

# PENGUJIAN DAN IMPLEMENTASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ROOFTOP KAPASITAS 1215 WP DENGAN SISTEM ON GRID STUDI KASUS PERUMAHAN SAMBIROTO ASRI KOTA SEMARANG

Johanes Soritua Silaen<sup>1\*)</sup>, Jaka Windarta dan Denis

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

<sup>\*)</sup> E-mail: [johanessilaen@students.undip.ac.id](mailto:johanessilaen@students.undip.ac.id)

## Abstrak

Menurut Outlook Energi Indonesia 2019, 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. Pola permintaan listrik selama periode proyeksi relatif sama, dengan porsi terbesar di sektor rumah tangga, kemudian sektor industri, sektor komersial, sektor transportasi dan sektor lainnya. Pangsa permintaan listrik di sektor rumah tangga akan meningkat dari 49% tahun 2018 menjadi 58% pada tahun 2050. Untuk memenuhi permintaan listrik yang naik sebesar 9 kali lipat dari tahun 2018, maka produksi listrik pada tahun 2050 akan mencapai 2.562 TWh. 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. Mengingat kebutuhan akan energi listrik yang ramah lingkungan, maka pemanfaatan atap rumah untuk dijadikan lahan PLTS dapat menjadi salah satu solusi yang efektif dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menguji dan mengimplementasikan pembangkit listrik tenaga surya on grid. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan hasil array surya memiliki efisiensi 15,13% dan inverter memiliki efisiensi sebesar 88,55%. Berdasarkan analisis produksi PLTS, didapatkan hasil bahwa PLTS on grid dapat melakukan ekspor daya ke grid sehingga dapat mengurangi tagihan listrik pada bulan berikutnya.

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

## Abstract

*According to 2019 Indonesian Energy Outlook, electricity demand growth is projected to reach 2,214 TWh in 2050. The pattern of electricity demand during the projection period is relatively the same, with the largest portion in the household sector, followed by the industrial sector, commercial sector, transportation sector and other sectors. The electricity consumers in the household sector will increase from 49% in 2018 to 58% in 2050. In accordance with PP No.79 of 2014 concerning the National Energy Policy, the target mix of the renewable energy in 2025 is at least 23% and 31% in 2050. Providing the need for environmentally friendly electrical energy, using the roof of the house to become a solar power plant area can be an effective and efficient solution. This research aims to test and implement solar power plant. Based on the test results, the results show that the solar array has an efficiency of 15.13% and the inverter has an efficiency of 88.55%. Based on the analysis of the solar power plant's production, get the results that the solar power plant with an on grid system can export power to the grid so that it can reduce the electricity bill in the following month.*

*Keywords: Solar Cell, Photovoltaic, Solar Power Plant, Testing*

## 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. Pola permintaan listrik selama periode proyeksi relatif sama, dengan porsi terbesar di sektor rumah tangga, kemudian sektor industri, sektor komersial, sektor transportasi dan sektor lainnya. Pangsa permintaan listrik di sektor rumah tangga akan meningkat dari 49% tahun 2018 menjadi 58% pada tahun 2050. Kondisi ini terutama

dipengaruhi oleh pertumbuhan jumlah rumah tangga yang meningkat dari 67 juta pada tahun 2018 menjadi lebih dari 80 juta pada tahun 2050[1].

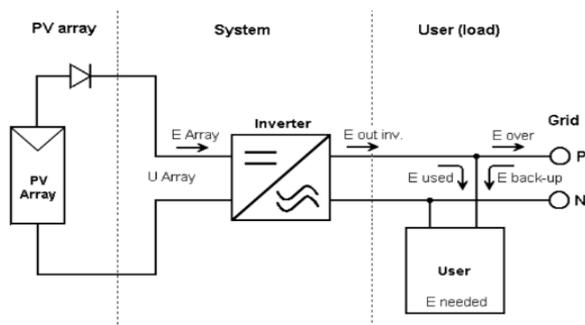
Untuk memenuhi permintaan listrik yang naik sebesar 9 kali lipat dari tahun 2018, maka produksi listrik pada tahun 2050 akan mencapai 2.562 TWh. Berkurangnya produksi energi fosil terutama minyak bumi serta komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, mendorong Pemerintah untuk meningkatkan 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 [2], 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]. Untuk mempercepat pengembangan Energi Baru dan Terbarukan, Pemerintah telah menetapkan beberapa regulasi, yaitu Peraturan Presiden No. 4 Tahun 2016 (Pasal 14) tentang Percepatan Infrastruktur Ketenagalistrikan mengutamakan pemanfaatan energi baru dan terbarukan [3], Peraturan Menteri ESDM No. 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik [4], dan Peraturan Menteri ESDM No. 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (PLN) [5].

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 1215Wp skala rumah tangga dengan sistem on grid.

## 2. Metode

Pada implementasi pembangkit listrik tenaga surya dengan on grid[6], digunakan konfigurasi seperti yang terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi sistem on grid

### 2.1. Kebutuhan Energi Listrik Harian

Profil beban harian dari Perumahan Sambiroto Asri A9 Kota Semarang terdapat pada Gambar 2 dan Gambar 3:



Gambar 2. Profil beban harian hari kerja



Gambar 3. Profil beban harian akhir pekan

### 2.2. Insolasi Matahari

Berikut data insolasi matahari di daerah Perumahan Sambiroto Asri berdasarkan sumber dari situs online NASA pada tahun 2019[7]:

Tabel 1. Data insolasi matahari

Bulan	Insolasi (kWh/m <sup>2</sup> /hari)
Januari	4,60
Februari	5,29
Maret	4,55
April	5,08
Mei	5,41
Juni	5,14
Juli	5,37
Agustus	5,94
September	6,49
Oktober	6,54
November	6,02
Desember	5,30
Rata-Rata	5,48

Nilai rata-rata tahun 2019 adalah 5,48 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Bulan Oktober 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.

### 2.3. Temperatur Wilayah

Data temperatur wilayah di daerah Perumahan Sambirto Asri bersumber dari situs online NASA pada tahun 2019 terdapat pada Tabel 2[8].

Tabel 2. Data temperatur wilayah

Bulan	Temperatur (°C)
Januari	27,99
Februari	27,71
Maret	27,88
April	28,65
Mei	28,73
Juni	28,65
Juli	29,94
Agustus	31,75
September	33,54
Oktober	34,43
November	33,51
Desember	29,75
Rata-Rata	30,22

Berdasarkan data temperatur wilayah, diketahui bahwa pada tahun 2019 temperatur rata-rata per bulan di lokasi penelitian sebesar 30,22°C.

### 2.4. Spesifikasi Modul Surya

Modul surya yang digunakan dalam pengimplementasian adalah Canadian Solar 405Wp. Spesifikasi teknis dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Spesifikasi Canadian Solar 405Wp

Spesifikasi	Nilai
Daya Maksimum ( $P_{max}$ )	405 Wp
Tegangan Rangkaian Terbuka ( $V_{oc}$ )	47,4 V
Arus Hubung Singkat ( $I_{sc}$ )	10,98 A
Tegangan Maksimum ( $V_{mp}$ )	38,9 V
Arus Maksimum ( $I_{mp}$ )	10,42 A
Efisiensi Modul	18,3 %
Dimensi (mm x mm x mm)	2108 x 1048 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[9].

### 2.5. Spesifikasi Inverter

Inverter yang digunakan dalam pengimplementasian adalah inverter Solax X1-1.1-S. Inverter Solax X1-1.1-S adalah grid tie inverter, sehingga tegangan dan frekuensi keluarannya sama dengan grid. Spesifikasi inverter Solax X1-1.1-S terdapat pada tabel 4.

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[10].

Tabel 4. Spesifikasi inverter Solax X1-1.1-S

Spesifikasi	Nilai
Input DC	
Daya Array Surya Maksimal	1250 W
Tegangan DC Maksimal	400 V
Arus Masukan Maksimal	12 A
Rentang Tegangan MPPT	55-380 V
Output AC	
Daya Keluaran Maksimal	1100 W
Rentang Tegangan Grid Nominal	180-280 V
Arus Keluaran Maksimal	5,5 A
Data Umum	
Efisiensi Maksimal	97,1 %
Dimensi	267 x 328 x 116 mm

### 2.6. Penghantar DC

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

$$I_{max} = I_{sc} \times \text{Jumlah string} \quad (1)$$

$$I_{max} = 10,98 \text{ A} \times 1$$

$$I_{max} = 10,98 \text{ A}$$

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

$$KHA = I_{max} \times \text{Faktor Koreksi} \quad (2)$$

$$KHA = 10,98 \text{ A} \times 1,25$$

$$KHA = 13,725 \text{ A}$$

Sehingga dengan arus maksimal keluaran dari panel surya sebesar 10,98 A yang kemudian dikalikan dengan faktor kali 1,25 didapatkan KHA sebesar 13,725 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[11] kabel yang dibutuhkan adalah kabel dengan minimal luas penampang sebesar 1,5 mm<sup>2</sup>. berkonduktor tembaga dengan KHA sebesar 23A, sehingga akan digunakan kabel PV1-F merk slocable dengan luas penampang sebesar 2,5 mm<sup>2</sup>.

### 2.7. Penghantar AC

Untuk menentukan penghantar AC yang digunakan dalam perancangan PLTS rooftop skala rumah tangga, diperlukan nilai arus maksimal keluaran dari inverter yang dapat dilihat pada spesifikasi inverter di Tabel 4, kemudian menentukan kuat hantar arus kabel yang dibutuhkan menggunakan persamaan berikut:

$$KHA = I_{max} \times \text{Faktor Koreksi} \quad (3)$$

$$KHA = 5,5 \text{ A} \times 1,25$$

$$KHA = 6,875 \text{ A}$$

Sehingga dengan arus maksimal keluaran dari inverter sebesar 5,5A yang kemudian dikalikan dengan faktor kali 1,25 didapatkan arus sebesar 6,875A. Penentuan luas penampang kabel yang dipilih mengacu pada PUIL 2011[11] metode instalasi B1 karena kabel akan dimasukkan ke dalam conduit. Berdasarkan PUIL 2011, luas penampang minimal yang bisa dialiri arus sebesar 6,875A adalah seluas 1,5 mm<sup>2</sup> dengan KHA sebesar 18,5A, 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 mm<sup>2</sup>.

## 2.8. MCB DC

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

$$\begin{aligned} I_{max} &= I_{sc} \times \text{Jumlah string} & (4) \\ I_{max} &= 10,98 \text{ A} \times 1 \\ I_{max} &= 10,98 \text{ A} \end{aligned}$$

Berdasarkan standar NEC untuk menentukan rating MCB DC yang digunakan dalam perancang PLTS, arus maksimal array surya yang didapatkan dari perhitungan harus dikalikan dengan factor kali 1,25[12].

$$\begin{aligned} \text{Rating MCB} &= I_{max} \times \text{Faktor Koreksi} & (5) \\ \text{Rating MCB} &= 10,98 \text{ A} \times 1,25 \\ \text{Rating MCB} &= 13,675 \text{ A} \end{aligned}$$

Dari nilai perhitungan, MCB DC yang dapat digunakan adalah dengan minimal rating 13,675 A. MCB DC yang penulis pilih untuk diimplementasikan adalah MCB DC dengan merk TOMZN dengan rating 16A.

## 2.9. MCB AC

Untuk menentukan MCB AC yang digunakan dalam pengimplementasian PLTS rooftop skala rumah tangga, diperlukan nilai arus maksimal keluaran dari inverter yang dapat dilihat pada spesifikasi inverter di Tabel 4, kemudian untuk menentukan rating arus pada MCB AC yang akan digunakan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Rating MCB} &= I_{max} \times \text{Faktor Koreksi} & (6) \\ \text{Rating MCB} &= 5,5 \text{ A} \times 1,25 \\ \text{Rating MCB} &= 6,875 \text{ A} \end{aligned}$$

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 [12], sehingga MCB AC yang dapat digunakan adalah dengan minimal rating 6,875A. MCB AC yang penulis pilih untuk implementasi adalah MCB AC merk broco dengan rating 10A.

## 2.10. SPD DC

V<sub>OC</sub> keluaran array surya adalah sebesar 142 V, sehingga nilai rating minimal SPD DC dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{rating} &= V_{oc} \times \text{Faktor Kali} & (7) \\ V_{rating} &= 142,2 \times 1,2 \\ V_{rating} &= 170,64 \text{ V} \end{aligned}$$

Faktor kali untuk menentukan rating SPD DC minimal yang diperlukan adalah 1,2 [13]. Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai rating tegangan minimal SPD DC sebesar 170,64V, sehingga SPD DC yang penulis pilih untuk diimplementasikan adalah SPD DC 500 V merk Suntree.

## 2.11. SPD AC

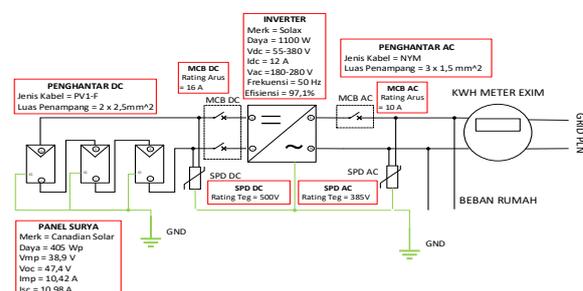
Nilai Rating minimal SPD AC dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{rating} &= V_{nominal} \times \text{Faktor Kali} & (8) \\ V_{rating} &= 220 \times 1,2 \\ V_{rating} &= 264 \text{ V} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai rating tegangan minimal SPD AC sebesar 264 V, sehingga SPD AC yang penulis pilih untuk diimplementasikan adalah SPD AC 385V merk TOMZN

## 3. 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 4. Detail engineering design

### 3.1. Pengujian Modul Surya

#### A. Iradian dan Suhu

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[14]. Pengujian suhu bertujuan untuk mengukur termal atau suhu pada permukaan modul fotovoltaik. Alat ukur yang digunakan yaitu *thermo gun*.

Pengujian modul surya dilakukan selama 1 hari pada tanggal 29 Juli 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 5.

Tabel 5. Data hasil pengujian iradian dan suhu

Jam (WIB)	Iradian (W/m <sup>2</sup> )	Suhu (°C)
08:00	736,5	38,1
08:15	768,1	38,6
08:30	852,3	40,0
08:45	872,6	41,6
09:00	916,3	41,6
09:15	1027,4	43,1
09:30	959,0	43,2
09:45	951,2	45,8
10:00	889,6	46,5
10:15	937,5	45,5
10:30	921,3	44,2
10:45	901,3	43,8
11:00	842,4	43,9
11:15	818,7	45,2
11:30	817,0	46,1
11:45	749,1	47,2
12:00	785,6	48,6
12:15	712,1	47,4
12:30	704,4	47,2
12:45	695,1	47,6
13:00	670,1	47,2
13:15	607,9	46,6
13:30	534,4	46,5
13:45	446,1	46,2
14:00	376,3	46,5
14:15	320,1	45,7
14:30	287,8	42,5
14:45	228,6	43,2
15:00	192,2	44,7
15:15	150,4	42,2
15:30	117,4	42,6
15:45	64,1	42,1
16:00	49,0	41,6
16:15	41,1	41,3
16:30	35,4	41,3
16:45	28,4	40,6

Data pada Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian iradian dan suhu pada modul surya. Nilai iradian terus meningkat mulai jam 08:00 hingga 09:15, dengan iradiasi paling tinggi pada jam 09:15 sebesar 1027,4 W/m<sup>2</sup>. Nilai iradiasi mulai turun pada jam 09:15 hingga 16:45, dengan nilai iradiasi paling rendah pada pukul 16:45, dengan iradiasi paling rendah pada jam 16:45 sebesar 28 W/m<sup>2</sup>. Menurunnya tingkat iradiasi matahari terhadap modul surya disebabkan karena posisi matahari yang sudah tidak secara langsung mengarah ke modul surya. Turunnya tingkat iradiasi matahari juga dapat disebabkan karena kondisi langit yang berawan ataupun modul surya yang tertutup bayangan[15].

B. Daya Masukan

Daya masukan panel surya dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Pin = E \times A \tag{9}$$

Dengan luas penampang modul surya adalah 2,108m x 1,048m = 2,2091m<sup>2</sup>. Jumlah modul surya yang digunakan adalah 3 buah sehingga luas permukaannya menjadi 6,6273m<sup>2</sup>. Dengan melakukan perhitungan dengan rumus, didapatkan data seperti yang terdapat pada Tabel 6.

Tabel 6. Data hasil perhitungan daya masukan

Jam (WIB)	Iradian (W/m <sup>2</sup> )	Pin (W)
08:00	736,5	4881,19
08:15	768,1	5090,62
08:30	852,3	5648,66
08:45	872,6	5783,20
09:00	916,3	6072,82
09:15	1027,4	6809,15
09:30	959,0	6355,82
09:45	951,2	6304,13
10:00	889,6	5895,87
10:15	937,5	6213,33
10:30	921,3	6105,96
10:45	901,3	5973,41
11:00	842,4	5583,05
11:15	818,7	5425,98
11:30	817,0	5414,71
11:45	749,1	4964,70
12:00	785,6	5206,60
12:15	712,1	4719,48
12:30	704,4	4668,45
12:45	695,1	4606,81
13:00	670,1	4441,12
13:15	607,9	4028,89
13:30	534,4	3541,76
13:45	446,1	2956,55
14:00	376,3	2493,95
14:15	320,1	2121,48
14:30	287,8	1907,41
14:45	228,6	1515,06
15:00	192,2	1273,81
15:15	150,4	996,78
15:30	117,4	778,07
15:45	64,1	424,83
16:00	49,0	324,75
16:15	41,1	272,39

Data pada Tabel 6 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 09:15 yaitu 6809,15W dan paling rendah pada jam 16:45 sebesar 188,22W, hal ini menunjukkan bahwa daya masukan berbanding lurus dengan iradiasi matahari yang diterima modul surya[16].

C. Tegangan *Open Circuit* dan Arus *Short Circuit*

Pengujian tegangan open circuit dan arus short circuit bertujuan untuk menghitung daya keluaran maksimum

modul fotovoltaik[17]. Alat ukur yang digunakan yaitu multimeter. Hasil data pengujian sesuai Tabel 7.

Tabel 7. Hasil pengujian Voc dan Isc

Jam	Voc Seri (V)	Isc Seri (A)
08:00	129,05	8,45
08:15	129,23	8,96
08:30	129,71	8,99
08:45	129,24	9,00
09:00	130,04	9,03
09:15	130,18	9,09
09:30	127,42	9,00
09:45	127,02	8,97
10:00	128,10	8,95
10:15	127,34	8,89
10:30	127,51	8,87
10:45	127,36	8,86
11:00	127,57	8,83
11:15	127,89	8,82
11:30	128,04	8,80
11:45	128,37	8,36
12:00	128,65	7,70
12:15	128,69	7,11
12:30	127,72	6,95
12:45	127,54	6,63
13:00	127,85	6,30
13:15	127,89	5,82
13:30	127,72	4,95
13:45	127,51	4,23
14:00	126,49	3,34
14:15	125,93	2,86
14:30	124,29	2,54
14:45	122,62	2,24
15:00	122,14	1,88
15:15	121,72	1,46
15:30	121,47	1,35
15:45	120,84	0,72
16:00	119,39	0,59
16:15	118,83	0,48
16:30	117,35	0,42
16:45	117,36	0,39

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:

$$Vmp \text{ hitung} = Voc \text{ ukur} \times \frac{Vmp \text{ nameplate}}{Voc \text{ nameplate}} \quad (10)$$

$$Vmp \text{ hitung} = 129,05 \times \frac{116,7}{142,2}$$

$$Vmp \text{ hitung} = 105,91 \text{ V}$$

$$Imp \text{ hitung} = Isc \text{ ukur} \times \frac{Imp \text{ nameplate}}{Isc \text{ nameplate}} \quad (11)$$

$$Imp \text{ hitung} = 8,45 \times \frac{10,42}{10,98}$$

$$Imp \text{ hitung} = 8,019 \text{ A}$$

Sehingga didapatkan fill factor dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Fill \text{ Factor} = \frac{Vmp \text{ hitung} \times Imp \text{ hitung}}{Voc \text{ hitung} \times Isc \text{ hitung}} \quad (12)$$

$$Fill \text{ Factor} = \frac{105,91 \times 8,019}{129,05 \times 8,45}$$

$$Fill \text{ Factor} = 0,7788$$

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[14]:

$$Pm = Voc \text{ ukur} \times Isc \text{ ukur} \times Fill \text{ Factor} \quad (13)$$

$$Pm = 129,05 \times 8,45 \times 0,7788$$

$$Pm = 849,28 \text{ W}$$

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 8.

Tabel 8. Data hasil perhitungan fill factor dan daya maksimum

Jam	Voc (V)	Isc (A)	FF	Pm (W)
08:00	129,05	8,45	0,7788	849,28
08:15	129,23	8,96	0,7788	901,79
08:30	129,71	8,99	0,7788	908,17
08:45	129,24	9,00	0,7788	905,89
09:00	130,04	9,03	0,7788	914,54
09:15	130,18	9,09	0,7788	921,60
09:30	127,42	9,00	0,7788	893,13
09:45	127,02	8,97	0,7788	887,36
10:00	128,10	8,95	0,7788	892,91
10:15	127,34	8,89	0,7788	881,66
10:30	127,51	8,87	0,7788	880,85
10:45	127,36	8,86	0,7788	878,83
11:00	127,57	8,83	0,7788	877,29
11:15	127,89	8,82	0,7788	878,50
11:30	128,04	8,80	0,7788	877,54
11:45	128,37	8,36	0,7788	835,81
12:00	128,65	7,70	0,7788	771,50
12:15	128,69	7,11	0,7788	712,61
12:30	127,72	6,95	0,7788	691,32
12:45	127,54	6,63	0,7788	658,56
13:00	127,85	6,30	0,7788	627,30
13:15	127,89	5,82	0,7788	579,69
13:30	127,72	4,95	0,7788	492,38
13:45	127,51	4,23	0,7788	420,07
14:00	126,49	3,34	0,7788	329,03
14:15	125,93	2,86	0,7788	280,50
14:30	124,29	2,54	0,7788	245,87
14:45	122,62	2,24	0,7788	213,92
15:00	122,14	1,88	0,7788	178,83
15:15	121,72	1,46	0,7788	138,40
15:30	121,47	1,35	0,7788	127,71
15:45	120,84	0,72	0,7788	67,76
16:00	119,39	0,59	0,7788	54,86
16:15	118,83	0,48	0,7788	44,42
16:30	117,35	0,42	0,7788	38,39
16:45	117,36	0,39	0,7788	35,65

Data pada Tabel 8 menunjukkan data nilai perhitungan daya keluaran maksimum. Nilai daya maksimum tertinggi pada pukul 09:15 yaitu 921,60W dan terendah terjadi pada pukul 16:45 yaitu 35,65W. 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:

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \times 100\% \tag{14}$$

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

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

Dengan menggunakan perhitungan efisiensi modul fotovoltaik di atas, didapatkan data nilai rata-rata perhitungan efisiensi pada setiap waktu pengujianya sebesar 15.13%. 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 [11].

3.2. Pengujian Pembumian

Pengujian pembumian dilakukan untuk mengetahui kualitas pembumian dari PLTS di lokasi objek penelitian. Hasil pengujian pembumian terdapat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil pengujian pembumian

Berdasarkan hasil pengujian pentanahan, didapatkan nilai tahanan pentanahan sebesar 1,77Ω. Hal ini menunjukkan bahwa tahanan pentanahan di objek lokasi penelitian termasuk baik karena memiliki nilai tahanan <5Ω.

3.3. Pengujian Pembebanan

Pengujian pembebanan dilakukan pada tanggal 1 Agustus 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 9.

Tabel 9. Data pengujian pembebanan

$I_{load}$ (A)	$I_{Inverter-Grid}$ (A)	$I_{grid}$ (A)	Kondisi
0	3,34	3,34	$I_{Load} < I_{Inverter-Grid}$
0,53	2,14	1,74	$I_{Load} < I_{Inverter-Grid}$
1,24	2,49	1,40	$I_{Load} < I_{Inverter-Grid}$
2,06	2,28	0,40	$I_{Load} < I_{Inverter-Grid}$
2,00	1,99	0,08	$I_{Load} = I_{Inverter-Grid}$
2,87	2,35	0,47	$I_{Load} > I_{Inverter-Grid}$
3,19	2,20	1,00	$I_{Load} > I_{Inverter-Grid}$
4,60	1,77	2,85	$I_{Load} > I_{Inverter-Grid}$

Berdasarkan Tabel 9, dapat dilihat bahwa nilai  $|I_{load} - I_{Inverter-grid}|$  hampir sama dengan  $I_{grid}$ . Pada saat tak berbeban atau  $I_{Load} = 0A$  dan  $I_{Inverter-grid}$  3,34A, didapatkan nilai  $I_{Grid}$  sebesar 3,34. Hal ini menunjukkan bahwa saat keadaan tidak berbeban, semua daya yang dihasilkan dari sistem PLTS di ekspor ke *grid* sebesar 3,34A, karena pada kondisi  $I_{Load} < I_{Inverter-Grid}$ .

Pada saat  $I_{load}$  0.53A dan  $I_{Inverter-grid}$  2.14A didapatkan  $I_{grid}$  1.74A. Hal ini menunjukkan bahwa semua beban ditanggung oleh pembangkit listrik tenaga surya sebesar 0.53A dan mengexpor ke *grid* sebesar 1.74A, karena  $I_{Inverter-grid}$  lebih besar daripada  $I_{load}$ .

Pada saat  $I_{load}$  2A dan  $I_{Inverter-grid}$  1.99A didapatkan hasil  $I_{grid}$  0.08A atau mendekati 0A. Hal ini menunjukkan bahwa semua beban ditanggung oleh pembangkit listrik tenaga surya tanpa melakukan impor maupun ekspor daya terhadap *grid*, karena  $I_{Inverter-grid} = I_{load}$ .

Pada saat  $I_{load}$  4.6A dan  $I_{Inverter-grid}$  1.77A didapatkan hasil  $I_{grid}$  2A. Hal ini menunjukkan bahwa semua beban ditanggung oleh pembangkit listrik tenaga surya sebesar 1.77A dengan mengimpor dari *grid* sebesar 2.85A karena  $I_{Inverter-grid} < I_{load}$ .

3.4. Pengujian Unjuk Kerja Sistem PLTS

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[15]. Pengambilan data produksi energi listrik PLTS

dilakukan selama 2 hari yaitu pada tanggal 30 Juli 2020 dan 31 Juli 2020 dari jam 08:00 sampai jam 16.45 dengan kondisi cuaca cerah. Data produksi energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS terdapat pada Tabel 10.

Tabel 10 Data produksi energi listrik PLTS

Jam	Rata-rata
	Produksi Energi Listrik (Wh)
08:00 – 09:00	784,125
09:00 – 10:00	8291,25
10:00 – 11:00	808,25
11:00 – 12:00	722,625
12:00 – 13:00	574,375
13:00 – 14:00	376
14:00 – 15:00	133,875
15:00 – 16:00	58,375
16:00 – 17:00	34,625
08:00 – 17:00	4321,375

Berdasarkan data pada Tabel 10, dapat dilihat bahwa rata-rata jumlah produksi energi listrik PLTS sebesar 4321,375Wh.

### 3.4.1. 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 12, pada hari ke-1 jam 08:00 didapatkan nilai  $P_{out}$  749W dan  $P_{Solar}$  812W. Nilai efisiensi modul fotovoltaik dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\% \quad (15)$$

$$\eta = \frac{749}{812} \times 100\%$$

$$\eta = 92,24\%$$

Dengan menggunakan perhitungan efisiensi inverter di atas, didapatkan data nilai perhitungan pada setiap waktu pengambilan datanya seperti yang terdapat pada Tabel 16.

Berdasarkan data perhitungan efisiensi inverter yang terdapat pada Tabel 11, didapatkan bahwa rata-rata efisiensi inverter pada hari ke-1 dan ke-2 sebesar 88,55%. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi inverter, didapatkan bahwa efisiensi inverter hasil perhitungan lebih rendah daripada yang pada nameplate, dimana pada nameplate menyatakan efisiensi maksimal sebesar 97,1%. Hal ini disebabkan oleh naiknya suhu inverter saat sistem beroperasi. Selain itu pada kondisi sore hari, inverter terpapar langsung oleh sinar matahari yang menyebabkan naiknya suhu inverter sehingga menyebabkan losses yang lebih besar.

Tabel 11. Hasil perhitungan efisiensi inverter

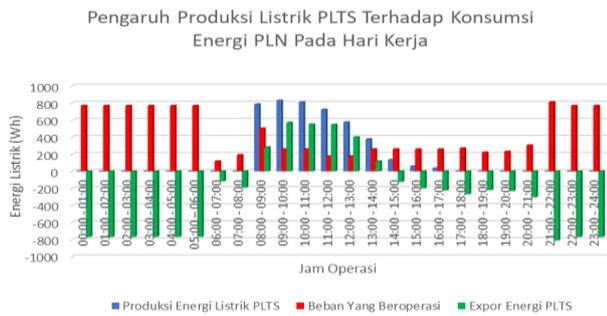
Jam	Hari ke-1			Hari ke-2		
	$P_{Out}$ (W)	$P_{in}$ (W)	$\eta$ (%)	$P_{Out}$ (W)	$P_{in}$ (W)	$\eta$ (%)
08:00	749	812	92,24	726	791	91,78
08:15	794	870	91,26	770	841	91,56
08:30	813	889	91,45	796	864	92,13
08:45	805	882	91,27	820	900	91,11
09:00	822	903	91,03	821	898	91,42
09:15	829	902	91,91	837	914	91,57
09:30	837	920	90,98	829	904	91,70
09:45	839	918	91,39	819	898	91,20
10:00	845	925	91,35	830	908	91,41
10:15	836	913	91,57	814	890	91,46
10:30	809	889	91,00	775	849	91,28
10:45	781	852	91,67	776	842	92,16
11:00	767	841	91,20	748	817	91,55
11:15	750	818	91,69	730	800	91,25
11:30	719	781	92,06	708	768	92,19
11:45	685	749	91,45	674	732	92,08
12:00	645	700	92,14	624	678	92,03
12:15	608	659	92,26	597	643	92,85
12:30	568	617	92,06	542	588	92,18
12:45	518	560	92,50	493	536	91,98
13:00	466	502	92,83	441	482	91,49
13:15	425	463	91,79	391	426	91,78
13:30	360	388	92,78	340	370	91,89
13:45	294	320	91,87	291	316	92,09
14:00	232	248	93,55	66	74	89,19
14:15	178	188	94,68	166	179	92,74
14:30	131	141	92,91	127	138	92,03
14:45	99	109	90,82	72	85	84,71
15:00	78	84	92,86	56	66	84,85
15:15	69	82	84,15	54	65	83,08
15:30	59	75	78,67	49	59	83,05
15:45	58	69	84,06	44	54	81,48
16:00	47	60	78,33	35	48	72,92
16:15	40	53	75,47	31	39	79,49
16:30	30	40	75,00	28	35	80,00
16:45	15	25	60,00	11	23	47,83

### 3.4.2. Kontribusi Energi Listrik PLTS

#### A. Perhitungan Kontribusi Energi Listrik PLTS Pada Hari Kerja

Dengan data konsumsi beban selama 1 hari kerja, 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 6.

Berdasarkan grafik yang terdapat pada Gambar 6, 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 ekspor energi listrik dari PLTS bernilai negatif. Hal ini menunjukkan bahwa beban yang beroperasi membutuhkan impor energi listrik dari PLN sebesar 4917Wh atau 4,917 kWh.



Gambar 6. Pengaruh produksi listrik PLTS terhadap konsumsi listrik PLN pada hari kerja

Pada jam operasi 08:00 - 14:00 produksi energi listrik dari PLTS lebih besar dari beban yang beroperasi. Hal ini menyebabkan nilai ekspor 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 2463,5 Wh atau 2,46 kWh.

Pada jam 14:00 – 17:00 PLTS dapat memproduksi energi listrik sebesar 226,875Wh, namun beban yang beroperasi membutuhkan energi listrik sebesar 777Wh. Hal ini menunjukkan bahwa beban membutuhkan impor energi listrik dari PLN sebesar 550,125Wh.

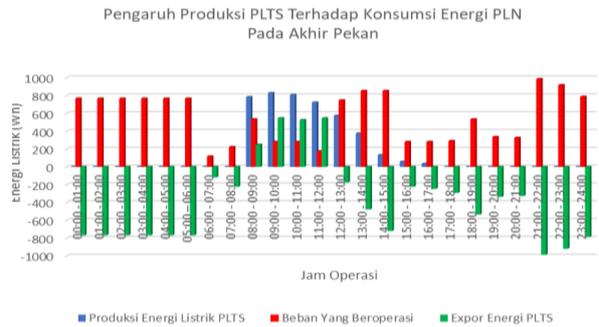
Pada jam 17:00 – 24:00 PLTS tidak memproduksi energi listrik, sehingga beban membutuhkan impor energi listrik dari PLN sebesar 3372Wh.

Berdasarkan hasil perhitungan pada berdasarkan grafik pada Gambar 6 selama 1 hari kerja, didapatkan hasil bahwa objek penelitian dapat melakukan ekspor energi listrik 2463,5 Wh atau 2,46 kWh dan memerlukan impor energi listrik dari PLN sebesar 8839,125 Wh atau 8,84 kWh.

#### B. Perhitungan Kontribusi Energi Listrik PLTS Pada Hari Kerja

Dengan data konsumsi beban selama 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 7.

Berdasarkan grafik yang terdapat pada Gambar 7, 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 ekspor energi listrik dari PLTS bernilai negatif. Hal ini menunjukkan bahwa beban yang beroperasi membutuhkan impor energi listrik dari PLN sebesar 4950 Wh atau 4,95 kWh.



Gambar 7. Pengaruh produksi listrik PLTS terhadap konsumsi energi PLN pada akhir pekan

Pada jam operasi 08:00 – 12:00 produksi energi listrik dari PLTS lebih besar dari beban yang beroperasi. Hal ini menyebabkan nilai ekspor 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 1869,125Wh atau 1,86kWh.

Pada jam 12:00 – 17:00 PLTS dapat memproduksi energi listrik sebesar 1177,25 Wh, namun beban yang beroperasi membutuhkan energi listrik sebesar 3020Wh. Hal ini menunjukkan bahwa beban membutuhkan impor energi listrik dari PLN sebesar 1842,75Wh.

Pada jam 17:00 – 24:00 PLTS tidak memproduksi energi listrik, sehingga beban membutuhkan impor energi listrik dari PLN sebesar 4185 Wh atau 4,185kWh.

Berdasarkan hasil perhitungan berdasarkan grafik pada Gambar 7 selama 1 hari akhir pekan, didapatkan hasil bahwa objek penelitian dapat melakukan ekspor energi listrik 1869,125 Wh atau 1,87 kWh dan memerlukan impor energi listrik dari PLN sebesar 10977,75 Wh atau 10,97 kWh.

#### C. Perhitungan Kontribusi Produksi Listrik PLTS Terhadap Konsumsi Energi Listrik dari PLN Selama 1 Bulan

Perkiraan ekspor dan impor energi listrik PLN selama 1 bulan dengan asumsi terdapat 22 hari kerja dan 8 hari akhir pekan dapat dihitung sebagai berikut:

- Total Ekspor Energi Listrik PLTS selama 1 Bulan = (Total ekspor energi listrik hari kerja x jumlah hari kerja) + (Total ekspor energi listrik akhir pekan x jumlah hari akhir pekan)  
 Total Ekspor Energi Listrik selama 1 Bulan = (2463,5 x 22) + (1869,125 x 8)  
 Total Ekspor Energi Listrik selama 1 Bulan = 69.150 Wh atau 69,15kWh

- Total Impor Energi Listrik PLN selama 1 Bulan = (Total impor energi listrik hari kerja x jumlah hari kerja) + (Total impor energi listrik akhir pekan x jumlah hari akhir pekan)  
Total Impor Energi Listrik selama 1 Bulan =  $(8839,125 \times 22) + (2463,5 \times 8)$   
Total Impor Energi Listrik selama 1 Bulan = 214.168,75 Wh atau 214,16 kWh

Berdasarkan perhitungan kontribusi produksi listrik PLTS terhadap konsumsi listrik dari PLN selama 1 bulan, didapatkan hasil bahwa objek penelitian diperkirakan dapat melakukan ekspor energi listrik dari PLTS ke PLN sebesar 16,16 kW dan memerlukan impor energi listrik dari PLN sebesar 214,16 kWh.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian berjudul “Pengujian dan Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Kapasitas 1215Wp dengan Sistem On Grid Skala Rumah Tangga Studi Kasus Perumahan Sambiroto Asri Kota Semarang”, dapat disimpulkan bahwa, pada pengujian pembangkit listrik tenaga surya 1215Wp dengan sistem on grid, didapatkan hasil bahwa array surya memiliki efisiensi sebesar 15,13% dan inverter memiliki efisiensi sebesar 88,55%. Berdasarkan analisis kontribusi PLTS terhadap konsumsi listrik dari PLN, didapatkan hasil bahwa Perumahan Sambiroto Asri A9 Kota Semarang memerlukan impor energi listrik dari grid sebesar 8,84 kWh dan dapat melakukan ekspor energi listrik ke PLN sebesar 2,46 kWh pada 1 hari kerja. Pada 1 hari akhir pekan, Perumahan Sambiroto Asri A9 Kota Semarang memerlukan impor energi listrik dari grid sebesar 10,97 kWh dan dapat melakukan ekspor energi listrik ke PLN sebesar 1,87 kWh.

#### Referensi

- [1] S. Suharyati, S. H. Pambudi, J. L. Wibowo, and N. I. Pratiwi, “Outlook Energi Indonesia 2019,” 2019.
- [2] Presiden Republik Indonesia, “Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional” 2014
- [3] Presiden Republik Indonesia, “Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2016 Percepatan Infrastruktur Ketenagalistrikan mengutamakan pemanfaatan energi baru dan terbarukan” 2014.
- [4] Menteri ESDM, “Peraturan Menteri ESDM No. 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik” 2014
- [5] Menteri ESDM, “Peraturan Menteri ESDM No. 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (PLN)” 2014.
- [6] A. Julisman, I. D. Sara, R. H. Siregar “PROTOTIPE PEMANFAATAN PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER ENERGI PADA SISTEM OTOMASI ATAP STADION BOLA”, e-ISSN: 2252-7036, Vol.2, No.1, pp: 35-42, 2017
- [7] “NASA PREDICTION of Worldwide Energy Resources.” [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Accessed: 02-Jun-2020].
- [8] ABB, Technical Application Papers N0.10 Photovoltaic Plants, Bergamo Italy, 2008. [2]
- [9] German Solar Energy Society, Planning and Installing Photovoltaic Systems A guide for installers, architects and engineers second edition, 2nd ed. Earthscan, 2008. [3]
- [10] Standar Nasional Indonesia 0225:2011, Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011). 2011.[4]
- [11] National Electrical Code, “Article 690-Solar Photovoltaic Systems,” pp. 623–638, 2014.
- [12] B. Ramadhani, Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts. Energising Development (EnDev) Indonesia Deutsche, 2018.
- [13] 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.
- [14] Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T., “Laporan Hasil Pengujian Panel Surya YUNDA P120”, Program Studi Magister Energi Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro, 2017.
- [15] E. Kabalci, A. Boyar, and Y. Kabalci, “Design and analysis of a micro inverter for PV plants,” Proc. 9th Int. Conf. Electron. Comput. Artif. Intell. ECAI 2017, vol. 2017-Janua, no. April 2018, pp. 1–6, 2017, doi:
- [16] A. A. Ngurah et al., “Analisis Produksi Energi dari Inverter pada Grid-connected PLTS 1 MWp di Desa Kayubih Kabupaten Bangli,” Teknol. Elektro, vol. 16, no. 1, 2017.
- [17] M. A. Ridho, B. Winardi, and A. Nugroho, “ANALISIS POTENSI DAN UNJUK KERJA PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DI DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS DIPONEGORO MENGGUNAKAN SOFTWARE PVSYS 6.43.”