

KAJIAN SISTEM KINERJA PLTS OFF-GRID 1 kWp DI STT-PLN

Tony Koerniawan¹⁾; Aas Wasri Hasanah²⁾

Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik - PLN

¹tonykoerniawan84@gmail.com; ²aas_wasri@yahoo.com

Abstract : *The Solar Power Plant Off-Grid 1 kWp at STT-PLN is one of the power plants built at STT-PLN to support renewable energy research, especially solar power generation. Since the solar power plant Off-Grid 1 kWp in STT-PLN has not yet known the optimum potential of electrical energy, the final yield (YF), the performance ratio (PR), and the efficiency of the system which is the parameters of a plant's performance Solar power. It is therefore necessary to analyze the performance of the solar power plant Off-Grid 1 kWp in STT-PLN, in order to know the operating system and the constraints that occur in the solar power plant Off-Grid 1 kWp in STT-PLN. To know the working parameters of Off-Grid 1 kWp in STT-PLN then do the research before and after maintenance of solar power plant. Where final yield (YF), performance ratio (PR) before maintenance is 1.71343 Wh / Wp.day; 51.78%. While after maintenance of 3.10121 Wh / Wp.day; And 79.29%. From this research also obtained the efficiency of Off-Grid 1 kWp solar power system in STT-PLN as a whole by 80,40%.*

Keywords: *Off-Grid PLTS, final yield (YF), performance ratio (PR), Efficiency.*

Abstrak : *Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid 1 kWp di STT-PLN merupakan salah satu pembangkit listrik yang dibangun di STT-PLN guna menunjang penelitian energi baru terbarukan terutama PLTS. Sejak PLTS Off-Grid 1 kWp di STT-PLN beroperasi belum banyak diketahui potensi energi listrik yang optimum, hasil akhir/final yield (Y_F), performance ratio (PR), serta efisiensi sistem yang merupakan parameter-parameter kinerja suatu PLTS. Sehingga perlu dilakukan analisis terkait kinerja PLTS Off-Grid 1 kWp di STT-PLN, agar dapat pula diketahui sistem operasi dan kendala-kendala yang terjadi pada PLTS Off-Grid 1 kWp di STT-PLN. Untuk mengetahui parameter kerja dari Off-Grid 1 kWp di STT-PLN maka dilakukan penelitian sebelum dan sesudah maintenance PLTS. Dimana hasil akhir/final yield (Y_F), performance ratio (PR) sebelum maintenance sebesar 1.71343 Wh/Wp.hari ;51,78 %. Sementara setelah maintenance sebesar 3.10121 Wh/Wp.haridan79,29 %. Dari penelitian ini juga didapatkan efisiensi sistem PLTS Off-Grid 1 kWp di STT-PLN secara keseluruhan sebesar 80,40 %.*

Kata Kunci : *PLTS Off-Grid, hasil akhir harian (Y_F), performance ratio (PR), Efisiensi*

1. PENDAHULUAN

Dalam mengembangkan teknologi PLTS, kampus STT-PLN membangun 2 sistem dari PLTS yaitu sistem *On-Grid* 17,6 kW dan *Off-Grid* 1 kWp, dimana sistem kerja *On-Grid* 17,6 kWp merupakan sistem kerja yang terkoneksi langsung dengan jaringan PLN. Sedangkan sistem kerja dari PLTS *Off-Grid* 1 kWp ini merupakan sistem yang tidak dihubungkan langsung pada jaringan PLN. Teknologi sistem PLTS *Off-Grid* di kampus memiliki kapasitas daya sebesar 1 kWp dimana daya yang didapatkan

berasal dari 20 panel surya berkapasitas masing-masing 50Wp yang dipasang secara seri dan parallel dalam 1 array. Sistem PLTS ini terdiri dari *Solar Charger Controller* (SCC), Inverter berkapasitas 3 kW, serta penyimpanan berupa baterai berkapasitas 24V;200AH yang terdiri dari 2 buah baterai VRLA.

Besar daya maksimum yang dapat dihasilkan PLTS sangat bergantung terhadap besarnya intensitas cahaya yang masuk setiap harinya, yang mana pengaruh cuaca serta gangguan bayangan benda yang dapat mengganggu penyerapan intensitas cahaya yang

diserap oleh panel surya menjadi listrik. Selain faktor eksternal, faktor internal juga mempengaruhi besar daya yang mampu diserap oleh panel surya bergantung terhadap besarnya efisiensi panel surya, serta komponen-komponen pendukung yang digunakan dalam sistem ini, seperti efisiensi inverter, maupun efisiensi baterai.

Perubahan daya yang masuk setiap harinya merupakan data yang harus didapatkan guna menunjang kegiatan pengembangan penelitian PLTS ini, baik di dalam kampus STT-PLN maupun di luar kampus STT-PLN, dimana analisis sistem kinerja dari PLTS ini sangat bergantung terhadap besarnya daya yang masuk dalam jangka waktu tertentu terhadap daya keluarannya, serta untuk melihat persentase optimum yang dapat dihasilkan dari besar potensi radiasi matahari yang direalisasikan pada PLTS *Off-Grid* 1kWp ini.

2. LANDASAN TEORI

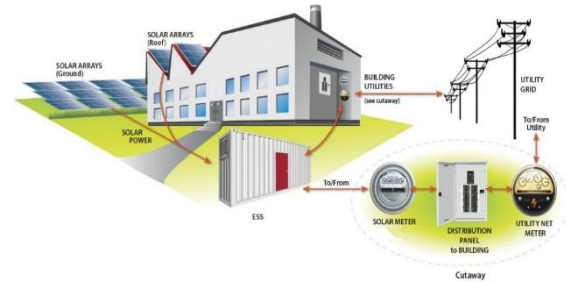
2.1 Konfigurasi PLTS

Pada sistem pembangkit listrik tenaga surya konfigurasi terhadap jaringan yang terhubung dibedakan menjadi tiga, yaitu sistem PLTS yang dihubungkan langsung dengan jaringan PLN atau biasa disebut PLTS *On-Grid*. Sistem PLTS yang tidak dihubungkan ke jaringan PLN atau yang biasa disebut PLTS *Off-Grid/Stand-Alone*. Dan PLTS yang sistemnya digabung dengan jenis pembangkit lain atau biasa disebut sistem PLTS *Hybrid*.

2.1.1 PLTS On Grid

Sistem PLTS terinterkoneksi (*On-Grid*) atau yang disebut dengan *Grid Connected PV System* adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari untuk menghasilkan listrik. Dan sesuai dengan namanya, maka sistem ini akan dihubungkan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi matahari melalui modul surya atau *photovoltaic* modul yang menghasilkan listrik semaksimal mungkin. Sistem ini juga dianggap ramah lingkungan dan bebas emisi. Sistem PLTS terinterkoneksi juga merupakan sebuah solusi *green* energi bagi masyarakat

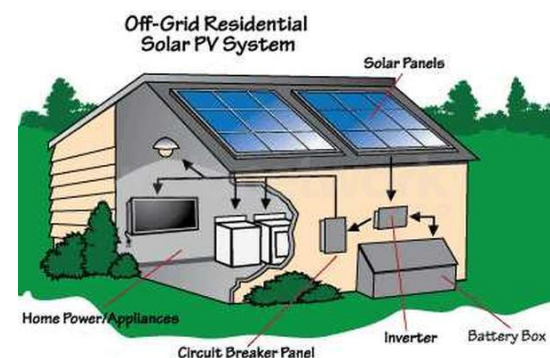
perkotaan baik perkantoran maupun perumahan yang bertujuan untuk dapat memperkecil tagihan rekening listrik dari PLN dan dapat memberikan nilai tambah kepada pemiliknya.



Gambar 2.1 PLTS *On-Grid*

2.1.1 PLTS Off Grid

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (*Off-Grid*) merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari tanpa terhubung dengan jaringan PLN atau dengan kata lain satu-satunya sumber pembangkitnya yaitu hanya menggunakan radiasi matahari dengan bantuan panel surya atau *photovoltaic* untuk dapat menghasilkan energi listrik sistem PLTS *Off-Grid* sendiri juga hanya dimanfaatkan untuk daerah yang tidak terjangkau pasokan listrik dari PLN seperti daerah pedesaan.



Gambar 2.2 PLTS *Off-Grid*

3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini berlangsung dalam jangka waktu intensif dalam kurun waktu dari bulan November 2017 sampai dengan bulan Januari 2018. Data penelitian yang

diambil meliputi data kinerja PLTS selama satu hari pada saat waktu *peak* dari PV panel yaitu dari pukul 09:00 – 15:00 WIB, dengan parameter:

1. Tegangan keluaran.
2. Arus keluaran.
3. Iradiasi matahari.

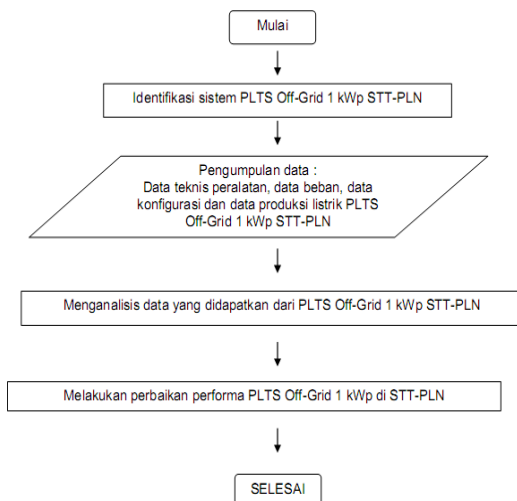
3.2 Pengambilan Data Langsung

Pada metode peneliti melakukan pengamatan PLTS secara langsung ke lapangan dan melakukan pengambilan data dari PLTS *Off-Grid* 1 kWp di STT-PLN, dimana data-data yang diambil meliputi:

1. Data teknis peralatan terpasang pada PLTS *Off-Grid* 1 kWp, diambil dari data spesifikasi peralatan.
2. Data produksi energi PLTS berupa keluaran PV panel, baterai, serta inverter.
3. Data potensi energi yang diambil dari iradiasi matahari di STT-PLN.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir penelitian yang dilakukan:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian PLTS *Off-Grid* 1 kWp di STT-PLN.

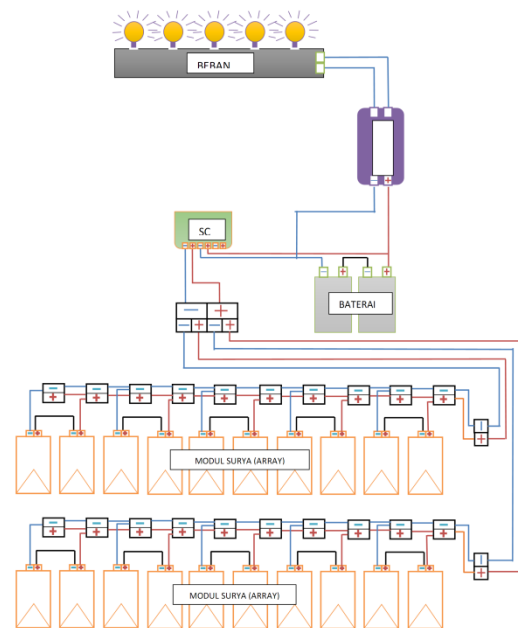
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 *Maintenance* Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Dalam pembangkit listrik tenaga surya perawatan berkala atau *maintenance* merupakan suatu hal yang wajib guna menjaga umur pembangkit yang lebih

lama. Faktor cuaca serta jaringan-jaringan kabel yang memiliki batas waktu, membuat pemeliharaan jaringan PLTS perlu dilakukan. Pemeliharaan performa dari PLTS dapat dilakukan dalam kurun waktu bulanan, tiga bulanan, enam bulanan, serta dalam jangka waktu tahunan. Dalam penelitian ini dilakukan pemeliharaan 3 bulanan dari PLTS berupa pembersihan permukaan PV panel serta, pemeliharaan tahunan dari jaringan PLTS. Selain melakukan pemeliharaan pada sistem jaringan dari PLTS, peneliti juga melakukan pengecekan terminal-terminal yang terdapat pada sistem PLTS.

4.2 Skema PLTS *Off-Grid* Di STT-PLN



Gambar 4.1 Skema PLTS *Off-Grid* di STT-PLN

4.3 Produksi Riil Energi Listrik PLTS *Off-Grid* STT-PLN

Dalam menilai suatu kinerja sistem PLTS diperlukan perhitungan serta analisis data monitoring yang telah diambil dari sistem PLTS dalam kurun waktu tertentu. Dimana perhitungan dan analisis dari data tersebut akan digunakan sebagai parameter untuk menyatakan PLTS tersebut dalam kondisi yang baik atau tidak. Dalam penelitian ini digunakan 2 parameter pengujian yang merupakan perbandingan antara performa PLTS ini sebelum *maintenance* dan setelah *maintenance*.

Data analisis yang dibahas dalam penelitian ini meliputi data produksi energi listrik riil dan iradiasi rata-rata pada bidang *array* PLTS *Off-Grid* STT-PLN, dimana nilai H_T pada tabel 4.1 merupakan nilai iradiasi yang diambil langsung setiap 30 menit dari pukul 09:00-15:00 WIB. Untuk nilai P_o (daya puncak atau daya terpasang) pada PLTS *Off-Grid* STT-PLN yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapasitas total yang dibangkitkan PLTS *Off-grid* STT-PLN, yakni sebesar 1 kWp. Serta pada penelitian ini beban total yang terpasang sebesar 500 Watt yang berasal dari 5 buah lampu pijar 100 Watt.

4.4 Produksi Rill Energi Listrik PLTS Sebelum *Maintenance*

Tabel 4.1 Produksi Rill PLTS *Off-Grid* Tanggal 30 November 2017

No.	Jam	Iradiasi (W/m ²)	Arus (A)	Tegangan (Volt)	Produksi Daya (W)	Keterangan (Cuaca)
1	9:00	334.4	10.3	22.1	227.63	Berawan
2	9:30	601.1	13.4	24.4	326.96	Cerah Berawan
3	10:00	623.1	14.3	25.2	360.36	Cerah Berawan
4	10:30	651.2	14.2	24.7	350.74	Berawan
5	11:00	864.5	15	25.3	379.5	Cerah
6	11:30	714.2	14.6	24.1	351.86	Cerah
7	12:00	454.5	11.1	23.2	257.52	Berawan
8	12:30	405.6	10.5	24.9	261.45	Berawan
9	13:00	264.1	8.2	20.1	164.82	Mendung
10	13:30	583.8	10.1	23.1	233.31	Berawan
11	14:00	312.4	7.8	20.5	159.9	Berawan
12	14:30	421.5	8.4	21.6	181.44	Berawan
13	15:00	387.6	8.2	20.9	171.38	Berawan
Rata-rata		509.07	11.23	23.08	263.60	

Pada analisis sistem kinerja dari PLTS *Off-Grid* di STT-PLN perlu dilakukan pengambilan data sebelum *maintenance* dari sistem PLTS sebagai parameter kinerja dari PLTS *Off-Grid* STT-PLN. Tabel 4.1 di atas merupakan data produksi energi listrik riil dan iradiasi rata-rata pada bidang *array* PLTS *Off-Grid* sebelum di-*maintenance* dimana nilai H_T pada tabel 4.1 merupakan nilai iradiasi yang diambil secara langsung. Dari tabel 4.1 di atas dapat dilakukan pengukuran *Performance Ratio* (PR) riil PLTS STT-PLN menggunakan formula:

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R}$$

Dimana,

$$Y_F = \frac{E_{PV}}{P_o} = \frac{263.60 \text{ wx } 6.5 \text{ h}}{1000 \text{ Wp } \times 1 \text{ day}} = 1.71343 \text{ kWh/Wp.hari}$$

Sedangkan Y_R atau *reference yield*:

$$Y_R = \frac{H_T}{G_{STC}} = \frac{(509.07 \text{ w/m}^2 \times 6.5 \text{ h})}{1000 \text{ w/m}^2 \times 1 \text{ day}} = 3.309 \text{ kWh/kWp.hari}$$

Sehingga PR sebelum *maintenance* adalah:

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} = \frac{1.71343}{3.309} = 0.5178 \text{ atau } 51,78 \%$$

4.5 Produksi Rill Energi Listrik PLTS Setelah *Maintenance*

Setelah dilakukan pengambilan data sebelum *maintenance* sistem PLTS *Off-Grid* di STT-PLN. Penelitian ini berlanjut setelah dilakukannya *maintenance* sistem PLTS secara keseluruhan. Mulai dari pengecekan kabel, konektor kabel, serta pembersihan kotoran pada permukaan panel surya. Pengambilan data setelah *maintenance* ini perlu dilakukan guna melihat peningkatan performa sistem PLTS setelah *maintenance*.

Tabel 4.2 di bawah ini merupakan data produksi energi listrik riil dan iradiasi rata-rata pada bidang *array* PLTS *Off-Grid* setelah di-*maintenance* dimana nilai H_T pada tabel 4.2 merupakan nilai iradiasi yang diambil langsung dan merupakan data produksi PLTS *Off-Grid* 1 kWp di STT-PLN pada tanggal 15 Desember 2017. Dimana data tersebut diambil setelah dilakukannya *maintenance* pada PLTS *Off-Grid* STT-PLN.

Tabel 4.2 Produksi Rill PLTS *Off-Grid* Tanggal 15 Desember 2017

No.	Jam	Iradiasi (W/m ²)	Arus (A)	Tegangan (V)	Produksi Daya (W)	Keterangan (Cuaca)
1	9:00	463.7	17.5	26.2	458.5	Berawan
2	9:30	525.6	19	26.9	511.1	Berawan
3	10:00	612.1	20.1	28.5	572.85	Cerah Berawan
4	10:30	634.5	20.3	28.5	578.55	Cerah Berawan
5	11:00	842.5	19.2	29.4	564.48	Cerah
6	11:30	888.1	19.1	30.8	588.28	Cerah
7	12:00	851.6	18.9	30.3	572.67	Cerah
8	12:30	351.1	11.8	25.3	298.54	Berawan
9	13:00	722.7	19.11	30.2	577.12	Cerah
10	13:30	229.1	8.6	24.7	212.42	Mendung
11	14:00	607.3	18.8	26.2	492.56	Cerah
12	14:30	605.1	16	25.6	409.6	Cerah
13	15:00	488.5	14.4	25.4	365.76	Berawan
Rata-rata		601.6846	17.13923	27.53846	477.11	

Dari data-data yang terkumpul pada tabel 4.2 dapat dilakukan pengukuran *Performance Ratio* (PR) rii PLTS STT-PLN menggunakan formula:

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R}$$

Dimana,

$$Y_F = \frac{E_{PV}}{P_o} = \frac{477.11 \text{ W} \times 6.5 \text{ h}}{1000 \text{ Wp} \times 1 \text{ day}} = 3.10121 \text{ kWh/Wp.hari}$$

Sedangkan Y_R atau *reference yield*:

$$Y_R = \frac{H_T}{G_{STC}} = \frac{(601.6846 \text{ W/m}^2 \times 6.5 \text{ h})}{1000 \text{ W/m}^2 \times 1 \text{ day}} = 3.91095 \text{ kWh/Wp.hari}$$

Sehingga PR sesudah *maintenance* adalah:

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} = \frac{3.10121}{3.91095} = 0.7929 \text{ atau } 79,29 \%$$

4.5 Produksi Rill Energi Listrik PLTS Setelah *Maintenance*

Dalam melakukan analisis sistem PLTS *Off-Grid* 1 kWp di STT-PLN salah satu parameter sistem tersebut sudah bekerja dengan maksimum atau belum adalah dengan menghitung efisiensi dari sistem PLTS tersebut.

Tabel 4.3 Daya Listrik PLTS *Off-Grid* Tanggal 15 Desember 2017

No.	Jam	Iradiasi (W/m ²)	Produksi PV (W)	Input Baterai (W)	Input Inverter (W)	Konsumsi Beban (W)
1	09:00	463.7	458.5	426.3	422.82	385.61
2	09:30	525.6	511.1	445.56	434.75	386.64
3	10:00	612.1	572.85	446.22	444	388.24
4	10:30	634.5	578.55	446.22	446.22	384.89
5	11:00	842.5	564.48	433.92	429.75	384.45
6	11:30	888.1	588.28	422.11	420.2	384.84
7	12:00	851.6	572.67	424.88	416.25	384.67
8	12:30	351.1	298.54	293.82	284.05	376.54
9	13:00	722.7	577.12	422.11	420.2	390.24
10	13:30	229.1	212.42	236.04	230.42	384.48
11	14:00	607.3	492.56	402.05	395.9	377.89
12	14:30	605.1	409.6	409.6	408	382.14
13	15:00	488.5	365.76	360	352.5	376.704
Rata-rata		601.6846	477.11	397.6023	392.69	383.64

Dari tabel 4.3 di atas dapat diketahui besar daya listrik rata-rata yang diproduksi sebesar 477,11 Watt. Sementara besar rata-rata daya listrik yang dikonsumsi sebesar 383,64 Watt.

Menghitung energi listrik dalam 1 hari untuk kurun waktu 6,5 jam :

$$P_{out} = \frac{P_{outrata} - rata \times 6,5 \text{ jam}}{1000} = \frac{383.64 \text{ W} \times 6,5 \text{ h}}{1000} = 2.4936 \text{ kWh}$$

$$P_{in} = \frac{P_{inrata} - rata \times 6,5 \text{ jam}}{1000} = \frac{477.11 \text{ W} \times 6,5 \text{ h}}{1000} = 3.10125 \text{ kWh}$$

Maka efisiensi dari sistem PLTS adalah :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{2.4936}{3.10125} \times 100\% = 80,40\%$$

4.6 Analisis Kinerja PLTS *Off-grid* 1 kWp STT-PLN

Dalam penelitian ini dilakukan analisis sistem PLTS *Off-Grid* berupa perbandingan antara hasil perhitungan sebelum dan sesudah dilakukan *maintenance* PV panel. Serta analisis efisiensi sistem PLTS *Off-Grid* 1 kWp di STT-PLN.

4.6.1 Analisis Kinerja PLTS *Off-grid* 1 kWp STT-PLN

Pada analisis ini hal-hal yang dibandingkan adalah energi bersih yang

dikirim ke beban oleh PLTS E_{PV} serta parameter-parameter dari kinerja PLTS, yakni hasil akhir *final yield* (Y_F), *Reference Yield* (Y_R) dan *performance ratio* PR. Dimana data ditunjukkan pada tabel 4.4 di bawah ini merupakan hasil produksi energi listrik dan parameter-parameter kinerja PV panel sebelum dan sesudah *maintenance*.

Tabel 4.4 Perbandingan PLTS sebelum dan sesudah *maintenance*

No	Keterangan	Sebelum <i>Maintenance</i>	Sesudah <i>Maintenance</i>
1	<i>Final Yield</i> (Wh/Wp.hari)	1.71343	3.10121
2	<i>Reference Yield</i> (kWh/kWp.hari)	3.309	3.91095
3	<i>Performance Ratio</i> (%)	51,78	79,29

Dari data pada tabel 4.4 didapatkan *performance ratio* (PR) sesudah *maintenance* yang lebih tinggi dari pada sebelum dilakukannya *maintenance* terhadap PLTS *Off-Grid* 1 kWp di STT-PLN sebesar 27,51%. Hasil produksi PLTS yang lebih tinggi ini didapatkan setelah dilakukannya *maintenance* jaringan PLTS seperti terminal kabel, kabel, serta sambungan kabel dengan cara mengganti sambungan kabel seri pada terminal dengan sambungan kabel MC4.

Selain perbaikan kualitas dari jaringan PLTS, dilakukan juga *maintenance* PV panel dengan cara membersihkan panel surya dari debu dan kotoran yang menempel pada permukaan panel surya dengan menyiram panel surya menggunakan air bersih. Perawatan PV panel secara rutin juga dapat menjaga PV panel dalam tetap dalam keadaan yang baik, sehingga PV panel dapat menyerap radiasi matahari dalam kondisi yang maksimum.

Tabel 4.5 Perbandingan Keluaran Terminal PLTS pada Pukul 11:30 WIB

No.	Terminal	Sebelum <i>Maintenance</i>		Sesudah <i>Maintenance</i>	
		Arus (A)	Tegangan(V)	Arus (A)	Tegangan (V)
1	Ke-1	1.81	24.5	1.94	31
2	Ke-2	0.80	24.4	1.93	30.9
3	Ke-3	1.81	24.4	1.94	30.9
4	Ke-4	1.81	24.4	1.94	31
5	Ke-5	1.8	24.5	1.94	31
6	Ke-6	1.77	25.1	1.91	31.5
7	Ke-7	0.7	25	1.9	31.6
8	Ke-8	1.77	25	1.92	31.6
9	Ke-9	0.7	25	1.92	31.4
10	Ke-10	1.76	25	1.92	31.5

Pada sistem penelitian ini juga dilakukan analisis efisiensi dari sistem PLTS *Off-Grid* 1 kWp STT-PLN, dimana efisiensi sistem PLTS *Off-grid* 1 kWp ini sebesar 80,40%. *Losses* sebesar 19,60% pada sistem PLTS ini berasal dari rugi-rugi yang terdapat pada komponen-komponen PLTS seperti baterai dan inverter. Faktor *life time* dari masing-masing komponen merupakan faktor terjadinya penurunan efisiensi dari masing-masing komponen tersebut, sehingga semakin lama sistem tersebut bekerja maka *life time* dari komponen-komponen tersebut akan menurun dengan diikuti penurunan efisiensi komponen. Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data secara manual setiap 30 menit dari pukul 09:00 WIB sampai 15:00 WIB, sehingga faktor kesalahan pembacaan juga dapat mempengaruhi hasil pengambilan data.

5. KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang didapat dari penelitian ini, yaitu:

1. Hasil akhir (Y_F) riil produksi PLTS *Off-Grid* 1 kWp di STT-PLN setelah *maintenance* jauh lebih besar dari pada sebelum *maintenance*. Dimana (Y_F) riil yang didapat sebelum *maintenance* sebesar 1.71343 kWh/Wp.hari, sedangkan setelah *maintenance* (Y_F) riil yang didapat sebesar 3.10121 kWh/Wp.hari.

2. *Performance ratio* (PR) rillproduksi PLTS *Off-Grid* 1 kWp di STT-PLN setelah *maintenance* mengalami peningkatan sebesar 27,51%. Dimana (PR) riil yang didapat sebelum *maintenance* sebesar 51,78 %, sedangkan (PR) riil setelah *maintenance* sebesar 79.29 %.
3. Efisiensi (η) pada sistem PLTS *Off-Grid* 1 kWp di STT-PLN sebesar 80,40% yang diambil dari data setelah *maintenance* yakni pada tanggal 15 Desember 2017.
4. Penurunan *performance ratio* (PR) pada produksi PLTS *Off-Grid* 1 kWp di STT-PLN disebabkan oleh jaringan kabel dan kondisi panel surya yang tertutup debu dan kotoran.
5. Penurunan efisiensi (η) pada sistem PLTS *Off-Grid* 1 kWp di STT-PLN disebabkan oleh rugi-rugi dari komponen-komponen PLTS seperti pada baterai dan inverter.

REFERENSI

- [1]. British Standard, BS EN 61724:1998 IEC 61724:1998. *Photovoltaic system performance monitoring - Guidelines for measurement, data exchange and analysis*.
- [2]. Konings, Peter. 2014. "*Advanced Training for Trainers in Photovoltaics and Bioenergy*". Renewables Academy. Jakarta.
- [3]. Mohammad Hafidz .2016. "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)" *Basic Training For Solar System*, Sekolah Tinggi Teknik-PLN.
- [4]. Quaschnig, Volker. 2005. *Understanding Renewable Energy System, Volume 1*. London: Earthscan.
- [5]. Solar Energy International. 2004. *Photovoltaic: Design and Instalation Manual*. Canada: New Society Publishers.