

Pengujian dan Implementasi PLTS Sistem On Grid 1200Wp di BPR BKK Mandiraja Cabang Wanayasa

Testing and Implementation of 1200Wp Rooftop On Grid PLTS at BPR BKK Mandiraja Wanayasa Branch

Jaka Windarta¹, Enda Wista Sinuraya¹, Denis¹, Ilham Muammar Yusuf¹, Darell Mahardhika¹
¹Departemen Teknik Elektro UNDIP email: jakawindarta@lecturer.undip.ac.id

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 pemiliknya. Pada penelitian ini dilakukan pengujian komponen pada sistem PLTS dan menganalisis dampak dari pengimplementasian PLTS on grid terhadap konsumsi energi listrik di lokasi penelitian. Pengujian dilakukan selama 6 hari mulai tanggal 24 sampai 29 Oktober 2020 dengan kondisi cuaca real lapangan. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan hasil bahwa array surya memiliki efisiensi sebesar 15,88% 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 PLTS on grid dapat memproduksi energi listrik sebesar 2,51 kWh. Dengan produksi listrik 2,51 kWh didapatkan hasil bahwa pada 1 hari kerja PLTS dapat mengoperasikan beban sebesar 3,32 kWh dan melakukan penghematan penggunaan listrik dari PLN sebesar 75,6%, kemudian pada 1 hari akhir pekan PLTS dapat mengoperasikan beban sebesar 0,027 kWh dan melakukan ekspor energi listrik ke grid sebesar 2,47 kWh.

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

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 (Suharyati et al., 2019).

Untuk memenuhi permintaan listrik yang naik sebesar 9 kali lipat dari tahun 2018, maka produksi listrik pada tahun 2050 akan mencapai 2.562 TWh. Berkurangnya produksi energi fosil terutama minyak bumi serta komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, mendorong Pemerintah untuk meningkatkan peran energi baru dan terbarukan secara terus

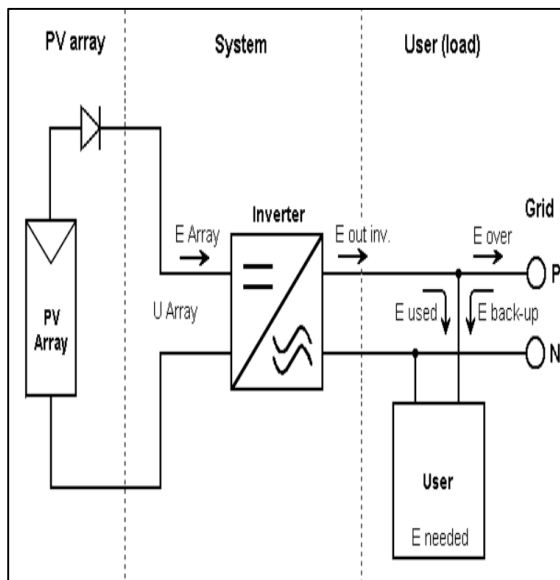
menerus sebagai bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Sesuai PP No.79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050. Indonesia mempunyai potensi energi baru terbarukan yang cukup besar untuk mencapai target bauran energi primer tersebut (Suharyati et al., 2019).

Bank Perkreditan Rakyat (BPR) pedesaan atau kecamatan memegang peran penting dalam meningkatkan perekonomian bangsa Indonesia di pedesaan. Akan tetapi, mengingat lokasi atau tempat Bank Perkreditan Rakyat (BPR) yang berada di pedesaan pengelolaan terhadap fasilitas perbankan belum dilaksanakan secara

optimal dan merata. 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.

Mengingat kebutuhan akan energi listrik yang ramah lingkungan yang terus meningkat, maka pemanfaatan atap rumah untuk dijadikan lahan PLTS dapat menjadi salah satu solusi yang efektif dan efisien. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk menguji, dan mengimplementasikan pembangkit listrik tenaga surya rooftop dengan kapasitas 1200Wp dengan sistem *on grid*.

PERANCANGAN



Gambar 1. Konfigurasi sistem *on grid*

Gambar 1 menunjukkan konfigurasi perancangan PLTS sistem *on grid*. Berikut penentuan komponen spesifikasi tiap komponen pembangkit listrik tenaga surya sistem *on grid*.

Kebutuhan Energi Listrik Harian

Berikut profil beban harian dari BPR BKK Mandiraja Cabang Wanayasa

Tabel 1. Profil beban hari kerja (Senin Sabtu)

Beban	Jumlah	Daya (W)	Total Daya (W)	Waktu (h)	Energi (Wh)	Jam Pemakaian
Lampu Ruang Kerja 1	2	18	26	8	208	08.00-16.00
Lampu Ruang Kerja 2	6	23	138	8	1104	08.00-16.00
Lampu Ruang 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 dan 14.30-15.30
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 dan 13.00-14.00
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 akhir pekan (Minggu)

Beban	Jumlah	Daya (W)	Total Daya (W)	Waktu (h)	Energi (Wh)	Jam Pemakaian
Lampu Ruang Kerja 1	2	18	26	-	-	-
Lampu Ruang Kerja 2	6	23	138	-	-	-
Lampu Ruang Kerja 3	1	23	23	-	-	-
Lampu Kamar Mandi	2	10	20	-	-	-
Lampu Teras	2	65	130	12	1560	18.00-06.00
Lampu Halaman	3	12	36	12	432	18.00-06.00
Lampu Neon Box	1	450	450	12	5400	18.00-06.00
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	3	57,8	173,4	-	-	-
Rice Cooker	1	311	311	-	-	-
Wifi	1	3	3	24	72	00.00-23.59
Total					7464	

Insolasi Matahari

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

Tabel 3. Data insolasi matahari

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 tahun 2019 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. Bulan Maret memiliki nilai terendah karena pada saat itu merupakan musim penghujan.

Temperatur Wilayah

Berikut data temperatur wilayah di daerah Wanayasa bersumber 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 26,20°C.

Spesifikasi Modul Surya

Modul surya yang digunakan dalam pengimplementasian adalah OSDA Solar

40oWp. Spesifikasi teknis dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. Spesifikasi Canadian Solar 405Wp

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 (ABB, 2008), sehingga didapatkan nilai spesifikasi 3 modul surya yang dirangkai seri sebagai berikut:

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/m² dan temperatur 25°C.

Spesifikasi Inverter

Inverter yang digunakan dalam pengimplementasian 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 7:

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 (GSES, 2008).

Tabel 7. Spesifikasi Inverter Solis Mini 1500 4G

Spesifikasi	Nilai
Input DC	
Daya Array Surya Maksimal	1800 W
Tegangan DC Maksimal	600 V
Tegangan Start-up	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

0,9 x PDC Larik modul surya ≤ PAC
 Inverter ≤ 1,25 x PDC Larik modul surya
 0,9 x 1200 ≤ 1500W ≤ 1,25 x 1200W
 1080 W ≤ 1500 W ≤ 1500 W

Rating tegangan dan arus disesuaikan dengan rating array surya.

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:

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

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

$$I_{max} = 10,86 \text{ A}$$

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

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

$$KHA = 10,86 \text{ A} \times 1,25$$

$$KHA = 13,575 \text{ A}$$

Sehingga dengan arus maksimal keluaran dari panel surya sebesar 10,86 A yang kemudian dikalikan dengan faktor kali 1,25

didapatkan KHA sebesar 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 (BSN, 2011) kabel yang dibutuhkan adalah kabel dengan minimal luas penampang sebesar 1,5 mm² berkonduktor tembaga dengan KHA sebesar 23 A, sehingga akan digunakan kabel PV1-F merk slocable dengan luas penampang sebesar 2,5 mm².

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:

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

$$KHA = 8,1 \text{ A} \times 1,25$$

$$KHA = 10,125 \text{ A}$$

Sehingga dengan arus maksimal keluaran dari inverter sebesar 8,1 A yang kemudian dikalikan dengan faktor kali 1,25 didapatkan arus sebesar 10,125 A. Penentuan luas penampang kabel yang dipilih mengacu pada PUIL 2011 (BSN, 2011) 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 mm² 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 1,5 mm².

Fuse DC

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

$$\begin{aligned} I_{max} &= I_{sc} \times \text{Jumlah string} \\ I_{max} &= 10,86 \text{ A} \times 1 \\ I_{max} &= 10,86 \text{ A} \end{aligned}$$

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 (Holt, 2014).

$$\begin{aligned} \text{Rating Fuse} &= I_{max} \times \text{Faktor Koreksi} \\ \text{Rating Fuse} &= 10,86 \text{ A} \times 1,25 \\ \text{Rating Fuse} &= 13,575 \text{ A} \end{aligned}$$

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.

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:

$$\begin{aligned} \text{Rating MCB} &= I_{max} \times \text{Faktor Koreksi} \\ \text{Rating MCB} &= 8,1 \text{ A} \times 1,25 \\ \text{Rating MCB} &= 10,125 \text{ A} \end{aligned}$$

Berdasarkan standar NEC untuk menentukan rating MCB yang digunakan dalam perancangan PLTS, arus maksimal array surya yang didapatkan dari perhitungan harus dikalikan dengan faktor kali 1,25 (Holt, 2014), sehingga MCB AC yang dapat digunakan adalah dengan minimal rating 10,125A. MCB AC yang penulis pilih untuk implementasi adalah MCB AC merk broco dengan rating 10A.

PD DC

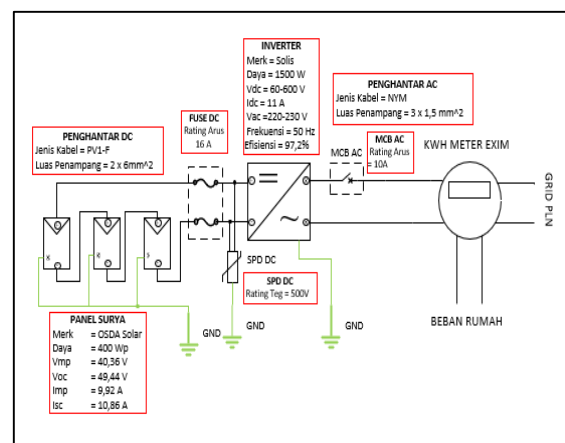
VOC keluaran array surya adalah sebesar 148,32 V, sehingga nilai rating minimal SPD DC dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{rating} &= V_{oc} \times \text{Faktor Kali} \\ V_{rating} &= 148,32 \times 1,2 \\ V_{rating} &= 177,98 \text{ V} \end{aligned}$$

Faktor kali untuk menentukan rating SPD DC minimal yang diperlukan adalah 1,2 (Ramadhani, 2018). 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 Suntimee.

PENGUJIAN DAN ANALISIS

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

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.

Pengujian modul surya dilakukan selama 3 hari pada tanggal 24 Oktober, 26 Oktober, dan 27 Oktober 2020 dengan interval waktu pengujian setiap 15 menit dimulai pada jam 08:00 WIB sampai 16:45 WIB dengan kondisi cuaca cerah. Data hasil pengujian iradian dan suhu modul surya terdapat pada Tabel 8.

Tabel 8. Data hasil pengujian iradian

Jam (WIB)	Iradian (W/m ²)		
	24 Oktober 2020 (Cerah)	26 Oktober 2020 (Berawan)	27 Oktober 2020 (Mendung)
8:00	286.60	571.20	344.60
8:15	218.40	503.30	412.80
8:30	220.10	321.70	447.80
8:45	595.40	430.70	346.90
9:00	493.20	435.80	464.60
9:15	381.80	460.30	346.70
9:30	240.40	238.70	285.20
9:45	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	6.20
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

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. Nilai iradian tertinggi didapatkna pada saat kondisi cuaca cerah karena tidak ada awan yang menutupi pancaran sinar matahari sehingga pancaran matahari lebih maksimal. Pada kondisi

cuaca berawan, iradiasi cukup tinggi namun tidak sebesar saat kondisi cerah, dimana hal ini disebabkan karena adanya pergeseran awan sehingga menghalangi datangnya pancaran sinar matahari. Jumlah iradiasi paling rendah didapatkan pada saat kondisi cuaca mendung, dimana hal ini disebabkan karena kondisi awan yang tebal dan gelap sehingga iradasi yang melewati awan sangat kecil. Puncak iradiasi terjadi pada jam 10:15 WIB disebabkan karena pemasangan panel surya pada azimuth -90° dengan sudut kemiringan 25°. Nilai iradiasi mulai turun pada jam 09:15 WIB hingga 16.45 WIB, dengan nilai iradiasi paling rendah pada pukul 16:45 WIB, dengan iradiasi paling rendah pada jam 16:45 WIB sebesar 10.8 W/m². Menurunnya tingkat iradiasi matahari terhadap modul surya disebabkan karena posisi matahari yang sudah tidak.

b. Daya Masukan

Daya masukan panel surya dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P_{in} = E \times A$$

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 denga rumus, didapatkan data seperti yang terdapat pada Tabel 9.

Data pada Tabel 9 menunjukkan bahwa nilai daya masukan didapatkan dari hasil perkalian iradiasi matahari dengan luas permukaan modul surya. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai daya masukan tertinggi pada jam 10:15 WIB yaitu 6749,56W dan paling rendah pada jam 16:45 WIB sebesar 65,35W, hal ini menunjukkan bahwa daya masukan berbanding lurus dengan iradiasi matahari yang diterima modul surya.

Tabel 9. Data hasil perhitungan daya masukan

Jam (WIB)	Iradian (W/m ²)	Pin (W)
8:00	286.60	1734.13
8:15	218.40	1321.47
8:30	220.10	1331.76
8:45	595.40	3602.59
9:00	493.20	2984.21
9:15	381.80	2310.16
9:30	240.40	1454.59
9:45	435.80	2636.90
10:00	425.10	2572.15
10:15	1115.50	6749.56
10:30	248.90	1506.02
10:45	195.80	1184.73
11:00	309.10	1870.27
11:15	235.40	1424.33
11:30	360.40	2180.67
11:45	255.20	1544.14
12:00	415.70	2515.28
12:15	370.60	2242.39
12:30	296.20	1792.22
12:45	219.00	1325.10
13:00	295.80	1789.80
13:15	122.70	742.42
13:30	129.40	782.96
13:45	91.00	550.61
14:00	29.00	175.47
14:15	62.00	375.14
14:30	80.00	484.06
14:45	218.00	1319.05
15:00	59.80	361.83
15:15	59.90	362.44
15:30	62.00	375.14
15:45	40.10	242.63
16:00	18.40	111.33
16:15	12.50	75.63
16:30	11.70	70.79
16:45	10.80	65.35

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.

Berdasarkan Tabel 10, jika modul fotovoltaik dirangkai seri maka nilai arusnya sama, nilai tegangan keluarannya merupakan penjumlahan dari tiap tegangan keluaran tiap modul (ABB, 2008).

Tabel 10. Hasil pengujian Voc dan Isc

Jam	Voc (V)			Voc Seri (V)			Isc (A)			Isc Seri (A)
	Panel 1	Panel 2	Panel 3	Panel 1	Panel 2	Panel 3	Panel 1	Panel 2	Panel 3	
8:00	46.18	46.26	46.14	46.20	138.59	2.66	2.63	2.7	2.71	
8:15	45.34	45.42	45.46	45.40	136.21	1.78	1.76	1.75	1.86	
8:30	45.25	45.30	45.23	45.28	135.85	2.18	2.19	2.37	2.27	
8:45	46.19	46.25	46.16	46.23	138.7	6.54	6.52	6.58	6.59	
9:00	45.77	45.85	45.79	45.80	137.4	4.03	4.01	4	4.11	
9:15	45.32	45.40	45.28	45.34	136.02	2.65	2.67	3.45	3.35	
9:30	45.23	45.31	45.35	45.29	135.86	2.23	2.2	2.27	2.28	
9:45	45.77	45.82	45.75	45.80	137.4	4	3.98	3.97	4.08	
10:00	45.88	45.94	45.85	45.92	137.75	3.96	3.97	4.15	4.05	
10:15	45.73	45.81	45.75	45.76	137.29	10.22	10.2	10.26	10.27	
10:30	44.45	44.53	44.41	44.47	133.4	1.77	1.75	1.74	1.85	
10:45	44.51	44.59	44.63	44.57	133.7	1.26	1.88	2.06	1.96	
11:00	45.20	45.25	45.18	45.23	135.7	2.59	2.56	2.63	2.64	
11:15	44.66	44.72	44.63	44.70	134.1	2.18	2.16	2.15	2.26	
11:30	45.30	45.38	45.32	45.33	136	3.02	3.03	3.21	3.11	
11:45	45.18	45.26	45.14	45.20	135.6	2.6	2.58	2.64	2.65	
12:00	44.84	44.92	44.96	44.90	134.7	3.29	3.27	3.26	3.37	
12:15	44.97	45.02	44.95	45.00	135	2.81	2.8	2.98	2.88	
12:30	44.93	44.99	44.90	44.97	134.9	2.54	2.51	2.58	2.59	
12:45	44.90	44.98	44.92	44.93	134.8	2.13	2.11	2.1	2.21	
13:00	44.71	44.79	44.67	44.73	134.2	2.45	2.46	2.64	2.54	
13:15	43.77	43.85	43.89	43.83	131.5	1.21	1.19	1.25	1.26	
13:30	44.87	44.92	44.85	44.90	134.7	1.27	1.25	1.24	1.35	
13:45	44.36	44.42	44.33	44.40	133.2	0.69	0.7	0.88	0.78	
14:00	42.84	42.92	42.86	42.87	128.6	0.28	0.25	0.32	0.33	
14:15	44.15	44.23	44.16	44.17	132.5	0.65	0.63	0.83	0.73	
14:30	43.44	43.52	43.56	43.50	130.5	0.71	0.72	0.9	0.8	
14:45	46.17	46.22	46.15	46.20	138.6	2.12	2.1	2.09	2.2	
15:00	43.56	43.62	43.53	43.60	130.8	0.51	0.5	0.58	0.53	
15:15	43.50	43.58	43.52	43.53	130.6	0.46	0.45	0.5	0.48	
15:30	44.15	44.23	44.11	44.17	132.5	0.71	0.7	0.78	0.73	
15:45	43.04	43.12	43.16	43.10	129.3	0.4	0.39	0.44	0.42	
16:00	41.50	41.55	41.48	41.53	124.6	0.18	0.19	0.25	0.2	
16:15	41.09	41.15	41.06	41.13	123.4	0.13	0.12	0.17	0.15	
16:30	40.97	41.05	40.99	41.00	123	0.13	0.14	0.2	0.15	
16:45	40.91	40.99	40.87	40.93	122.8	0.09	0.08	0.12	0.1	

d. Fill Factor

Fill factor merupakan daya yang tersedia pada maximum power point (Pm) dibagi dengan tegangan open circuit (Voc) dan arus hubungan singkat (Isc). Hasil pengujian tegangan open circuit dan arus short circuit pada jam 08:00 sebesar 129,05V dan 8,45 A, sehingga dapat dihitung nilai maximum power voltage hitung dan maximum power current dengan menggunakan persamaan seperti berikut:

Vmp hitung

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

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

$$Vmp \text{ hitung} = 113,14 \text{ V}$$

Imp hitung

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

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

$$Imp \text{ hitung} = 2,48 \text{ A}$$

Sehingga didapatkan fill factor dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Fill Factor} = \frac{V_{mp} \text{ hitung} \times I_{mp} \text{ hitung}}{V_{oc} \text{ ukur} \times I_{sc} \text{ ukur}}$$

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

$$\text{Fill Factor} = 0,746$$

e. Daya Keluaran Maksimum

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:

$$P_m = V_{oc} \text{ ukur} \times I_{sc} \text{ ukur} \times \text{Fill Factor}$$

$$P_m = 138,59 \times 2,71 \times 0,746$$

$$P_m = 280,06 \text{ W}$$

Tabel 11. Data hasil perhitungan *fill factor* dan daya maksimum

Jam (WIB)	V _{oc} (V)	I _{sc} (A)	FF	P _m (W)
8:00	138.59	2.71	0.746	280.06
8:15	136.21	1.86	0.746	188.92
8:30	135.85	2.27	0.746	229.95
8:45	138.7	6.59	0.746	681.58
9:00	137.4	4.11	0.746	421.10
9:15	136.02	3.35	0.746	339.78
9:30	135.86	2.28	0.746	230.98
9:45	137.4	4.08	0.746	418.02
10:00	137.75	4.05	0.746	416.01
10:15	137.29	10.27	0.746	1051.39
10:30	133.4	1.85	0.746	184.03
10:45	133.7	1.96	0.746	195.41
11:00	135.7	2.64	0.746	267.14
11:15	134.1	2.26	0.746	225.99
11:30	136	3.11	0.746	315.39
11:45	135.6	2.65	0.746	267.95
12:00	134.7	3.37	0.746	338.49
12:15	135	2.88	0.746	289.92
12:30	134.9	2.59	0.746	260.54
12:45	134.8	2.21	0.746	222.15
13:00	134.2	2.54	0.746	254.18
13:15	131.5	1.26	0.746	123.55
13:30	134.7	1.35	0.746	135.60
13:45	133.2	0.78	0.746	77.47
14:00	128.6	0.33	0.746	31.65
14:15	132.5	0.73	0.746	72.13
14:30	130.5	0.8	0.746	77.85
14:45	138.6	2.2	0.746	227.37
15:00	130.8	0.53	0.746	51.69
15:15	130.6	0.48	0.746	46.75
15:30	132.5	0.73	0.746	72.13
15:45	129.3	0.42	0.746	40.50
16:00	124.6	0.2	0.746	18.58
16:15	123.4	0.15	0.746	13.80
16:30	123	0.15	0.746	13.76
16:45	122.8	0.1	0.746	9.16

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 pukul 10:15 yaitu 1051,39W dan terendah terjadi pada pukul 16:45 yaitu 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:

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \times 100\%$$

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

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

Dengan menggunakan perhitungan efisiensi modul fotovoltaik di atas, didapatkan data nilai perhitungan pada setiap waktu pengujiannya seperti yang terdapat pada Tabel 12.

Tabel 12 menunjukkan data hasil perhitungan efisiensi modul fotovoltaik. 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 (Subandi, dan Hani, 2015). Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan rata-rata efisiensi modul surya sebesar 15.88%.

Tabel 12. Data hasil perhitungan efisiensi modul surya

Jam (WIB)	Irad (W/m ²)	Subu (°C)	Pin (W)	Pm (W)	μ
8:00	286.60	24.3	1734.13	280.06	16.15
8:15	218.40	25.4	1321.47	188.92	14.30
8:30	220.10	26	1331.76	229.95	17.27
8:45	595.40	28.3	3602.59	681.58	18.92
9:00	493.20	30.3	2984.21	421.10	14.11
9:15	381.80	30.1	2310.16	339.78	14.71
9:30	240.40	30.2	1454.59	230.98	15.88
9:45	435.80	30.5	2636.90	418.02	15.85
10:00	425.10	32.8	2572.15	416.01	16.17
10:15	1115.50	38.7	6749.56	1051.39	15.58
10:30	248.90	34.7	1506.02	184.03	12.22
10:45	195.80	28.7	1184.73	195.41	16.49
11:00	309.10	32.2	1870.27	267.14	14.28
11:15	235.40	31.8	1424.33	225.99	15.87
11:30	360.40	30.1	2180.67	315.39	14.46
11:45	255.20	30.1	1544.14	267.95	17.35
12:00	415.70	33.2	2515.28	338.49	13.46
12:15	370.60	33.2	2242.39	289.92	12.93
12:30	296.20	31.3	1792.22	260.54	14.54
12:45	219.00	30.7	1325.10	222.15	16.76
13:00	295.80	30.3	1789.80	254.18	14.20
13:15	122.70	30.8	742.42	123.55	16.64
13:30	129.40	30.1	782.96	135.60	17.32
13:45	91.00	29.9	550.61	77.47	14.07
14:00	29.00	28.9	175.47	31.65	18.03
14:15	62.00	26.9	375.14	72.13	19.23
14:30	80.00	27.5	484.06	77.85	16.08
14:45	218.00	28.9	1319.05	227.37	17.24
15:00	59.80	27.5	361.83	51.69	14.29
15:15	59.90	26.5	362.44	46.75	12.90
15:30	62.00	25.5	375.14	72.13	19.23
15:45	40.10	24.2	242.63	40.50	16.69
16:00	18.40	24.1	111.33	18.58	16.69
16:15	12.50	24.9	75.63	13.80	18.25
16:30	11.70	24.8	70.79	13.76	19.43
16:45	10.80	23.4	65.35	9.16	14.01

2.13Ω. Hal ini menunjukkan bahwa tahanan pentanahan di objek lokasi penelitian termasuk baik karena memiliki nilai tahanan <5Ω.

Pengujian Pembebanan

Pengujian pembebanan dilakukan pada tanggal 25 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 13.

Tabel 13. Data pengujian Pembebanan

Jam	I _{load} (A)	I _{Inverter-Grid} (A)	I _{grid} (A)	Kondisi
10:30	0.15	5,0	4.81	$I_{Load} < I_{Inverter-Grid}$
11:05	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	$I_{Load} > I_{Inverter-Grid}$

Pengujian Pembumian



Gambar 3. Hasil pengujian pembumian

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

Berdasarkan hasil pengujian pentanahan, didapatkan nilai tahanan pentanahan sebesar

Berdasarkan Tabel 13, dapat dilihat bahwa nilai $|I_{load} - I_{inverter-grid}|$ hampir sama dengan I_{grid} . Pada saat tak berbeban atau $I_{Load} = 0.15A$ dan $I_{inverter-grid} 5A$, didapatkan nilai I_{grid} sebesar 4,81A. Hal ini menunjukkan bahwa saat keadaan tidak berbeban, semua daya yang dihasilkan dari sistem PLTS di ekspor ke *grid* sebesar 4,81A, karena pada kondisi $I_{Load} < I_{Inverter-Grid}$.

Pada saat $I_{load} 2.06A$ dan $I_{inverter-grid} 5.49A$ didapatkan $I_{grid} 3.49A$. Hal ini menunjukkan bahwa semua beban ditanggung oleh pembangkit listrik tenaga surya sebesar 2.06A dan mengexport ke *grid* sebesar 3.49A, 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 ekspor daya terhadap *grid*, karena $I_{\text{inverter-grid}} = I_{\text{load}}$.

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

Pengujian Unjuk Kerja Sistem PLTS

Tabel 14. Data hasil produksi PLTS hari ke-1

Jam (WIB)	V_{grid} (V)	F (Hz)	$I_{\text{inverter-grid}}$ (A)	P_{out} (W)	V_{inverter} (V)	I_{inverter} (A)	P_{inverter} (W)
8:00	225.9	50	0.8	170	119.9	1.5	180
8:15	226	49.96	0.8	140	117.7	1.3	153
8:30	225.3	50	0.9	180	117.8	1.6	188
8:45	225	49.98	1.1	220	117.8	2	236
9:00	229	49.98	1.1	240	121.8	2.1	256
9:15	227.2	49.96	1.2	250	121.7	2.2	268
9:30	227.8	50.03	1.8	410	119.8	3.6	431
9:45	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

Pengujian unjuk kerja sistem PLTS bertujuan untuk menganalisis efisiensi dari inverter saat sistem beroperasi, tegangan keluaran dan frekuensi inverter, serta menganalisis produksi sistem PLTS selama periode waktu pengujian terhadap rata-rata pemakaian beban harian rumah. Pengambilan data produksi energi listrik PLTS dilakukan selama 2 hari yaitu pada tanggal 28 Oktober 2020 dan 29 Oktober 2020 dari jam 08:00 sampai jam 16.45 dengan kondisi cuaca cerah dan berawan.

Data produksi energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS terdapat pada Tabel 14 dan Tabel 15.

Tabel 15. Data hasil produksi PLTS hari ke-2

Jam (WIB)	V_{grid} (V)	F (Hz)	$I_{\text{inverter-grid}}$ (A)	P_{out} (W)	V_{inverter} (V)	I_{inverter} (A)	P_{inverter} (W)
8:00	228.9	50.05	0.6	90	117.4	0.8	94
8:15	228.7	50.03	0.7	120	117.6	1.1	129
8:30	228.2	49.99	0.7	130	115.6	1.2	139
8:45	228.3	49.97	1.3	280	117.8	2.5	295
9:00	228.7	49.97	1.8	400	117.6	3.6	423
9:15	228.7	50.02	3.9	890	117.1	8.2	960
9:30	225.8	49.98	1.1	220	117.5	2	235
9:45	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 14 dan Tabel 15, 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.

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 14, pada

hari ke-1 jam 08:00 didapatkan nilai Pout 749W dan Psolar 812W. Nilai efisiensi modul fotovoltaik dapat dihitung menggunakan persamaan 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 datanya seperti yang terdapat pada Tabel 16.

Tabel 16. Hasil perhitungan efisiensi inverter

Jam (WIB)	Hari ke-1			Hari ke-2		
	P _{out} (W)	P _{solar} (W)	η (%)	P _{out} (W)	P _{solar} (W)	η (%)
08:00	170	180	94.52	90	94	95.83
08:15	140	153	91.50	120	129	92.76
08:30	180	188	95.50	130	139	93.71
08:45	220	236	93.38	280	295	95.08
09:00	240	256	93.83	400	423	94.48
09:15	250	268	93.37	890	960	92.69
09:30	410	431	95.07	220	235	93.62
09:45	440	466	94.41	170	176	96.45
10:00	210	232	90.67	1150	1209	95.12
10:15	170	180	94.52	350	361	96.83
10:30	230	239	96.15	1180	1246	94.71
10:45	280	295	95.08	300	312	96.12
11:00	140	153	91.34	1180	1280	92.21
11:15	180	188	95.58	1190	1256	94.78
11:30	180	189	95.42	430	450	95.54
11:45	1300	1387	93.76	170	185	91.99
12:00	260	271	96.04	90	94	95.74
12:15	140	153	91.50	120	129	92.76
12:30	160	165	96.85	240	248	96.77
12:45	270	282	95.58	660	685	96.41
13:00	270	283	95.50	370	388	95.32
13:15	300	330	90.95	860	889	96.69
13:30	410	443	92.57	360	375	95.95
13:45	60	68	87.87	60	67	89.21
14:00	80	94	84.89	140	152	91.89
14:15	220	228	96.65	250	258	96.88
14:30	320	335	95.40	180	188	95.99
14:45	460	482	95.49	160	165	96.85
15:00	20	21	96.34	180	186	96.90
15:15	9	10	88.32	310	325	95.36
15:30	8	9	88.50	11	12	88.35
15:45	8	10	83.77	11	12	89.07
16:00	8	10	83.51	9	11	85.55
16:15	8	10	82.05	8	10	83.51
16:30	8	10	82.30	8	10	82.90
16:45	8	10	83.51	8	10	82.30

Berdasarkan data perhitungan efisiensi inverter yang terdapat pada Tabel 16, 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 nameplate, dimana pada nameplate menyatakan efisiensi maksimal

sebesar 97,2%. Hal ini disebabkan oleh naiknya suhu inverter saat sistem beroperasi.

Produksi Energi Listrik PLTS

a. Perhitungan Total Produksi Energi Listrik PLTS

Analisis produksi energi listrik PLTS bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kontribusi PLTS terhadap beban rumah yang beroperasi. Berdasarkan data pada Tabel 14 dan Tabel 15, dapat dihitung total produksi energi listrik selama waktu pengambilan data dengan menjumlahkan rata-rata produksi setiap jamnya. Data hasil perhitungan total produksi PLTS terdapat pada Tabel 16.

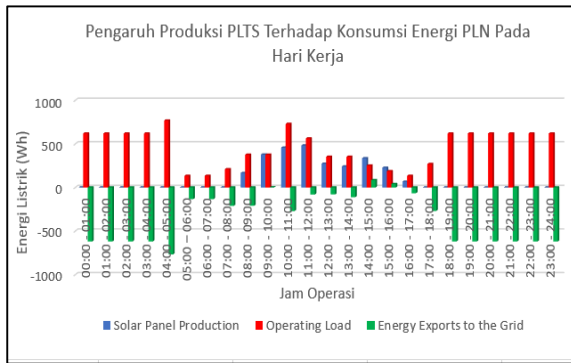
Tabel 17. Data hasil perhitungan produksi listrik PLTS

Jam (WIB)	Hari Ke-1	Hari Ke-2	Rata-rata
	Produksi Energi Listrik (Wh)	Produksi Energi Listrik (Wh)	Produksi Energi Listrik (Wh)
08:00 – 09:00	177.5	155	166.25
09:00 – 10:00	335	420	377.5
10:00 – 11:00	222.5	745	483.75
11:00 – 12:00	450	742.5	596.25
12:00 – 13:00	207.5	277.5	242.5
13:00 – 14:00	260	412.5	336.25
14:00 – 15:00	270	182.5	226.25
15:00 – 16:00	11.25	128	69.625
16:00 – 17:00	8	8.25	8.125
08:00 – 17:00	1941.75	3071.25	2506.5

Berdasarkan data pada Tabel 17, dapat diambil rata-rata produksi listrik PLTS selama 1 hari yaitu sebesar 2506,5 W.

b. Perhitungan Kontribusi Energi Listrik PLTS

Dengan data konsumsi beban selama 1 hari kerja dan 1 hari akhir pekan, dapat dihitung kontribusi PLTS terhadap konsumsi listrik PLN dengan menghitung selisih antara listrik yang diproduksi PLTS dan beban yang beroperasi. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan grafik seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh produksi listrik PLTS terhadap konsumsi energi PLN pada hari kerja

Berdasarkan grafik yang terdapat pada Gambar 4, dapat terlihat bahwa pada jam operasi 00:00 – 08:00 produksi energi listrik PLTS kurang dari energi listrik yang diperlukan beban untuk beroperasi. Hal ini menyebabkan nilai expor energi listrik dari PLTS bernilai negatif. Hal ini menunjukkan bahwa beban yang beroperasi membutuhkan impor energi listrik dari PLN sebesar 3929.75Wh atau 3,929 kWh.

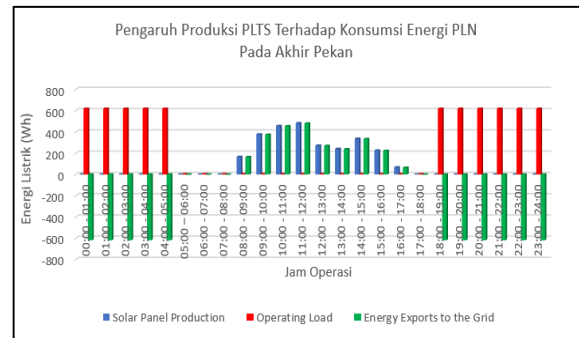
Pada jam operasi 08:00 – 17:00 PLTS dapat memproduksi energi listrik sebesar 2506.5Wh, namun beban yang beroperasi membutuhkan energi listrik sebesar 3320Wh. Hal ini menunjukkan bahwa beban membutuhkan impor energi listrik dari PLN sebesar 813.5Wh.

Pada jam 17:00 – 24:00 PLTS tidak memproduksi energi listrik, sehingga beban membutuhkan impor energi listrik dari PLN sebesar 3983Wh.

Berdasarkan hasil perhitungan pada berdasarkan grafik pada Gambar 4 selama 1 hari kerja, didapatkan hasil bahwa objek penelitian dapat melakukan penghematan energi listrik pada siang hari sebesar 2506 Wh atau 2,506 kWh.

Berdasarkan grafik yang terdapat pada Gambar 5, dapat terlihat bahwa pada jam operasi 00:00 – 08:00 produksi energi listrik PLTS kurang dari energi listrik yang diperlukan beban untuk beroperasi. Hal ini menyebabkan nilai expor energi listrik dari PLTS bernilai negatif. Hal ini menunjukkan bahwa beban yang beroperasi membutuhkan

impor energi listrik dari PLN sebesar 3104 Wh atau 3,104 kWh.



Gambar 5. Pengaruh produksi listrik PLTS terhadap konsumsi energi PLN pada akhir pekan

Pada jam operasi 08:00 – 17:00 produksi energi listrik dari PLTS lebih besar dari beban yang beroperasi. Hal ini menyebabkan nilai expor energi listrik dari PLTS bernilai positif. Hal ini menunjukkan bahwa beban yang beroperasi tidak membutuhkan impor energi listrik dari PLN, dan surplus energi listrik yang dihasilkan PLTS dapat diekspor ke PLN sebesar 2479.5 Wh atau 2,48 kWh.

Pada jam 17:00 – 24:00 PLTS tidak memproduksi energi listrik, sehingga beban membutuhkan impor energi listrik dari PLN sebesar 3717 Wh atau 3,717kWh.

Berdasarkan hasil perhitungan berdasarkan grafik pada Gambar 5 selama 1 hari akhir pekan, didapatkan hasil bahwa objek penelitian dapat melakukan ekspor energi listrik 2479.5 Wh atau 2,48 kWh dan memerlukan impor energi listrik dari PLN sebesar 6821 Wh atau 6,821 kWh.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian berjudul "Penguji dan Implementasi PLTS Sistem On Grid 1200Wp di BPR BKK Mandiraja Cabang Wanayasa", dapat disimpulkan bahwa: (1) Pada pengujian pembangkit listrik tenaga surya 1200Wp dengan sistem on grid, didapatkan hasil bahwa array surya memiliki efisiensi sebesar 15,88% dan inverter memiliki efisiensi sebesar 92.61%, dimana nilai efisiensi kedua komponen

tersebut dibawah nilai efisiensi yang tertera pada nameplate, (2) Pembangkit listrik tenaga surya 1200Wp dengan sistem.on grid sudah dapat diimplementasikan di BPR BKK Mandiraja Kecamatan Wanayasa, dengan komponen utama yaitu 3 buah OSDA Solar Monocrystalline 400Wp yang dirangkai secara seri dan 1 buah inverter dengan merk Solis Mini 1500 4G. Berdasarkan analisis kontribusi PLTS terhadap konsumsi listrik dari PLN, didapatkan hasil bahwa BPR BKK Mandiraja Kecamatan Wanayasa, dapat memproduksi energi listrik sebesar 2,506kWh. Dengan produksi listrik 2,506kWh didapatkan hasil bahwa pada 1 hari kerja PLTS dapat mengoperasikan beban sebesar 3,32kWh dan melakukan penghematan penggunaan listrik dari PLN sebesar 75.6%, kemudian pada 1 hari akhir pekan PLTS dapat mengoperasikan beban sebesar 0,027kWh dan melakukan ekspor energi listrik ke grid sebesar 2.47kWh.

Penggerak Pompa Air Dengan Menggunakan Solar Cell", *Jurnal Teknologi Technoscientia*. 7(2):157-163.

Suharyati, Pambudi SH, Wibowo JL, dan Pratiwi NI. 2019. *Indonesian Energy Outlook 2019*. Jakarta: Dewan Energi Nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- ABB. 2008. *Technical Application Papers NO.10 Photovoltaic Plants*. Bergamo Italy.
- BSN. 2011. *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- GSES. 2008. *Planning and Installing Photovoltaic Systems A guide for installers, architects and engineers second edition*. London: Earthscan.
- Holt M. 2014. Solar Photovoltaic (PV) Systems. *Mike Holt Enterprises*. 247-258.
- Ramadhani B. 2018. *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts*. Jakarta: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Energising Development (EnDev) Indonesia.
- Subandi, dan Hani S. 2015. Pembangkit Listrik Energi Matahari Sebagai