

Berdasarkan standar NEC untuk menentukan rating Fuse DC yang digunakan dalam perancang PLTS, arus maksimal array surya yang didapatkan dari perhitungan harus dikalikan dengan factor kali 1,25[10].

$$\text{Rating Fuse} = I_{max} \times \text{Faktor Koreksi}$$

$$\text{Rating Fuse} = 10,86 A \times 1,25 = 13,575 A$$

Dari nilai perhitungan, Fuse DC yang dapat digunakan adalah dengan minimal rating 13,575 A. Fuse DC yang penulis pilih untuk diimplementasikan adalah Fuse DC dengan merk TOMZN dengan rating 16 A.

2.10. MCB AC

Untuk menentukan MCB AC yang digunakan dalam pengimplementasian PLTS rooftop, diperlukan nilai arus maksimal keluaran dari inverter yang dapat dilihat pada spesifikasi inverter di Tabel 7, kemudian untuk menentukan rating arus pada MCB AC yang akan digunakan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Rating MCB} = I_{\text{max}} \times \text{Faktor Koreksi}$$

$$\text{Rating MCB} = 8,1 \text{ A} \times 1,25 = 10,125 \text{ A}$$

Berdasarkan standar NEC untuk menentukan rating MCB yang digunakan dalam implementasi PLTS, arus maksimal inverter surya yang didapatkan dari perhitungan harus dikalikan dengan faktor kali 1,25 [9]. Dari hasil perhitungan arus rating MCB AC menunjukan nilai yang lebih tinggi dari rating MCB AC yang sudah terpasang, hal tersebut dapat mengakibatkan kelebihan arus pada MCB rumah pembangkit.[11] Sehingga MCB AC yang penulis pilih untuk diimplementasikan adalah MCB AC merk Schneider dengan rating 6 A.

2.11. PD DC

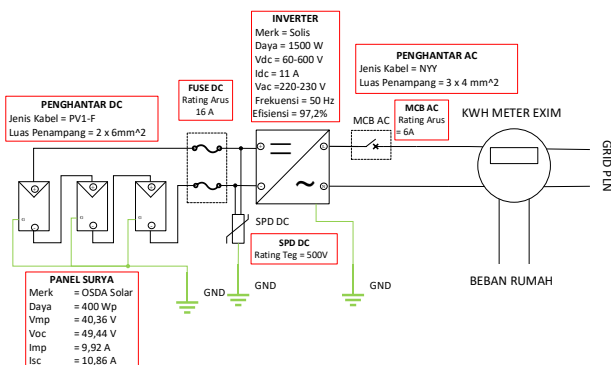
VOC keluaran array surya adalah sebesar 148,32 V, sehingga nilai rating minimal SPD DC dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_{\text{rating}} = V_{\text{oc}} \times \text{Faktor Kali}$$

$$V_{\text{rating}} = 148,32 \times 1,2 = 177,98 \text{ V}$$

Faktor kali untuk menentukan rating SPD DC minimal yang diperlukan adalah 1,2 [11]. Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai rating tegangan minimal SPD DC sebesar 177,98V, sehingga SPD DC yang penulis pilih untuk diimplementasikan adalah SPD DC 500 V merk Suntime.

Setelah menentukan komponen-komponen yang akan digunakan dalam pembangkit listrik tenaga surya, tahapan selanjutnya adalah pembuatan rancangan instalasi PLTS. Berikut rangkaian instalasi PLTS sistem on grid rooftop yang akan di implementasikan.



Gambar 2. Detail engineering Design

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Modul Surya

A. Iradian.

Pengujian iradian bertujuan untuk mengukur iradiasi matahari. Alat ukur yang digunakan yaitu irradiance meter. Cara menggunakan alat ukur ini yaitu tegak lurus dengan sudut kemiringan modul fotovoltaik.

Pengukuran iradian dilakukan dengan sudut azimuth panel surya 90° dengan kemiringan 25°. Pengukuran iradian dilakukan selama 3 hari pada tanggal 24 Oktober 2020, 25 Oktober 2020, dan 26 Oktober 2020 dengan interval waktu pengujian setiap 15 menit dimulai pada jam 08.00 WIB sampai 16.45 WIB. Data hasil pengujian iradian dan suhu modul surya terdapat pada Tabel 8.

Tabel 8. Data hasil pengujian iradian

Jam (WIB)	Iradian (W/m²)		
	24 Oktober 2020 (Cerah)	25 Oktober 2020 (Berawan)	26 Oktober 2020 (Mendung)
08:00	286.60	571.20	344.60
08:15	218.40	503.30	412.80
08:30	220.10	321.70	447.80
08:45	595.40	430.70	346.90
09:00	493.20	435.80	464.60
09:15	381.80	460.30	346.70
09:30	240.40	238.70	285.20
09:45	435.80	105.30	334.40
10:00	425.10	115.10	369.20
10:15	1115.50	135.90	208.50
10:30	248.90	208.40	233.60
10:45	195.80	308.80	419.20
11:00	309.10	153.60	549.20
11:15	235.40	196.70	245.20
11:30	360.40	231.40	158.50
11:45	255.20	727.20	105.80
12:00	415.70	102.10	18.00
12:15	370.60	321.30	12.50
12:30	296.20	417.20	30.40
12:45	219.00	155.90	11.70
13:00	295.80	103.20	14.10
13:15	122.70	171.60	17.30
13:30	129.40	110.40	36.10
13:45	91.00	198.30	66.50
14:00	29.00	271.40	54.60
14:15	62.00	122.30	83.00
14:30	80.00	145.00	62.00
14:45	218.00	225.50	79.20
15:00	59.80	150.60	45.10
15:15	59.90	80.00	21.10
15:30	62.00	113.20	12.20
15:45	40.10	74.90	11.40
16:00	18.40	96.00	25.20
16:15	12.50	40.10	32.50
16:30	11.70	26.20	33.10
16:45	10.80	14.50	19.40

Berdasarkan data pada Tabel 8, jumlah iradiasi matahari terbesar yaitu pada tanggal 24 Oktober 2020 sebesar 8621.70 Wh/m2, kemudian pada tanggal 26 Oktober 2020 sebesar 8083,80 Wh/m2, dan paling kecil pada tanggal 27 Oktober 2020 sebesar 5952,1 Wh/m2. Naik turunnya tingkat iradiasi matahari dapat disebabkan karena kondisi

langit yang berawan ataupun modul surya yang tertutup bayangan.

B. Daya Masukan

Daya masukan panel surya dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Pin = E \times A$$

Dengan luas penampang modul surya adalah 2,025m x 0.996m = 2,0169m². Jumlah modul surya yang digunakan adalah 3 buah sehingga luas permukaannya menjadi 6,0507m². Dengan melakukan perhitungan dengan rumus, didapatkan data seperti yang terdapat pada Tabel 9.

Tabel 9. Data hasil perhitungan daya masukan

Jam (WIB)	24 Oktober 2020		25 Oktober 2020		26 Oktober 2020	
	Iradiasi (W/m ²)	Pin (W)	Iradiasi (W/m ²)	Pin (W)	Iradiasi (W/m ²)	Pin (W)
08:00	286.60	1734.13	571.20	3456.16	344.60	2085.07
08:15	218.40	1321.47	503.30	3045.32	412.80	2497.73
08:30	220.10	1331.76	321.70	1946.51	447.80	2709.50
08:45	595.40	3602.59	430.70	2606.04	346.90	2098.99
09:00	493.20	2984.21	435.80	2636.90	464.60	2811.16
09:15	381.80	2310.16	460.30	2785.14	346.70	2097.78
09:30	240.40	1454.59	238.70	1444.30	285.20	1725.66
09:45	435.80	2636.90	105.30	637.14	334.40	2023.35
10:00	425.10	2572.15	115.10	696.44	369.20	2233.92
10:15	1115.50	6749.56	135.90	822.29	208.50	1261.57
10:30	248.90	1506.02	208.40	1260.97	233.60	1413.44
10:45	195.80	1184.73	308.80	1868.46	419.20	2536.45
11:00	309.10	1870.27	153.60	929.39	549.20	3323.04
11:15	235.40	1424.33	196.70	1190.17	245.20	1483.63
11:30	360.40	2180.67	231.40	1400.13	158.50	959.04
11:45	255.20	1544.14	727.20	4400.07	105.80	640.16
12:00	415.70	2515.28	102.10	617.78	18.00	108.91
12:15	370.60	2242.39	321.30	1944.09	12.50	75.63
12:30	296.20	1792.22	417.20	2524.35	30.40	183.94
12:45	219.00	1325.10	155.90	943.30	11.70	70.79
13:00	295.80	1789.80	103.20	624.43	14.10	85.31
13:15	122.70	742.42	171.60	1038.30	17.30	104.68
13:30	129.40	782.96	110.40	668.00	36.10	218.43
13:45	91.00	550.61	198.30	1199.85	66.50	402.37
14:00	29.00	175.47	271.40	1642.16	54.60	330.37
14:15	62.00	375.14	122.30	740.00	83.00	502.21
14:30	80.00	484.06	145.00	877.35	62.00	375.14
14:45	218.00	1319.05	225.50	1364.43	79.20	479.22
15:00	59.80	361.83	150.60	911.24	45.10	272.89
15:15	59.90	362.44	80.00	484.06	21.10	127.67
15:30	62.00	375.14	113.20	684.94	12.20	73.82
15:45	40.10	242.63	74.90	453.20	11.40	68.98
16:00	18.40	111.33	96.00	580.87	25.20	152.48
16:15	12.50	75.63	40.10	242.63	32.50	196.65
16:30	11.70	70.79	26.20	158.53	33.10	200.28
16:45	10.80	65.35	14.50	87.74	19.40	117.38

Data pada Tabel 9 menunjukkan hasil perhitungan daya masukan pada modul surya selama 3 hari pada tanggal 24 Oktober sampai 26 Oktober 2020. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai daya masukan tertinggi yaitu tanggal 24 Oktober pada jam 10:15 WIB sebesar 6749.56W dengan nilai iradian 1115,5 W/m² dan daya paling rendah yaitu tanggal 24 Oktober pada jam 16:45 WIB sebesar 65,35W dengan nilai iradian 20,80 W/m².

C. Tegangan Open Circuit dan Arus Short Circuit

Pengujian tegangan open circuit dan arus short circuit bertujuan untuk menghitung daya keluaran maksimum modul fotovoltaik. Alat ukur yang digunakan yaitu multimeter. Hasil data pengujian sesuai Tabel 10.

Tabel 10. Hasil pengujian Voc dan Isc

Jam	VOC (V)			ISC (A)				
	Panel 1	Panel 2	Panel 3	Panel 1	Panel 2	Panel 3		
08:00	46.18	46.26	46.14	138.59	2.66	2.63	2.7	2.71
08:15	45.34	45.42	45.46	136.21	2.47	2.45	2.44	2.55
08:30	45.25	45.30	45.23	135.85	2.18	2.19	2.37	2.27
08:45	46.19	46.25	46.16	138.7	6.54	6.52	6.58	6.59
09:00	45.77	45.85	45.79	137.4	4.03	4.01	4	4.11
09:15	45.32	45.40	45.28	136.02	2.65	3.27	3.45	3.35
09:30	45.23	45.31	45.35	135.86	2.23	2.2	2.27	2.28
09:45	45.77	45.82	45.75	137.4	4	3.98	3.97	4.08
10:00	45.88	45.94	45.85	137.75	3.96	3.97	4.15	4.05
10:15	45.73	45.81	45.75	137.29	10.22	10.2	10.26	10.27
10:30	44.45	44.53	44.41	133.4	1.77	1.75	1.74	1.85
10:45	44.51	44.59	44.63	133.7	1.26	1.88	2.06	1.96
11:00	45.20	45.25	45.18	135.7	2.59	2.56	2.63	2.64
11:15	44.66	44.72	44.63	134.1	2.18	2.16	2.15	2.26
11:30	45.30	45.38	45.32	136	3.02	3.03	3.21	3.11
11:45	45.18	45.26	45.14	135.6	2.6	2.58	2.64	2.65
12:00	44.84	44.92	44.96	134.7	3.29	3.27	3.26	3.37
12:15	44.97	45.02	44.95	135	2.81	2.8	2.98	2.88
12:30	44.93	44.99	44.90	134.9	2.54	2.51	2.58	2.59
12:45	44.90	44.98	44.92	134.8	2.13	2.11	2.1	2.21
13:00	44.71	44.79	44.67	134.2	2.45	2.46	2.64	2.54
13:15	43.77	43.85	43.89	131.5	1.21	1.19	1.25	1.26
13:30	44.87	44.92	44.85	134.7	1.27	1.25	1.24	1.35
13:45	44.36	44.42	44.33	133.2	0.69	0.7	0.88	0.78
14:00	42.84	42.92	42.86	128.6	0.28	0.25	0.32	0.33
14:15	44.15	44.23	44.16	132.5	0.65	0.63	0.83	0.73
14:30	43.44	43.52	43.56	130.5	0.71	0.72	0.9	0.8
14:45	46.17	46.22	46.15	138.6	2.12	2.1	2.09	2.2
15:00	43.56	43.62	43.53	130.8	0.51	0.5	0.58	0.53
15:15	43.50	43.58	43.52	130.6	0.46	0.45	0.5	0.48
15:30	44.15	44.23	44.11	132.5	0.71	0.7	0.78	0.73
15:45	43.04	43.12	43.16	129.3	0.4	0.39	0.44	0.42
16:00	41.50	41.55	41.48	124.6	0.18	0.19	0.23	0.2
16:15	41.09	41.15	41.06	123.4	0.13	0.12	0.17	0.15
16:30	40.97	41.05	40.99	123	0.13	0.14	0.18	0.15
16:45	40.91	40.99	40.87	122.8	0.09	0.08	0.12	0.1

Berdasarkan Tabel 10, jika modul fotovoltaik dirangkai seri maka nilai arusnya sama, nilai tegangan keluarannya merupakan penjumlahan dari tiap tegangan keluaran tiap modul[7]. Sedangkan arus hubung singkat modul ditentukan oleh jumlah string sel yang terhubung paralel. Arus hubung singkat juga tergantung pada teknologi sel, kualitas bahan yang digunakan, proses pembuatan, serta ukuran sel. Dengan demikian, karakteristik kurva I-V dari modul surya tergantung pada interkoneksi sel suryanya [13]

D. Fill Factor

Fill factor merupakan daya yang tersedia pada maximum power point (Pm) dibagi dengan tegangan open circuit (Voc) dan arus hubung singkat (Isc). Hasil pengujian tegangan open circuit dan arus short circuit pada jam 08:00 sebesar 138,59V dan 2,71 A, sehingga dapat dihitung nilai

maximum power voltage hitung dan maximum power current dengan menggunakan persamaan seperti berikut:

$$Vmp \text{ hitung} = Voc \text{ ukur} \times \frac{Vmp \text{ nameplate}}{Voc \text{ nameplate}}$$

$$Vmp \text{ hitung} = 138,59 \times \frac{40,36}{49,44} = 113,14 \text{ V}$$

$$Imp \text{ hitung} = Isc \text{ ukur} \times \frac{Imp \text{ nameplate}}{Isc \text{ nameplate}}$$

$$Imp \text{ hitung} = 2,71 \times \frac{9,92}{10,86} = 2,48 \text{ A}$$

Sehingga didapatkan fill factor dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Fill \text{ Factor} = \frac{Vmp \text{ hitung} \times Imp \text{ hitung}}{Voc \text{ ukur} \times Isc \text{ ukur}}$$

$$Fill \text{ Factor} = \frac{113,4 \times 2,48}{138,59 \times 2,71} = 0,746$$

E. Daya Keluaran Maksimum

Tabel 11. Data hasil perhitungan fill factor dan daya maksimum

Jam (WIB)	FF	24 Oktober 2020		25 Oktober 2020		26 Oktober 2020	
		Iradiasi (W/m ²)	Pm (W)	Iradiasi (W/m ²)	Pm (W)	Iradiasi (W/m ²)	Pm (W)
08:00	0.746	286.60	280.06	571.20	441.31	344.60	291.85
08:15	0.746	218.40	259.00	503.30	474.39	412.80	353.48
08:30	0.746	220.10	229.95	321.70	345.81	447.80	363.59
08:45	0.746	595.40	681.58	430.70	418.02	346.90	293.23
09:00	0.746	493.20	421.10	435.80	365.34	464.60	399.73
09:15	0.746	381.80	339.78	460.30	412.34	346.70	291.29
09:30	0.746	240.40	230.98	238.70	223.82	285.20	245.71
09:45	0.746	435.80	418.02	105.30	110.41	334.40	285.18
10:00	0.746	425.10	416.01	115.10	125.34	369.20	300.53
10:15	0.746	1115.50	1051.39	135.90	128.51	208.50	179.32
10:30	0.746	248.90	184.03	208.40	217.60	233.60	200.21
10:45	0.746	195.80	195.41	308.80	294.31	419.20	360.39
11:00	0.746	309.10	267.14	153.60	175.21	549.20	428.27
11:15	0.746	235.40	225.99	196.70	193.91	245.20	205.84
11:30	0.746	360.40	315.39	231.40	256.64	158.50	134.19
11:45	0.746	255.20	267.95	727.20	679.93	105.80	97.34
12:00	0.746	415.70	338.49	102.10	103.07	18.00	17.58
12:15	0.746	370.60	289.92	321.30	360.43	12.50	13.85
12:30	0.746	296.20	260.54	417.20	420.86	30.40	33.39
12:45	0.746	219.00	222.15	155.90	159.82	11.70	12.84
13:00	0.746	295.80	254.18	103.20	102.88	14.10	14.12
13:15	0.746	122.70	123.55	171.60	165.22	17.30	16.97
13:30	0.746	129.40	135.60	110.40	120.00	36.10	35.81
13:45	0.746	91.00	77.47	198.30	184.03	66.50	70.68
14:00	0.746	29.00	31.65	271.40	262.36	54.60	57.18
14:15	0.746	62.00	72.13	122.30	135.49	83.00	88.26
14:30	0.746	80.00	77.85	145.00	149.21	62.00	65.21
14:45	0.746	218.00	227.37	225.50	234.95	79.20	82.00
15:00	0.746	59.80	51.69	150.60	160.83	45.10	47.72
15:15	0.746	59.90	46.75	80.00	77.85	21.10	22.57
15:30	0.746	62.00	72.13	113.20	119.82	12.20	12.78
15:45	0.746	40.10	40.50	74.90	77.29	11.40	11.77
16:00	0.746	18.40	18.58	96.00	92.80	25.20	27.55
16:15	0.746	12.50	13.80	40.10	40.50	32.50	33.62
16:30	0.746	11.70	13.76	26.20	28.25	33.10	32.43
16:45	0.746	10.80	9.16	14.50	15.63	19.40	21.37

Daya keluaran maksimum merupakan daya maksimum yang dapat dikeluarkan oleh modul fotovoltaik. Nilai daya

keluaran maksimum yang dapat dikeluarkan modul fotovoltaik dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut [15]:

$$Pm = Voc \text{ ukur} \times Isc \text{ ukur} \times Fill \text{ Factor}$$

$$Pm = 138,59 \times 2,71 \times 0,746 = 280,06 \text{ W}$$

Dengan menggunakan perhitungan fill factor dan daya keluaran maksimum di atas, didapatkan nilai perhitungan fill factor dan daya keluaran modul surya pada setiap waktu pengujiannya seperti yang terdapat pada Tabel 11.

Data pada Tabel 11 menunjukkan data nilai perhitungan daya keluaran maksimum. Nilai daya maksimum tertinggi pada terjadi pada tanggal 24 oktober yaitu pukul 10:15 sebesar 1051,39W dan terendah terjadi pada tanggal 24 oktober yaitu pukul 16:45 sebesar 9,16W. Daya tertinggi terjadi disebabkan karena tingginya jumlah iradiasi matahari yang dapat diserap oleh modul fotovoltaik pada saat itu sehingga nilai Voc dan Isc juga semakin tinggi. Daya terendah dapat terjadi karena 2 kondisi, yaitu ketika cahaya matahari tertutup awan ataupun kondisi lapangan yang semakin mendekati malam, sehingga semakin rendahnya iradiasi matahari.

F. Efisiensi Modul Surya

Efisiensi modul surya merupakan perbandingan daya keluaran dan daya masukan modul fotovoltaik. Berdasarkan data pengujian pada Tabel 9 dan Tabel 11, didapatkan nilai Pin dan Pm sebesar 4881,19W dan 849,28W. Nilai efisiensi modul fotovoltaik dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{Pm}{Pin} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{849,28}{4881,19} \times 100\%$$

$$\eta = 17,40\%$$

Dengan menggunakan perhitungan efisiensi modul fotovoltaik di atas, didapatkan data nilai perhitungan pada setiap waktu pengujiannya. Hasil perhitungan efisiensi yang cenderung lebih kecil dari nilai efisiensi yang terdapat pada nameplate modul disebabkan karena pengaruh dari suhu yang lebih tinggi dari kondisi optimal untuk pemakaian modul fotovoltaik, karena semakin tinggi nilai suhu maka daya keluaran akan semakin kecil sesuai dengan kurva pengaruh suhu terhadap tegangan dan daya [12]. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan rata-rata efisiensi modul surya sebesar 16.03%.

3.2. Pengujian Inverter

Pengujian unjuk kerja sistem PLTS bertujuan untuk menganalisis efisiensi dari inverter saat sistem beroperasi, tegangan keluaran dan frekuensi inverter. Pengambilan data unjuk kerja sistem PLTS dilakukan selama 2 hari yaitu pada tanggal 22 Oktober 2020 dan 23 Oktober 2020 dari jam 08:00 sampai jam 16.45 dengan kondisi cuaca mendung. Data unjuk kerja sistem PLTS terdapat pada Tabel 12 dan Tabel 13

Tabel 12. Data pengujian Inverter

Jam (WIB)	V _{grid} (V)	F (Hz)	I _{inverter-grid} (A)	P _{out} (W)	V _{solar} (V)	I _{solar} (A)	P _{solar} (W)
08:00	225.9	50	0.8	170	119.9	1.5	180
08:15	226	49.96	0.8	140	117.7	1.3	153
08:30	225.3	50	0.9	180	117.8	1.6	188
08:45	225	49.98	1.1	220	117.8	2	236
09:00	229	49.98	1.1	240	121.8	2.1	256
09:15	227.2	49.96	1.2	250	121.7	2.2	268
09:30	227.8	50.03	1.8	410	119.8	3.6	431
09:45	227.5	50.1	2	440	119.5	3.9	466
10:00	220.2	50	1	210	115.8	2	232
10:15	225.9	50	0.8	170	119.9	1.5	180
10:30	226.6	50	1.1	230	119.6	2	239
10:45	224.6	49.9	1.4	280	117.8	2.5	295
11:00	226	49.96	0.8	140	117.9	1.3	153
11:15	226.4	49.96	0.9	180	117.7	1.6	188
11:30	226.2	49.99	0.9	180	117.9	1.6	189
11:45	229.8	49.96	5.7	1300	123.8	11.2	1387
12:00	230.4	50.05	1.2	260	117.7	2.3	271
12:15	226	49.98	0.8	140	117.7	1.3	153
12:30	228.5	49.98	0.8	160	118	1.4	165
12:45	229.2	50.02	1.2	270	117.7	2.4	282
13:00	228.3	49.98	1.2	270	117.8	2.4	283
13:15	226.6	49.97	1.5	300	117.8	2.8	330
13:30	226.6	50	1.9	410	119.7	3.7	443
13:45	226.7	50.1	0.5	60	113.8	0.6	68
14:00	226.1	50.01	0.6	80	117.8	0.8	94
14:15	227	50.02	1.1	220	119.8	1.9	228
14:30	227.4	50.02	1.5	320	119.8	2.8	335
14:45	228	50.03	1.9	460	117.5	4.1	482
15:00	228.5	49.5	0.4	20	103.8	0.2	21
15:15	220.5	49.3	0.4	9	101.9	0.1	10
15:30	227	49.98	0.4	8	90.4	0.1	9
15:45	228.1	50.02	0.4	8	95.5	0.1	10
16:00	228.1	50.01	0.4	8	95.8	0.1	10
16:15	220.4	50.04	0.4	8	97.5	0.1	10
16:30	221.3	49.92	0.4	8	97.2	0.1	10
16:45	225.5	50.01	0.4	8	95.8	0.1	10

Tabel 13. Data pengujian Inverter

Jam (WIB)	V _{grid} (V)	F (Hz)	I _{inverter-grid} (A)	P _{out} (W)	V _{solar} (V)	I _{solar} (A)	P _{solar} (W)
08:00	228.9	50.05	0.6	90	117.4	0.8	94
08:15	228.7	50.03	0.7	120	117.6	1.1	129
08:30	228.2	49.99	0.7	130	115.6	1.2	139
08:45	228.3	49.97	1.3	280	117.8	2.5	295
09:00	228.7	49.97	1.8	400	117.6	3.6	423
09:15	228.7	50.02	3.9	890	117.1	8.2	960
09:30	225.8	49.98	1.1	220	117.5	2	235
09:45	225.8	50.03	0.9	170	117.5	1.5	176
10:00	228.7	50.02	5	1150	120.9	10	1209
10:15	226.8	50	1.6	350	116.6	3.1	361
10:30	229.1	50.04	4.1	1180	114.3	10.9	1246
10:45	225.9	49.97	1.4	300	115.6	2.7	312
11:00	223	49.95	5.3	1180	117.4	10.9	1280
11:15	227.5	50.01	5.2	1190	112.1	11.2	1256
11:30	226.3	49.97	2.7	430	115.4	3.9	450
11:45	229.6	49.97	1	170	115.5	1.6	185
12:00	228.9	50.04	0.6	90	117.5	0.8	94
12:15	228.7	50.03	0.7	120	117.6	1.1	129
12:30	227.4	50	1.2	240	118.1	2.1	248
12:45	223.4	50.3	3	660	120.1	5.7	685
13:00	224.3	49.98	1.8	370	110.9	3.5	388
13:15	221.7	49.96	4.2	860	120.2	7.4	889
13:30	223.6	49.96	1.8	360	113.7	3.3	375
13:45	222.7	49.96	0.5	60	112.1	0.6	67
14:00	222.5	50.02	0.8	140	117.2	1.3	152
14:15	221.4	49.96	1.2	250	112.2	2.3	258
14:30	224.7	49.96	0.9	180	117.2	1.6	188
14:45	223.5	59.95	0.9	160	118	1.4	165
15:00	223.7	50.01	0.9	180	116.1	1.6	186
15:15	224.4	49.97	0.5	310	116.1	2.8	325
15:30	224.4	50.02	0.4	11	124.5	0.1	12
15:45	228.7	50.02	0.4	11	123.5	0.1	12
16:00	229.1	50.01	0.4	9	105.2	0.1	11
16:15	228.1	50.01	0.4	8	95.8	0.1	10
16:30	229	50.01	0.4	8	96.5	0.1	10
16:45	221.3	49.92	0.4	8	97.2	0.1	10

Berdasarkan data pada Tabel 12 dan Tabel 13, dapat dilihat bahwa tegangan keluaran inverter selalu berubah dengan *range* tegangan keluaran berkisar antara 220,2V sampai dengan 230,4V, serta didapatkan nilai frekuensi yang selalu berubah namun masih dalam kisaran 50 Hz. Hal ini disebabkan karena inverter yang selalu mensinkronkan tegangan dan frekuensi keluarannya dengan *grid*, sehingga sistem antara PLTS dan *grid* dapat terinterkoneksi.

A. Efisiensi Inverter

Efisiensi inverter merupakan perbandingan daya keluaran dan daya masukan dari inverter, dimana daya masukan inverter merupakan daya yang dihasilkan dari panel surya atau disebut P_{Solar}.

Berdasarkan data pada Tabel 13, pada hari ke-1 jam 08:00 didapatkan nilai P_{out} 749W dan P_{Solar} 812W. Nilai efisiensi modul fotovoltaik dapat dihitung menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{170}{180} \times 100\%$$

$$\eta = 94,52\%$$

Dengan menggunakan perhitungan efisiensi inverter di atas, didapatkan data nilai perhitungan pada setiap waktu pengambilan data. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi inverter, didapatkan bahwa rata-rata efisiensi inverter pada hari ke-1 dan ke-2 sebesar 92,61%. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi inverter, didapatkan bahwa efisiensi inverter hasil perhitungan lebih rendah daripada yang pada *data sheet*, dimana pada *data sheet* menyatakan efisiensi maksimal sebesar 97,2%. Hal ini disebabkan oleh naiknya suhu inverter saat sistem beroperasi. Selain itu pada kondisi sore hari, tegangan keluaran dari modul surya menjadi *drop* akibat menurunnya arus keluaran dari panel surya akibat posisi matahari yang sudah membelakangi panel surya.

3.3. Pengujian Pembumian

Pengujian pembumian dilakukan untuk mengetahui kualitas pembumian dari PLTS di lokasi objek penelitian. Hasil pengujian pembumian terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil pengujian pembumian

Berdasarkan hasil pengujian pentanahan, didapatkan nilai tahanan pentanahan sebesar 2.13Ω . Hal ini menunjukkan bahwa tahanan pentanahan di objek lokasi penelitian termasuk baik karena memiliki nilai tahanan $<5\Omega$.

3.4. Pengujian Pembebanan

Pengujian pembebanan dilakukan pada tanggal 22 Oktober 2020 dengan kondisi cuaca berawan, dimana hal ini menyebabkan arus keluaran inverter berubah-ubah saat dilakukannya pengambilan data. Pengujian Pembebanan dilakukan dengan memvariasikan beban dalam 3 kondisi yaitu kondisi $I_{Load} < I_{Inverter-Grid}$; $I_{Load} = I_{Inverter-Grid}$; dan $I_{Load} > I_{Inverter-Grid}$. Pengujian pembebanan bertujuan untuk menganalisis pembagian beban antara grid dan pembangkit listrik tenaga surya on grid. Data pengujian pembebanan terdapat pada Tabel 15.

Tabel 15. Data pengujian Pembebanan

Jam	I_{load} (A)	$I_{inverter-grid}$ (A)	I_{grid} (A)	Kondisi
10:30	0.15	5.0	4.81	$I_{Load} < I_{Inverter-Grid}$
11:00	1.16	4.64	3.41	$I_{Load} < I_{Inverter-Grid}$
11:15	2.06	5.49	3.49	$I_{Load} < I_{Inverter-Grid}$
11:30	1.65	1.72	0.07	$I_{Load} = I_{Inverter-Grid}$
11:35	2.96	1.86	1.12	$I_{Load} > I_{Inverter-Grid}$
11:45	1.99	1.13	0.97	$I_{Load} > I_{Inverter-Grid}$
12:40	2.41	1.26	0.96	$I_{Load} > I_{Inverter-Grid}$

Berdasarkan Tabel 15, dapat dilihat bahwa nilai $|I_{load} - I_{inverter-grid}|$ hampir sama dengan I_{grid} . Adanya selisih perbedaan disebabkan oleh arus beban yang berubah-ubah. Pada saat I_{load} 1,16A dan $I_{inverter-grid}$ 4,64A didapatkan I_{grid} 3.41A. Hal ini menunjukkan bahwa semua beban ditanggung oleh pembangkit listrik tenaga surya sebesar 1.16A dan mengexport ke grid sebesar 3.41A, karena $I_{inverter-grid}$ lebih besar daripada I_{load} .

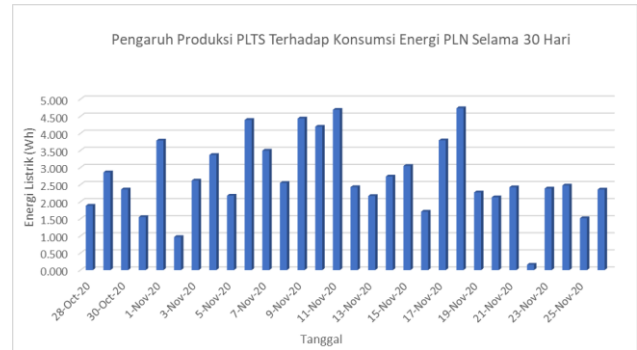
Pada saat I_{load} 1.65A dan $I_{inverter-grid}$ 1.72A didapatkan hasil I_{grid} 0.07A atau mendekati 0A. Hal ini menunjukkan bahwa semua beban ditanggung oleh pembangkit listrik tenaga surya tanpa melakukan impor maupun export daya terhadap grid, karena $I_{inverter-grid} = I_{load}$.

Pada saat I_{load} 2.41A dan $I_{inverter-grid}$ 1.26A didapatkan hasil I_{grid} 0.96A. Hal ini menunjukkan bahwa pembangkit listrik tenaga surya hanya mampu menanggung beban sebesar 1.26A dan sisanya di tanggung oleh grid dengan mengimpor dari grid sebesar 0.96A karena $I_{inverter-grid} < I_{load}$.

3.5. Perhitungan Total Produksi Energi Listrik PLTS

Analisis produksi energi listrik PLTS bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kontribusi PLTS terhadap beban yang beroperasi pada lokasi penelitian. Data produksi energi listrik PLTS diambil dari sistem monitoring Inverter SOLIS melalui web SOLIS HOME yang bisa di akses melalui *smart phone* atau laptop. Dari

data tersebut dapat dihitung total produksi energi listrik selama waktu pengambilan data dengan menjumlahkan rata-rata produksi setiap jamnya. Dari data hasil perhitungan total produksi PLTS selama 30 hari dari tanggal 28 Oktober 2020 samapi dengan 26 Oktober 2020 didapatkan grafik seperti pada Gambar 4.

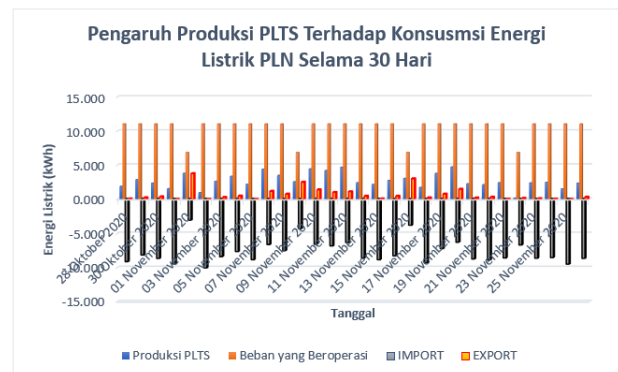


Gambar 4. Produksi listrik PLTS selama 30 hari.

Dapat dilihat bahwa produksi PLTS berbeda stiap harinya, selisih perbedaan ini disebabkan oleh adanya perbedaan kecerahan cuaca pada waktu pengambilan data. Rata-rata produksi PLTS selama 30 hari dari tanggal 28 Oktober 2020 samapi dengan 26 Oktober 2020 yaitu sebesar 2.722 kWh.

A. Perhitungan Kontribusi Produksi Listrik PLTS Terhadap Konsumsi Listrik dari PLN Selama 30 Hari.

Dengan asumsi konsumsi beban selama 30 hari dari tanggal 28 Oktober 2020 samapi 26 November 2020 sesuai dengan dengan Tabel 1 dan 2, dapat dihitung kontribusi PLTS terhadap konsumsi listrik PLN. Berdasarkan hasil perhitunga dari data penghasilan listrik PLTS dan data konsumsi beban harian semala 30 hari, didapatkan grafik seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh produksi listrik PLTS terhadap konsumsi energi PLN selama 30 hari.

Berdasarkan Gambar 5, dilihat bahwa selam 30 hari objek penelitian hanya memerlukan impor energi listrik dari PLN sebesar 232,318 kWh yang sebelumnya memerlukan

import energi listrik dari PLN sebesar 313.99 kWh. Ini menunjukkan bahwa PLTS dapat menyumbangkan kontribusi produksi listrik terhadap konsumsi energi listrik dari PLN sebesar 81.673 kWh. Disamping itu PLTS dapat melakukan ekspor energi listrik disaat produksinya melebihi kebutuhan beban yang beroperasi sebesar 20.841 kWh.

Dari total energi listrik yang diimpor dari grid dan total energi listrik yang diekspor ke grid dapat dihitung total tagihan listrik selama satu bulan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Tagihan Listrik Pelanggan (kWh)} &= \Sigma \text{ kWh Impor} - 65\% \Sigma \text{ kWh Ekspor} \\ &= (232,318 - 65\% \cdot 20.841) \text{ kWh} = 218.771 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Dengan asumsi harga listrik 1 kWh adalah Rp. 1.467 maka total biaya tagihan listrik selama 30 hari pada tanggal 28 Oktober – 26 November adalah Rp.320.937 yang sebelumnya membutuhkan biaya tagihan listrik sebesar Rp.460.623. Ini menunjukkan setelah di pasang PLTS pada lokasi penelitian dapat melakukan penghematan tagihan listrik sebesar Rp. 139.686.

4. Kesimpulan

Pembangkit listrik tenaga surya 1200Wp dengan sistem *on grid* sudah berhasil di implementasikan dan didapatkan hasil bahwa *array* surya memiliki efisiensi sebesar 16,03% dan inverter memiliki efisiensi sebesar 92.61%, dimana nilai efisiensi kedua komponen tersebut dibawah nilai efisiensi yang tertera pada nameplate. Setelah di implementasikan dilakukan analisis kontribusi PLTS terhadap konsumsi listrik dari PLN selama 30 hari. PLTS dapat menyumbangkan kontribusi produksi listrik terhadap konsumsi energi listrik dari PLN sebesar 81673 Wh atau 81.673 kWh dan dapat melakukan ekspor energi listrik disaat produksinya melebihi kebutuhan beban yang beroperasi sebesar 20841 Wh atau 20.841 kWh. Dengan asumsi harga listrik 1 kWh adalah Rp.1.467 maka total biaya tagihan listrik selama 30 hari pada tanggal 28 Oktober – 26 November adalah Rp.320.937 yang sebelumnya membutuhkan biaya tagihan listrik sebesar Rp.460.623.

Referensi

- [1]. S. Suharyati, S. H. Pambudi, J. L. Wibowo, and N. I. Pratiwi, "Outlook Energi Indonesia 2019," 2019.
- [2]. A. K. Abu, I. Muslih, and M. A. Barghash, "Life Cycle Costing of PV Generation System" *J. Appl. Res. Ind. Eng.*, vol. 4, no. 3, pp. 185–191, 2020, doi: 10.22105/jarie.2017.54726.
- [3]. Bien, L. E., Perancangan Sistem Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Jala-jala Listrik PLN untuk Rumah Perkotaan, Universitas Trisakti, 2008.
- [4]. Zednita Azriani, Harianto, dan Nunung Nuryartono "PERANAN BANK PERKREDITAN RAKYAT TERHADAP KINERJA USAHA KECIL DI SUMATERA BARAT"
- [5]. Bachtiar, Muhammad, "Prosedur Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Perumahan (Solar Home System)", *SMARTek*, vol.4, no.3, pp. 176-182, 2006.
- [6]. B. Bagaskoro, J. Windarta, and Denis, "LISTRIK TENAGA SURYA SISTEM OFFGRID MENGGUNAKAN CEMARA," *TRANSIENT J. Ilm. Tek. Elektro UNDIP*, vol. 8, no. 2, pp. 152–157, 2019.
- [7]. ABB, Technical Application Papers N0.10 Photovoltaic Plants, Bergamo Italy, 2008.
- [8]. German Solar Energy Society, *Planning and Installing Photovoltaic Systems A guide for installers, architects and engineers second edition*, 2nd ed. Earthscan, 2008.
- [9]. Standar Nasional Indonesia 0225:2011, Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011). 2011.
- [10]. National Electrical Code, "Article 690-Solar Photovoltaic Systems," pp. 623–638, 2014.
- [11]. B. Ramadhani, Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts. Energising Development (EnDev) Indonesia Deutsche, 2018.
- [12]. Subandi dan Slamet Hani, "Pembangkit Listrik Energi Matahari Sebagai Penggerak Pompa Air Dengan Menggunakan Solar Cell", *JURNAL TEKNOLOGI TECHNOSCIENTIA*, vol.7 no.2, Februari 2015.
- [13]. M. Kaltschmitt, W. Streicher, and A. Wiese, *Renewable energy: Technology, and environment economics*. 2007.
- [14]. A. A. Ngurah *et al.*, "Analisis Produksi Energi dari Inverter pada Grid-connected PLTS 1 MWp di Desa Kayubih Kabupaten Bangli," *Tekno. Elektro*, vol. 16, no. 1, 2017.
- [15]. Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T., "Laporan Hasil Pengujian Panel Surya YUNDA P120", Program Studi Magister Energi Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro, 2017.