

ANALISIS UNJUK KERJA SISTEM FOTOVOLTAIK ON-GRID PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) GILI TRAWANGAN [Photovoltaic System Performance Analysis On-Grid On Solar Power Plant (PLTS) Gili Trawangan]

Eka Meilia Suryanti¹, Rosmaliati², Ida Bagus Fery Citarsa³

ABSTRAK

PT. PLN (Persero) Wilayah Nusa Tenggara Barat membangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang berukuran 200 kWp dan 400 kWp dengan sistem on-grid untuk meningkatkan kapasitas suplai sistem kelistrikan Gili Trawangan. Penelitian ini mengamati beberapa parameter yang selanjutnya digunakan untuk menganalisis unjuk kerja dan hasilnya dapat menjadi masukan bagi PT. PLN (Persero) Wilayah Nusa Tenggara Barat dalam merencanakan PLTS pada masa yang akan datang. Pada penelitian ini dilakukan pengumpulan data spesifikasi, pengukuran keluaran panel surya dan inverter, perhitungan dan analisis. Hasil perhitungan PLTS 200 kWp berdasarkan data spesifikasi didapatkan besarnya efisiensi PV ($\eta_{PV,d}$), efisiensi inverter ($\eta_{inv,d}$), efisiensi sistem ($\eta_{sys,d}$), hasil akhir ($Y_{f,d}$) dan rasio kinerja (PR_d) berturut-turut adalah 14,82%; 98,78%; 14,64%; 8,89 kWh/kWp; 88,9% dan berdasarkan hasil perhitungan data pengukuran didapatkan besarnya nilai tersebut berturut-turut adalah 12,47%; 97,61%; 12,17%; 5,13 kWh/kWp; 15,98%. Hasil perhitungan PLTS 400 kWp berdasarkan data spesifikasi didapatkan besarnya nilai tersebut pada inverter I dan inverter II berturut-turut adalah 15,76%; 99,13%; 15,62%; 8,91 kWh/kWp; 89,1% dan berdasarkan hasil perhitungan data pengukuran besarnya nilai tersebut pada inverter I dan inverter II berturut-turut adalah 10,24% dan 10,32%; 95,72% dan 94,14%; 9,80% dan 9,72%; 4,83-4,84% kWh/kWp; 15,04-15,07%. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan berdasarkan data pengukuran lebih kecil dibandingkan data spesifikasi, dengan besar persentase perbandingan untuk masing-masing nilai berturut-turut berkisar antara 52,60-88,53%; 94,97-98,82%; 50,45-57,09%; 34,68-59,84% dan 16,88-25,25%.

Kata kunci : PLTS on-grid, sistem PV, inverter

ABSTRACT

PT. PLN (Persero) Region West Nusa Tenggara build Solar Power Plant (SPP) which is a 200 kWp and 400 kWp with on-grid system to improve the supply capacity of the electrical system of Gili Trawangan. The study looked at a number of parameters which are then used to analyze the performance and the results can be input for PT. PLN (Persero) Region West Nusa Tenggara in planning PLTS in the future. In this research, data collection specifications, measurements of solar panels and inverter output, calculations and analysis. The results of 200 kWp solar calculations based on data specifications obtained the efficiency PV ($\eta_{PV, d}$), the efficiency of the inverter ($\eta_{inv, d}$), the efficiency of the system ($\eta_{sys, d}$), the final result (Y_f, d) and the ratio of performance (PRD) consecutive was 14.82%; 98.78%; 14.64%; 8.89 kWh / kWp; 88.9% and based on the results of the calculation of the value of the measurement data obtained in a row is 12.47%; 97.61%; 12.17%; 5.13 kWh / kWp; 15.98%. The results of 400 kWp solar calculations based on data obtained specifications on the value of the first inverter and the inverter II respectively is 15.76%; 99.13%; 15.62%; 8.91 kWh / kWp; 89.1% and based on the results of the calculation of the value of the measurement data on the first inverter and the inverter II are respectively 10.24% and 10.32%; 95.72% and 94.14%; 9.80% and 9.72%; 4.83 to 4.84% kWh / kWp; 15.04 to 15.07%. From these results it can be concluded that the results of calculations based on the measurement data is smaller than the data specification, with a large percentage of comparisons for each successive values ranged from 52.60 to 88.53%; 94.97 to 98.82%; 50.45 to 57.09%; 34.68 to 59.84% and from 16.88 to 25.25%.

Keyword: PLTS on-grid, PV systems, inverter

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat Indonesia
meilia_elektro08@yahoo.com, rosmaliatimuchtar@gmail.com, ferycitarsa@telkom.net

PENDAHULUAN

Dalam upaya memenuhi kebutuhan energi listrik untuk wilayah Gili Trawangan ditengah gencarnya seruan akan kelestarian lingkungan hidup, maka PT. PLN (Persero) Wilayah Nusa Tenggara Barat membangun sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang berukuran 200 kWp dan 400 kWp dengan sistem *on-grid*. PLTS *on-grid* 200 kWp beroperasi sejak 8 Maret 2011 dan PLTS *on-grid* 400 kWp beroperasi sejak 12 Mei 2012 di Gili Trawangan merupakan salah satu contoh nyata menuju *green energy solution*. PLTS *on-grid* 200 kWp dan PLTS *on-grid* 400 kWp menghasilkan keluaran tegangan 400-700 V_{DC} atau 220/380 V_{AC} , dengan menggunakan inverter 250 kW.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi kinerja modul surya, antara lain karakteristik dari modul surya, jumlah sel dalam modul dan hubungan modul surya, radiasi kumulatif surya, temperatur operasi modul surya, dan temperatur ambient. Dengan penggunaan sistem *on-grid* pada PLTS Gili Trawangan dan adanya beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi kinerja modul surya tersebut, diperlukan analisis unjuk kerja sistem *on-grid* yang hasilnya dapat dijadikan sebagai masukan bagi PT. PLN (Persero) dalam merencanakan PLTS yang akan datang.

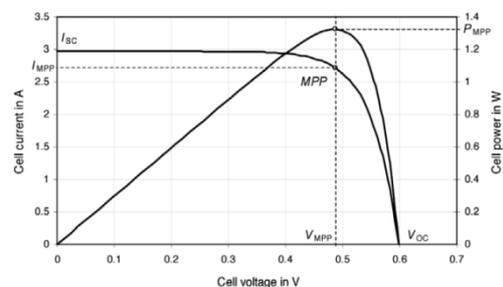
Dadan, dkk, 2011 telah melakukan analisis *Solar Photovoltaic System* (SPS) didasarkan pada efisiensi energi dan eksergi, serta potensi peningkatan eksergetik (*exergetic improvement potential*, IP) menggunakan data eksperimen (parameter lingkungan dan keluaran listrik SPS) untuk kota Samarinda, Kalimantan Timur. Hasil analisis menunjukkan bahwa variasi per jam untuk evaluasi efisiensi energi lebih tinggi dibandingkan efisiensi eksergi (4-12%).

Septi, 2011 melakukan penelitian tentang pengaruh meteorologi terhadap lokasi penempatan PLTS di Pulau Lombok. Pengukuran intensitas radiasi, suhu udara, kelembaban udara, arus, dan tegangan panel dilakukan di 6 desa di Pulau Lombok. Hasil yang didapatkan dari pengamatan adalah intensitas radiasi matahari yang tinggi akan menghasilkan efisiensi panel dan produksi energi listrik yang besar.

Sopian, dkk, 2007 melakukan penelitian tentang *performance of a grid-connected photovoltaic system in Malaysia*. Dalam penelitian ini diperoleh kinerja dari sistem fotovoltaik (PV) *grid-connected* sebesar 5,76 kWp pada Universitas Kebangsaan Malaysia (UKM), Bangi. Dalam sistem ini, *array* modul PV telah dikonfigurasi untuk menghasilkan arus searah (DC) dan diubah menjadi arus bolak-balik (AC) melalui inverter. Daya dari sistem PV diekspor ke dalam *grid* ketika pembangkitan melebihi permintaan tetapi daya diimpor pada malam hari dan selama waktu ketika permintaan melebihi pembangkitan.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (*Direct Current*) yang dapat diubah menjadi listrik AC (*Alternating Current*) apabila diperlukan. PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik dari skala kecil sampai dengan skala besar, baik secara mandiri (*stand alone*), *on-grid* (terhubung dengan jaringan PLN), maupun hibrid.

Daya listrik yang dihasilkan oleh sel surya ketika mendapat cahaya dihitung dari kemampuan untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Hal tersebut sebagaimana direpresentasikan pada kurva arus-tegangan (I-V) pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva I - V
(Quaschnig: 2005)

Kurva tersebut menunjukkan bahwa pada saat arus dan tegangan berada pada titik kerja maksimal (*maximum power point*), maka akan menghasilkan daya keluaran yang

maksimum (P_{MPP}). Tegangan di *Maximum Power Point* (MPP) V_{MPP} , lebih kecil dari tegangan rangkaian terbuka (V_{OC}) dan arus saat MPP I_{MPP} , adalah lebih rendah dari arus *short circuit* (I_{SC}).

- *Short Circuit Current* (I_{SC}) : terjadi pada suatu titik dimana tegangannya adalah nol, sehingga pada saat ini, daya keluarannya adalah nol.
- *Open Circuit Voltage* (V_{OC}) : terjadi pada suatu titik dimana arusnya adalah nol, sehingga pada saat ini, daya keluarannya adalah nol.
- *Maximum Power Point* (MPP) : adalah titik daya output maksimum yang sering dinyatakan sebagai "knee" dari kurva I-V.

Efisiensi Sel Surya. Efisiensi energi PV merupakan rasio antara energi yang dibangkitkan oleh sistem PV dan total radiasi matahari yang sampai di permukaan PV, sehingga hanya energi listrik yang dibangkitkan oleh PV yang ditinjau, sedangkan parameter lainnya seperti suhu lingkungan, suhu sel PV, komponen potensial kimia dan kapasitas panasnya tidak diperhitungkan.

Untuk menghitung efisiensi, dengan asumsi yang dibuat adalah bahwa energi yang diterima ketika inverter beroperasi dan pembentukan energi pada *array* PV yang telah dipertimbangkan. Untuk mencapai hal ini, digunakan persamaan berikut [12].

Efisiensi *array* PV harian ($\eta_{pv,d}$), bulanan ($\eta_{pv,m}$), dan tahunan ($\eta_{pv,a}$), masing-masing diberikan dalam persamaan berikut:

$$\eta_{pv,d} = \frac{E_{pv,d}}{E_{r,d}} \tag{1}$$

Dengan D dan T masing-masing adalah jumlah hari dengan data yang tercatat pada bulanan dan jumlah hari dengan data yang tercatat dalam tahunan, $E_{pv,d}$ adalah energi harian (kWh) yang dihasilkan oleh modul PV dan diberikan oleh persamaan berikut [12]:

$$E_{pv,d} = \int_{t_i}^{t_f} (V_{DC} \times I_{DC}) dt \tag{2}$$

dengan V_{DC} dan I_{DC} masing-masing adalah tegangan DC (V) dan arus DC (A), t_i dan t_f masing-masing adalah waktu awal dan waktu akhir (h), $E_{r,d}$ adalah energi harian yang tersedia (kWh), yang didefinisikan sebagai radiasi harian pada bidang permukaan *array* pada waktu inverter terhubung dengan *grid* dan diberikan berikut [12]:

$$E_{r,d} = \sum_{i=0}^n (E_i \times C) = \int_{t_i}^{t_f} (S \times A) dt \tag{3}$$

dengan $C = 0$ jika inverter adalah keluar dan $C = 1$ jika inverter beroperasi, n adalah jumlah total nilai yang tercatat secara harian dan E_i adalah total energi yang diterima pada bidang permukaan *array* selama satu interval yang terukur (kWh), S adalah radiasi matahari (W/m^2) dan A adalah luas dari *array* PV (m^2).

Oleh karena itu, jika $C = 0$ untuk $E_i <$ ambang batas inverter kemudian inverter terputus dari *grid*.

Efisiensi inverter harian ($\eta_{inv,d}$), bulanan ($\eta_{inv,m}$), dan tahunan ($\eta_{inv,a}$), masing-masing dihitung dengan persamaan berikut [12]:

$$\eta_{inv,d} = \frac{E_{grid,d}}{E_{pv,d}} \tag{4}$$

dengan E_{grid} adalah output dari energi AC (kWh) yang diperoleh dari ukuran penerimaan dan pengiriman ($E_1 - E_2$), dengan E_1 adalah pembacaan alat ukur pada awal dari akuisisi data harian dan E_2 adalah pembacaan alat ukur pada akhir dari akuisisi data harian), $E_{grid,d}$ juga merupakan energi aktif setiap hari pada keluaran dari inverter (kWh) [12].

$$E_{grid,d} = \frac{E_1 + E_2}{2} \tag{5}$$

Keterangan:

E_1 = Total daya masing-masing fasa (waktu awal) * ($t_{akhir} - t_{awal}$) (kWh)

E_2 = Total daya masing-masing fasa (waktu akhir) * ($t_{akhir} - t_{awal}$) (kWh)

Efisiensi sistem harian ($\eta_{sys,d}$), bulanan ($\eta_{sys,m}$) dan tahunan ($\eta_{sys,a}$) dapat dievaluasi dengan menggunakan persamaan berikut [12]:

$$\eta_{sys,d} = \frac{E_{grid,d}}{E_{r,d}} \tag{6}$$

Untuk membandingkan hasil dari sistem PV yang berbeda, dua parameter lainnya yang dibutuhkan yaitu; hasil akhir (Yf) dan rasio kinerja (PR). Hasil akhir Yf didefinisikan sebagai energi keluaran pada sistem tahunan atau harian dibagi dengan $W_{p,c}$, dengan $W_{p,c}$ menunjukkan perkiraan daya puncak sebelumnya dari *array* dalam Standard Testing Conditions (STC) [12].

Dengan demikian hasil akhir harian, bulanan dan tahunan dihitung sebagai berikut:

$$Y_{f,d} = \frac{E_{grid,d}}{W_{p,c}} \tag{7}$$

Rasio Kinerja harian (PR_d) didefinisikan sebagai rasio antara hasil akhir harian dengan iradiasi global harian pada bidang dari permukaan array E_{i,d} yang diberikan pada persamaan berikut [12]:

$$PR_d = Y_{f,d} \times \frac{G_{STC}}{E_{i,d}} \tag{8}$$

dengan G_{STC} adalah radiasidi bawah STC. PR memungkinkan perbandingan antara kinerja PV yang berbeda sistem dengan mempertimbangkan semua parameter seperti: lokasi, sudut kemiringan, orientasi, daya nominal, debu shading, dan lain-lain Daya (W_{peak}) yang dibangkitkan PLTS untuk memenuhi kebutuhan energi, diperhitungkan dengan persamaan sebagai berikut:

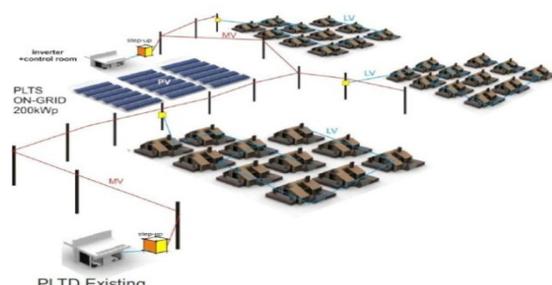
$$P_{Wattpeak} = Area\ array \times PSI \times \eta_{PV} \tag{9}$$

dengan:

PSI (*Peak Solar Insulation*) adalah 1000 W/m² η_{PV} adalah efisiensi panel surya.

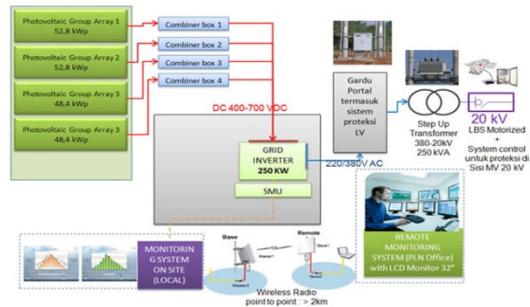
Deskripsi Sistem PLTS On-grid Gili Trawangan. PLTS *on-grid* merupakan salah satu alternatif sistem pembangkit yang tepat diaplikasikan pada daerah-daerah yang sudah terjangkau oleh sistem pembangkit skala besar maupun skala kecil. PLTS *on-grid* ini memanfaatkan *renewable energy* berupa tenaga surya yang dikombinasikan dengan jaringan tenaga listrik yang sudah ada seperti diesel atau sumber energi eksisting lainnya.

Energi matahari diubah menjadi energi listrik melalui modul fotovoltaik yang langsung disalurkan ke jaringan listrik yang sebelumnya disuplai oleh Pembangkit Listrik Tenaga Diesel-Generator Set atau sumber lainnya, sehingga menjadi suatu sistem yang lebih efisien dan handal untuk dapat menyuplai kebutuhan energi listrik pada siang hari. Blok diagram sistem *on-grid* PLTS 200 kWp Gili Trawangan disajikan pada Gambar 2.



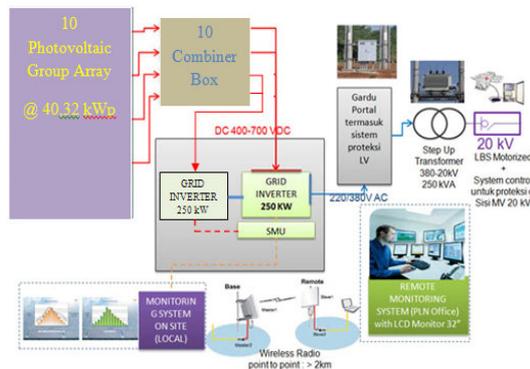
Gambar 2 Blok Diagram PLTS Sistem *On-grid* 200 kWp Gili Trawangan (Purnomo: 2011)

Konfigurasi PLTS On-grid Gili Trawangan



Gambar 3. Konfigurasi PLTS *On-grid* 200 kWp Gili Trawangan (Purnomo: 2011)

PLTS *on-grid* 200 kWp mempunyai total kapasitas 202,4 kWp, terdiri dari 920 modul surya 220 Wp. Modul surya disusun dalam 4 susun (PV GA1, PV GA2, PV GA3, PV GA4). Group Array 1 dan 2 berkapasitas 52,8 kWp, Group Array 3 dan 4 berkapasitas 48,4 kWp. Tegangan output dari PV array ini berkisar 400 - 700 V_{DC}. Grid Inverter dengan kapasitas 250 kW menghasilkan tegangan output 220/380 V_{AC} dialirkan ke gardu portal yang selanjutnya terhubung dengan jala-jala setelah melalui trafo *step-up* 20 kV.



Gambar 4. Konfigurasi PLTS *On-grid* 400 kWp Gili Trawangan

PLTS *on-grid* 400 kWp mempunyai total kapasitas 403,2 kWp, terdiri dari 2.240 modul surya 180 Wp. Modul surya dibagi dalam 10 Group Array dengan kapasitas maksimum masing-masing group adalah 40,32 kWp. Tegangan output dari PV array ini berkisar 400 - 700 V_{DC}. Terdapat 2 buah Grid Inverter dengan kapasitas masing-masing 250 kW menghasilkan tegangan output 220/380 V_{AC} dialirkan ke gardu portal yang selanjutnya terhubung dengan jala-jala setelah melalui trafo *step-up* 20 kV.

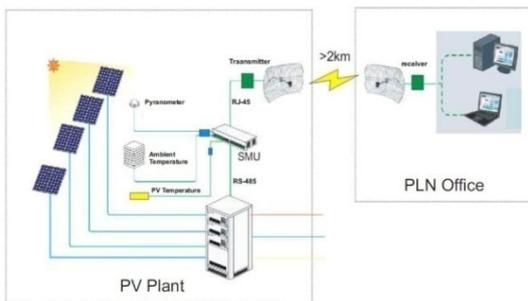
Sistem Monitoring PLTS Gili Trawangan.

Sistem monitoring terdapat pada dua sisi, yaitu pada sisi pembangkit (*site*) dan kantor PLN. Kedua sistem terhubung dengan radio transmisi yang dilengkapi dengan monitor untuk memvisualisasikan operasional pembangkit, status pembangkit dan dilengkapi data logger.

Data yang tersedia pada monitoring sistem pembangkit meliputi :

1. DC Current, DC Voltage ;
2. AC Current, AC Voltage dan frekuensi tiap fasa ;
3. PV Power , dan AC Power ;
4. Total energi dan akumulasi energi (kWh);
5. Reduksi CO₂ , SO₂ , dan Nox harian dan total ;
6. Radiasi Solar Cell (W/m²) ; (opsional)
7. Temperatur Ambient ; (opsional)
8. Temperatur modul PV ; (opsional)

Berikut sekilas gambaran mengenai tata letak PLTS *on-grid* Gili Trawangan 200 kWp yang disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5 Tata Letak PLTS *On-grid* 200 kWp dan 400 kWp Gili Trawangan (Purnomo: 2011)

METODE PENELITIAN

Alat-alat yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini adalah :

1. Panel surya pada PLTS 200 kWp, dengan spesifikasi :

Merk : Suntech
 Model : STP220-20/Wd
 Tipe Modul : Polikristal
 P_{max} : 220 W
 V_{oc} : 36,6 V
 I_{sc} : 8,05 A
 V_{mpp} : 29,5 V
 I_{mpp} : 7,46 A
 Max. system voltage : 1000 V
 Temperatur normal : 25°C

2. Panel surya pada PLTS 400 kWp, dengan spesifikasi

Merk: LEN
 Model : LEN-180 Wp-24 V
 Tipe Modul : Monokristal

P_{max} : 180 Wp
 V_{oc} : 44.1 V
 I_{sc} : 5.52 A
 V_{mpp} : 35.6 V
 I_{mpp} : 5.06 A

3. Inverter Leonics, dengan spesifikasi:
 Model : GTP-512
 Ukuran : 120 x 215 x 105 (dalam cm)
 Tegangan DC : 780 V (V_{OC})
 Tegangan AC output : 220/380 V_{AC}
 Daya AC output : 250 kW
4. Seperangkat komputer
5. Microsoft Windows XP sebagai sistem operasi
6. Sistem Monitoring Unit (SMU)

Langkah-langkah Penelitian

1. Pengumpulan data
 Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder.

2. Perhitungan
 Setelah mendapatkan data hasil pengukuran dan data spesifikasi teknis peralatan, kemudian dilakukan perhitungan sebagai berikut:

- Menghitung luas permukaan panel surya yang beroperasi (area *array*)
- Menghitung energi harian yang disediakan oleh PV berdasarkan tegangan dan arus panel (E_{pv,d})
 Untuk menghitung besarnya E_{pv,d} digunakan persamaan (2).
- Menghitung energi harian yang tersedia berdasarkan radiasi surya dan luas permukaan panel (E_{r,d})
 Untuk menghitung besarnya E_{r,d} digunakan persamaan (3).
- Menghitung energi keluaran inverter yang masuk ke dalam jaringan (E_{grid,d})
 Untuk menghitung besarnya E_{grid,d} digunakan persamaan (5).
- Menghitung efisiensi fotovoltaiik harian (η_{pv,d}), efisiensi inverter harian (η_{inv,d}), efisiensi sistem harian (η_{sys,d})
 Untuk menghitung besarnya η_{pv,d} digunakan persamaan (1). Untuk menghitung besarnya η_{inv,d} digunakan persamaan (4). Untuk menghitung besarnya η_{sys,d} digunakan persamaan (6).
- Menghitung daya yang dibangkitkan PLTS (P_{Watt peak} atau W_{p,c})
 Untuk menghitung besarnya P_{Watt peak} atau W_{p,c} digunakan persamaan (9).
- Menghitung Intensitas Radiasi Matahari rata-rata (E_{i,d}).

- Menghitung hasil akhir harian ($Y_{f,d}$) dan rasio kinerja harian (PR_d)
Untuk menghitung besarnya $Y_{f,d}$ digunakan persamaan (7), dan untuk menghitung besarnya PR_d digunakan persamaan (8).
- Menghitung persentase perbandingan antara data spesifikasi dengan data hasil pengukuran.

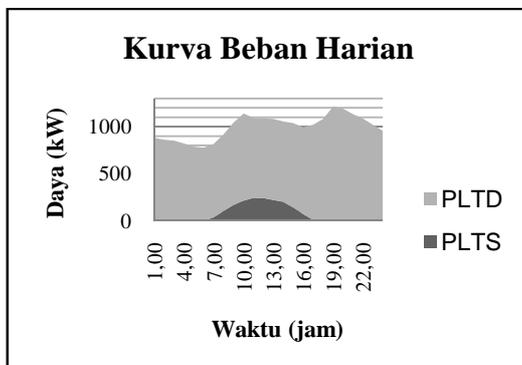
Analisis Data. Pada analisis data akan dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu:

- Membuat kurva karakteristik beban harian PLTS Gili Trawangan.
- Analisis perbandingan hasil perhitungan berdasarkan data spesifikasi teknis peralatan dengan data hasil pengukuran.
- Analisis unjuk kerja sistem *on-grid* dengan melihat indikator performansi PV array dan daya yang dibangkitkan yaitu efisiensi fotovoltaik harian ($\eta_{pv,d}$), efisiensi inverter harian ($\eta_{inv,d}$), efisiensi sistem harian ($\eta_{sys,d}$), hasil akhir harian ($Y_{f,d}$) dan rasio kinerja harian (PR_d).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan berdasarkan pada pengelompokan hari dan kondisi cuaca yaitu pada PLTS 200 kWp dilakukan dalam 13 kali pengukuran, sedangkan pada PLTS 400 kWp dilakukan dalam 24 kali pengukuran antara bulan Mei, Juni dan Juli. Hasil pengukuran tersebut merepresentasikan masing-masing hari dalam satu minggu dan kondisi cuaca. Kondisi cuaca pada saat pengukuran sudah termasuk dalam 3 kondisi yaitu kondisi cerah, kondisi berawan (mendung) dan kondisi hujan.

A. Kurva Beban Harian Gili Trawangan



Gambar 6 Kurva beban harian Gili Trawangan bulan Mei, Juni, Juli

Pada Gambar 6, terlihat bahwa beban puncak siang terjadi pada pukul 10.00 yaitu sebesar 927 kW, sedangkan beban puncak malam terjadi pada pukul 19.00 yaitu sebesar 1.217 kW. PLTS beroperasi pada pukul 07.00-17.00 dengan waktu puncak pada pukul 11.00-12.00 menghasilkan daya sebesar 244 kW. PLTS membantu PLTD dalam menyuplai daya pada siang hari sekitar 20% dari total beban siang hari.

Perhitungan dan Analisis Unjuk Kerja Sistem On-Grid Fotovoltaik

➤ PLTS 200 kWp

- Menghitung Luas Permukaan Panel Surya (*Area Array*)
Luas total permukaan panel yang dioperasikan = 759 m²
- Menghitung Energi Harian yang Disediakan oleh Fotovoltaik ($E_{pv,d}$)
Berdasarkan Data Spesifikasi Teknis
Total $E_{pv,d}$ panel = 1.012,3 kWh

Tabel 1. Hasil Perhitungan $E_{pv,d}$ rata-rata per jam dan Total $E_{pv,d}$

Waktu	$E_{pv,d}$ Rerata- per jam (kWh)	$E_{pv,d}$ Rata-Rata per jam (kWh)		
		Cerah	Berawan	Hujan
07.00-08.00	11,15	12,15	7,42	4,62
08.00-09.00	33,15	33,44	32,96	20,34
09.00-10.00	54,08	53,98	54,67	38,70
10.00-11.00	68,15	71,13	68,33	51,52
11.00-12.00	71,61	80,32	61,36	51,60
12.00-13.00	67,48	76,46	22,17	35,55
13.00-14.00	63,70	73,85	0,00	28,37
14.00-15.00	59,57	70,20	19,92	28,97
15.00-16.00	46,07	50,23	29,23	27,18
16.00-17.00	22,13	23,03	15,23	21,15
Total $E_{pv,d}$ per Hari (kWh)	497,10	544,80	311,27	307,98

Dari Tabel 1, terlihat bahwa energi yang disediakan oleh PV meningkat mulai pukul 07.00 dan mencapai puncak pada pukul 11.00-12.00, kemudian menurun mulai pukul 13.00-17.00 seiring perubahan radiasi matahari, temperatur modul dan kondisi cuaca.

Menghitung Energi Harian yang Tersedia ($E_{r,d}$). Berdasarkan Data Spesifikasi Teknis

Total $E_{r,d}$ = 6.381 kWh

Berdasarkan Data Hasil Pengukuran pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan $E_{r,d}$ rata-rata per jam dan Total $E_{r,d}$

Waktu	$E_{r,d}$ Rata-Rata per jam (kWh)	$E_{r,d}$ Rata-Rata per jam (kWh)		
		Cerah	Berawan	Hujan
07.00-08.00	243,15	102,47	140,79	31,88
08.00-09.00	379,66	227,95	314,61	199,24
09.00-10.00	509,83	419,09	409,10	351,42
10.00-11.00	565,18	507,64	536,23	380,26
11.00-12.00	594,24	569,88	583,29	305,12
12.00-13.00	604,67	651,85	262,23	264,51
13.00-14.00	479,71	611,00	0,00	283,87
14.00-15.00	330,92	534,72	111,19	241,74
15.00-16.00	201,41	349,52	224,28	222,77
16.00-17.00	76,33	179,12	147,63	187,85
Total $E_{r,d}$ per Hari (kWh)	3985,11	4153,25	2729,36	2468,65

Dari Tabel 2, terlihat bahwa energi yang tersedia ($E_{r,d}$ rata-rata) meningkat mulai pukul 07.00 hingga mencapai puncaknya pada pukul 11.00-12.00 kemudian menurun mulai pukul 13.00-17.00 seiring perubahan radiasi matahari, temperatur modul dan kondisi cuaca. Faktor utama yang dapat mempengaruhi besarnya $E_{r,d}$ rata-rata adalah radiasi matahari dan luas permukaan modul yang terkena cahaya matahari.

Menghitung Energi Keluaran Inverter yang Masuk ke dalam Jaringan ($E_{grid,d}$).

Berdasarkan Data Spesifikasi Teknis
 Total $E_{grid,d}$ = 1.000 kWh
 Berdasarkan Data Hasil Pengukuran

Tabel 3. Hasil Perhitungan $E_{grid,d}$ rata-rata per jam dan Total $E_{grid,d}$

Waktu	$E_{grid,d}$ Rata-Rata per jam (kWh)	$E_{grid,d}$ Rata-Rata per jam (kWh)		
		Cerah	Berawan	Hujan
07.00-08.00	10,11	11,02	7,55	2,50
08.00-09.00	31,58	32,18	32,10	18,35
09.00-10.00	51,92	52,44	52,00	36,35
10.00-11.00	65,81	68,84	66,95	42,45
11.00-12.00	71,08	77,71	59,75	49,20
12.00-13.00	67,36	74,13	20,45	41,25
13.00-14.00	62,58	71,79	0,00	28,75
14.00-15.00	57,94	68,88	19,20	27,85
15.00-16.00	44,74	49,95	27,45	29,10
16.00-17.00	22,08	22,72	14,50	24,10
Total $E_{grid,d}$ per Hari (kWh)	485,20	529,66	299,95	299,90

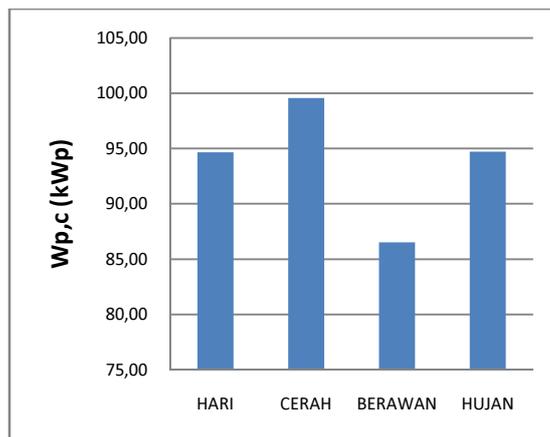
Dari Tabel 3, terlihat bahwa $E_{grid,d}$ meningkat mulai pukul 07.00 hingga mencapai puncaknya pada pukul 11.00-12.00 kemudian menurun mulai pukul 13.00-17.00 seiring perubahan radiasi matahari, temperatur modul dan kondisi cuaca.

Menghitung Efisiensi Fotovoltaik (η_{pv}), Efisiensi Inverter (η_{inv}), dan Efisiensi Sistem (η_{sys}). Berdasarkan Data Spesifikasi Teknis η_{pv} = 14,82 %, η_{inv} = 98,78 %, η_{sys} = 14,64 % Berdasarkan Data Hasil Pengukuran

Tabel 4. Hasil Perhitungan $\eta_{pv,d}$, $\eta_{inv,d}$ dan $\eta_{sys,d}$ PLTS 200 kWp

	η_{pv} (%)	η_{inv} (%)	η_{sys} (%)
HARI	12,47	97,61	12,17
CERAH	13,12	97,22	12,75
BERAWAN	11,40	96,36	10,99
HUJAN	12,48	97,38	12,15

Menghitung Daya Puncak yang Dibangkitkan oleh Fotovoltaik ($P_{wattpeak}/W_{p,c}$). Berdasarkan Data Spesifikasi Teknis Peralatan $P_{wattpeak}$ = 112,48 kWp Berdasarkan Data Hasil Pengukuran



Gambar 7. Hasil Perhitungan $P_{wattpeak}/W_{p,c}$

Dari Gambar 7, terlihat bahwa $W_{p,c}$ cenderung menurun. Hal tersebut terjadi karena pengaruh kondisi cuaca yang berdampak pada besarnya η_{pv} . Besarnya $W_{p,c}$ adalah 94,65 kWp (hari); 99,58 kWp (cerah); 86,53 kWp (berawan); 94,72 kWp (hujan).

Menghitung Intensitas Radiasi Matahari ($E_{i,d}$). Berdasarkan Data Spesifikasi Teknis Peralatan Besarnya intensitas radiasi matahari ($E_{i,d}$) berdasarkan data spesifikasi teknis peralatan dalam keadaan *Standart Testing Conditions* (STC) dengan asumsi waktu pengukuran 10 jam (per hari) adalah 10 kWh/m² per hari. Berdasarkan Data Hasil Pengukuran

Tabel 5. Hasil Perhitungan $E_{i,d}$ rata-rata per jam dan Total $E_{i,d}$

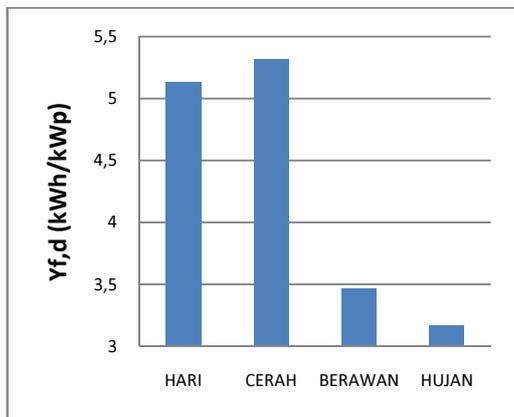
Waktu	$E_{i,d}$ Rata-Rata (kWh/m ² per hari)	$E_{i,d}$ Rata-Rata (kWh/m ² per hari)		
		cerah	berawan	hujan
7.00	0,16	0,01	0,01	0,00
8.00	0,46	0,13	0,10	0,06
9.00	0,95	0,43	0,42	0,24
10.00	1,52	0,96	0,85	0,83
11.00	2,33	1,74	1,58	1,51
12.00	3,11	2,45	2,32	1,99
13.00	4,00	3,77	0,00	2,28
14.00	3,91	3,87	0,00	2,68
15.00	5,04	5,07	3,15	3,00
16.00	5,27	5,08	3,46	3,27
17.00	5,37	5,25	3,67	3,53
Total $E_{i,d}$ per hari (kWh/m ² per hari)	32,11	28,75	15,56	19,39

Menghitung Hasil Akhir Harian ($Y_{f,d}$) dan Rasio Kinerja Harian (PR_d). Berdasarkan Data Spesifikasi Teknis

$Y_{f,d} = 8,89 \text{ kWh/kWp}$

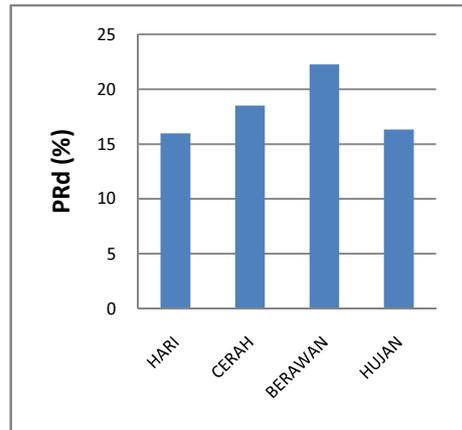
$PR_d = 88,9\%$

Berdasarkan Data Hasil Pengukuran



Gambar 8. Grafik hasil akhir ($Y_{f,d}$) PLTS 200 kWp

Dari Gambar 8, terlihat bahwa besarnya $Y_{f,d}$ dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Besarnya $Y_{f,d}$, adalah 5,13kWh/kWp per hari (hari); 5,32 kWh/kWp per hari (cerah); 3,47 kWh/kWp per hari (berawan); 3,17 kWh/kWp per hari (hujan).



Gambar 9. Grafik rasio kinerja (PR_d) PLTS 200 kWp

Dari Gambar 9, terlihat bahwa besarnya PR_d dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Besarnya PR_d , adalah 15,98% (hari); 18,50% (cerah); 22,28% (berawan); 16,33% (hujan).

➤ **PLTS 400 kWp**

- **Menghitung Luas Permukaan Panel Surya (Area Array)**

Luas total permukaan panel yang dioperasikan = 1.138 m²

- **Menghitung Energi Harian yang Disediakan oleh Fotovoltaik ($E_{pv,d}$)**

Berdasarkan Data Spesifikasi Teknis Total $E_{pv,d}$ panel = 1.614,02 kWh

Berdasarkan Data Hasil Pengukuran

Tabel 6. Hasil Perhitungan $E_{pv,d}$ rata-rata per jam dan Total $E_{pv,d}$ Berdasarkan Hari

Waktu	$E_{pv,d}$ Rata-Rata per jam (kWh) Inverter I	$E_{pv,d}$ Rata-Rata per jam (kWh) Inverter II
	07.00-08.00	33,67
08.00-09.00	56,76	57,79
09.00-10.00	73,83	75,09
10.00-11.00	85,19	86,23
11.00-12.00	89,74	90,16
12.00-13.00	86,30	86,50
13.00-14.00	70,06	70,76
14.00-15.00	52,62	53,06
15.00-16.00	33,91	33,48
16.00-17.00	11,21	11,12
Total $E_{pv,d}$ per Hari (kWh)	593,28	598,26

Tabel 7. Hasil Perhitungan $E_{pv,d}$ rata-rata per jam dan Total $E_{pv,d}$ Berdasarkan Kondisi Cuaca

Waktu	$E_{pv,d}$ Rata-Rata per jam (kWh) Inverter I			$E_{pv,d}$ Rata-Rata per jam (kWh) Inverter II		
	Cerah	Berawan	Hujan	Cerah	Berawan	Hujan
	07.00-08.00	13,73	9,24	6,85	13,99	21,54
08.00-09.00	35,74	35,48	24,76	36,50	48,84	27,8
09.00-10.00	59,68	59,71	45,41	61,15	58,41	50,8
10.00-11.00	77,51	77,33	59,74	79,84	73,42	47,3
11.00-12.00	85,04	78,90	49,82	86,57	76,37	33,2
12.00-13.00	83,44	34,17	29,84	83,24	33,31	28,1
13.00-14.00	81,07	0,00	31,88	81,34	0,00	32,5
14.00-15.00	77,79	19,17	32,01	77,14	15,15	31,3
15.00-16.00	58,92	33,91	40,78	57,26	31,51	27,4
16.00-17.00	25,23	17,72	33,85	24,87	19,20	21,6
Total $E_{pv,d}$ per Hari (kWh)	598,13	365,64	354,95	601,90	377,75	306,70

Dari Tabel 6 dan Tabel 7, terlihat bahwa energi yang disediakan oleh PV meningkat mulai pukul 07.00 dan mencapai puncak pada pukul 11.00-12.00, kemudian menurun mulai pukul 13.00-17.00 seiring perubahan radiasi matahari, temperatur modul dan kondisi cuaca.

- **Menghitung Energi Harian yang Tersedia ($E_{r,d}$)** Spesifikasi Berdasarkan Data Teknis
Total $E_{r,d} = 10.242$ kWh
Berdasarkan Data Hasil Pengukuran Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Perhitungan $E_{r,d}$ rata-rata per jam dan Total $E_{r,d}$ Berdasarkan Hari

Waktu	$E_{r,d}$ Rata-Rata per jam (kWh)	$E_{r,d}$ Rata-Rata per jam (kWh)		
		Cerah	Berawan	Hujan
		07.00-08.00	364,57	153,63
08.00-09.00	569,24	341,78	471,70	298,73
09.00-10.00	764,41	628,37	613,38	526,89
10.00-11.00	847,40	761,13	804,00	570,14
11.00-12.00	890,97	854,45	874,55	457,48
12.00-13.00	906,58	977,35	393,18	396,59
13.00-14.00	719,22	916,09	0,00	425,61
14.00-15.00	496,17	801,72	166,72	362,45
15.00-16.00	301,98	524,05	336,28	334,00
16.00-17.00	114,45	268,57	221,34	281,66
Total $E_{r,d}$ per Hari (kWh)	5974,99	6227,14	4092,25	3701,35

Dari Tabel 8, terlihat bahwa energi yang tersedia ($E_{r,d}$ rata-rata) meningkat mulai pukul 07.00 hingga mencapai puncaknya pada pukul 11.00-12.00 kemudian menurun mulai pukul 13.00-17.00 seiring perubahan radiasi matahari, temperatur modul dan kondisi cuaca. Faktor utama yang dapat mempengaruhi besarnya $E_{r,d}$ rata-rata adalah

radiasi matahari dan luas permukaan modul yang terkena cahaya matahari.

- **Menghitung Energi Keluaran Inverter yang Masuk ke dalam Jaringan ($E_{grid,d}$)** Berdasarkan Data Spesifikasi Teknis
Total $E_{grid,d} = 1.000$ kWh
Berdasarkan Data Hasil Pengukuran Tabel 3. Hasil Perhitungan $E_{grid,d}$ rata-rata per jam dan Total $E_{grid,d}$

Tabel 9. Hasil Perhitungan $E_{grid,d}$ rata-rata per jam dan Total $E_{pv,d}$ Berdasarkan Hari

Waktu	$E_{grid,d}$ Rata-Rata per jam (kWh) Inverter I	$E_{grid,d}$ Rata-Rata per jam (kWh) Inverter II
	07.00-08.00	31,71
08.00-09.00	53,55	53,34
09.00-10.00	70,58	69,75
10.00-11.00	82,39	81,28
11.00-12.00	86,92	86,10
12.00-13.00	82,96	82,22
13.00-14.00	67,10	66,84
14.00-15.00	50,29	50,25
15.00-16.00	31,98	31,76
16.00-17.00	10,43	10,09
Total $E_{pv,d}$ per Hari (kWh)	567,91	567,91

Tabel 10. Hasil Perhitungan $E_{grid,d}$ rata-rata per jam dan Total $E_{pv,d}$ Berdasarkan Kondisi Cuaca

Waktu	$E_{grid,d}$ Rata-Rata per jam (kWh) Inverter I			$E_{grid,d}$ Rata-Rata per jam (kWh) Inverter II		
	Cerah	Berawan	Hujan	Cerah	Berawan	Hujan
	07.00-08.00	11,63	11,55	4,20	12,14	19,15
08.00-09.00	33,15	38,05	20,25	34,32	46,15	24,95
09.00-10.00	57,72	57,00	40,45	57,08	57,05	47,50
10.00-11.00	75,42	73,00	62,40	75,58	73,95	47,40
11.00-12.00	82,62	77,65	54,20	85,16	76,00	34,40
12.00-13.00	80,14	35,15	28,45	82,38	32,10	25,40
13.00-14.00	77,51	0,00	29,75	79,24	0,00	28,65
14.00-15.00	75,46	16,00	29,85	76,40	15,10	28,75
15.00-16.00	57,23	28,50	39,35	57,53	30,30	27,30
16.00-17.00	24,18	15,00	32,40	23,63	17,90	21,95
Total $E_{pv,d}$ per Hari (kWh)	575,04	351,9	341,3	583,4	367,7	291,8

Dari Tabel 9 dan Tabel 10, terlihat bahwa $E_{grid,d}$ meningkat mulai pukul 07.00 hingga mencapai puncaknya pada pukul 11.00-12.00 kemudian menurun mulai pukul 13.00-17.00 seiring perubahan radiasi matahari, temperatur modul dan kondisi cuaca.

- **Menghitung Efisiensi Fotovoltaik (η_{pv}), Efisiensi Inverter (η_{inv}), dan Efisiensi Sistem (η_{sys}).** Berdasarkan Data Spesifikasi Teknis $\eta_{pv} = 15,76\%$, $\eta_{inv} = 99,13\%$, $\eta_{sys} = 15,62\%$
Berdasarkan Data Hasil Pengukuran

Tabel 11. Hasil Perhitungan $\eta_{pv,d}$, $\eta_{inv,d}$ dan $\eta_{sys,d}$ PLTS 200 kWp

	η_{pv} (%)	η_{inv} (%)	η_{sys} (%)
HARI			
• Inverter I	10,24	95,72	9,80
• Inverter II	10,32	94,14	9,72
CERAH			
• Inverter I	9,61	96,14	9,23
• Inverter II	9,67	96,93	9,37
BERAWAN			
• Inverter I	8,93	96,24	8,60
• Inverter II	9,23	97,34	8,99
HUJAN			
• Inverter I	9,59	96,15	9,22
• Inverter II	8,29	95,14	7,88

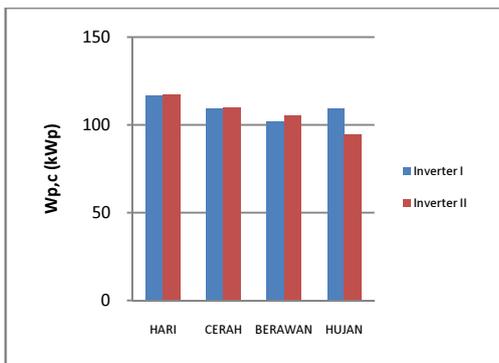
Pada Tabel 11, terlihat bahwa besarnya efisiensi PV ($\eta_{pv,d}$), efisiensi inverter ($\eta_{inv,d}$), dan efisiensi sistem ($\eta_{sys,d}$) berbeda pada inverter I dan inverter II. Hal tersebut dikarenakan nilai $E_{pv,d}$ total dan $E_{grid,d}$ total yang berbeda.

Menghitung Daya Puncak yang Dibangkitkan oleh Fotovoltaik ($P_{wattpeak}/W_{p,c}$)

Berdasarkan Data Spesifikasi Teknis Peralatan

$P_{wattpeak} = 179,35 \text{ kWp}$

Berdasarkan Data Hasil Pengukuran



Gambar 10. Hasil Perhitungan $P_{wattpeak}/W_{p,c}$

Dari Gambar 10, terlihat bahwa $W_{p,c}$ cenderung menurun. Hal tersebut terjadi karena pengaruh kondisi cuaca yang berdampak pada besarnya η_{pv} . Besarnya $W_{p,c}$ adalah 116,53 kWp (hari I) dan 117,44 (hari II); 109,36 kWp (cerah I) dan 110,04 kWp (cerah II); 101,74 kWp (berawan I) dan 105,04 kWp (berawan II); 109,13 kWp (hujan I) dan 94,30 kWp (hujan II).

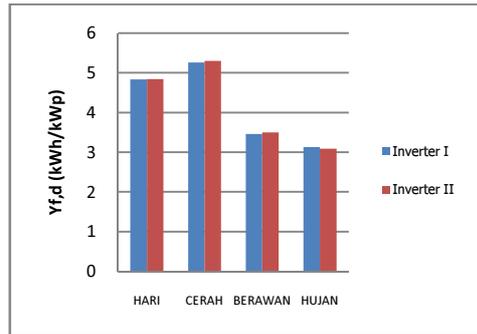
Menghitung Hasil Akhir Harian ($Y_{f,d}$) dan Rasio Kinerja Harian (PR_d)

Berdasarkan Data Spesifikasi Teknis

$Y_{f,d} = 8,91 \text{ kWh/kWp}$

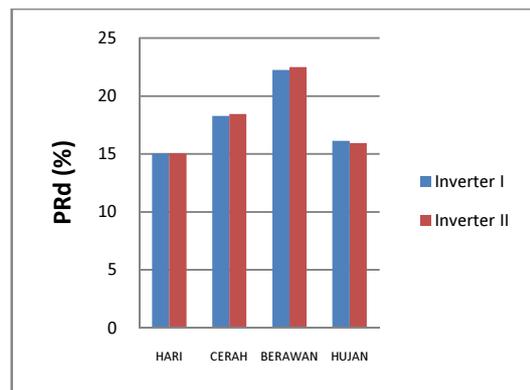
$PR_d = 89,1\%$

Berdasarkan Data Hasil Pengukuran Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 11 dan Tabel 12.



Gambar 11. Grafik hasil akhir ($Y_{f,d}$) PLTS 400 kWp

Dari Gambar 11, terlihat bahwa besarnya $Y_{f,d}$ dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Besarnya $Y_{f,d}$ pada inverter I dan inverter II masing-masing adalah 4,83 kWh/kWp per hari (hari) dan 4,84 kWh/kWp per hari (hari); 5,26 kWh/kWp per hari dan 5,30 kWh/kWp per hari (cerah); 3,46 kWh/kWp per hari dan 3,50 kWh/kWp per hari (berawan); 3,13 kWh/kWp per hari dan 3,09 kWh/kWp per hari (hujan).



Gambar 12. Grafik rasio kinerja (PR_d) pada masing-masing kondisi cuaca PLTS 400 kWp

Dari Gambar 12, terlihat bahwa besarnya PR_d dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Besarnya PR_d pada inverter I dan inverter II masing-masing adalah 15,04% dan 15,07% (hari); 18,29% dan 18,43% (cerah); 22,24% dan 22,50% (berawan); 16,13% dan 15,94% (hujan).

Perbandingan hasil perhitungan berdasarkan data spesifikasi teknis dan pengukuran PLTS 200 kWp disajikan pada Tabel 12 dan PLTS 400 disajikan pada Tabel 13.

Tabel 12. Perbandingan Hasil Perhitungan PLTS 200 kWp

Total	$E_{pv,d}$ (kWh)	$E_{r,d}$ (kWh)	$E_{grid,d}$ (kWh)	$W_{p,c}$ (kWp)
Berdasarkan Data Spesifikasi	1012,3	6831	1000	112,48
Berdasarkan Data Pengukuran				
• Hari	497,10	3985,11	485,20	94,65
• Kondisi Cuaca				
Cerah	544,80	4153,25	529,66	99,58
Berawan	311,27	2729,36	299,95	86,53
Hujan	307,98	2468,65	299,90	94,72

Tabel 13. Perbandingan Hasil Perhitungan PLTS 400 kWp

Total	$E_{pv,d}$ (kWh)	$E_{r,d}$ (kWh)	$E_{grid,d}$ (kWh)	$W_{p,c}$ (kWp)
Berdasarkan Data Spesifikasi	1614,02	10242	1600	179,35
Berdasarkan Data Pengukuran				
• Hari				
➢ Inverter I	593,28	5974,99	567,91	116,53
➢ Inverter II	598,26	5974,99	563,21	117,44
• Kondisi Cuaca				
Cerah				
➢ Inverter I	598,13	6227,14	575,04	109,36
➢ Inverter II	601,90	6227,14	583,44	110,04
Berawan				
➢ Inverter I	365,64	4092,25	351,90	101,74
➢ Inverter II	377,75	4092,25	367,70	105,04
Hujan				
➢ Inverter I	354,95	3701,35	341,30	109,13
➢ Inverter II	306,70	3701,35	291,80	94,30

Dari Tabel 12 dan Tabel 13 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan nilai total $E_{pv,d}$, $E_{r,d}$, $E_{grid,d}$, dan $W_{p,c}$ pada data pengukuran berdasarkan hari dan kondisi cuaca lebih kecil daripada berdasarkan data spesifikasi teknis peralatan. Hal ini dikarenakan pada perhitungan berdasarkan spesifikasi hanya

terdapat satu kondisi yaitu kondisi *Standart Testing Conditions* (STC), sedangkan pada perhitungan berdasarkan hari dalam satu minggu dan berdasarkan kondisi cuaca nilai totalnya bergantung pada kondisi cuaca yang akan mempengaruhi besarnya radiasi matahari, tegangan dan arus keluaran panel, serta daya keluaran inverter.

Pada perhitungan untuk data berdasarkan hari dalam satu minggu dan berdasarkan kondisi cuaca didapatkan nilai $E_{pv,d}$, $E_{r,d}$, $E_{grid,d}$ meningkat mulai pukul 07.00 dan mencapai puncak pada pukul 11.00-12.00, kemudian menurun mulai pukul 13.00-17.00 seiring perubahan radiasi matahari, temperatur modul dan kondisi cuaca. Pada kondisi berawan pukul 13.00-14.00 terjadi pemadaman total. Hal tersebut terjadi akibat kurangnya energi yang dihasilkan oleh PV menyebabkan mesin di PLTD harus menyuplai beban yang seharusnya ditanggung oleh PLTS. Mesin di PLTD tidak selalu siap untuk menyuplai beban, akibatnya semua mesin mati. Sehingga apabila tidak ada sinyal dari grid, maka PLTS akan ikut padam.

Besarnya persentase perbandingan antara data spesifikasi dengan data hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Persentase Perbandingan Data Spesifikasi dengan Data Hasil Pengukuran Energi yang Dihasilkan

	Persentase Perbandingan (%)		
	$E_{pv,d}$	$E_{r,d}$	$E_{grid,d}$
a. PLTS 200 kWp			
• Hari	49,11	58,34	48,52
• Kondisi Cuaca			
Cerah	53,82	60,80	52,97
Berawan	30,75	39,96	30,00
Hujan	30,42	36,14	29,99
b. PLTS 400 kWp			
• Hari			
➢ Inverter I	36,76	58,34	35,49
➢ Inverter II	37,07	4	35,20
• Kondisi Cuaca			
Cerah			
➢ Inverter I	37,06	60,80	35,94
➢ Inverter II	37,29	0	36,47

er II			
Berawan			
➤ Inverter I	22,65	39,96	21,99
➤ Inverter II	23,40		22,98
Hujan			
➤ Inverter I	21,99	36,14	21,33
➤ Inverter II	19,00		18,24

Pada Tabel 14 dapat dilihat bahwa persentase perbandingan pada masing-masing PLTS berkisar antara 30,42-53,82% dan 19,00-37,29% untuk $E_{pv,d}$; 36,14-60,80% untuk $E_{r,d}$; 29,99-52,97% dan 18,24-36,47% untuk $E_{grid,d}$. Pada PLTS 200 kWp dan 400 kWp besarnya persentase pendekatan $E_{r,d}$ adalah sama, karena besarnya radiasi matahari yang diterima oleh panel surya diasumsikan sama.

Unjuk kerja sistem *on-grid* PLTS 200 kWp Gili Trawangan dilihat dari beberapa indikator performansi *array* fotovoltaik yang disajikan pada Tabel 15. Unjuk kerja sistem *on-grid* PLTS 400 kWp Gili Trawangan dilihat dari beberapa indikator performansi *array* fotovoltaik yang disajikan pada Tabel 16.

Tabel 15. Indikator Performansi Array Fotovoltaik PLTS 200 kWp

Total	η_{PV} (%)	η_{inv} (%)	η_{sys} (%)	$Y_{f,d}$ (kWh/kWp)	PR _d (%)
Berdasarkan Data Spesifikasi					
	14,82	98,78	14,64	0,889	88,9
Berdasarkan Data Pengukuran					
• Hari	12,47	97,61	12,17	5,13	15,98
• Kondisi Cuaca					
Cerah	13,12	97,22	12,75	5,32	18,50
Berawan	11,40	96,36	10,99	3,47	22,28
Hujan	12,48	97,38	12,15	3,17	16,33

Tabel 16. Indikator Performansi Array Fotovoltaik PLTS 400 kWp

Total	η_{PV} (%)	η_{inv} (%)	η_{sys} (%)	$Y_{f,d}$ (kWh/kWp)	PR _d (%)
Berdasarkan Data Spesifikasi					
	15,76	99,13	15,62	0,891	89,1
Berdasarkan Data Pengukuran					
• Hari					
➤ Inverter I	10,24	95,72	9,80	4,83	15,04
➤ Inverter II	10,32	94,14	9,72	4,84	15,07
• Kondisi Cuaca					
Cerah					
➤ Inverter I	9,61	96,14	9,23	5,26	18,29
➤ Inverter II	9,67	96,93	9,37	5,30	18,43
Berawan					
➤ Inverter I	8,93	96,24	8,60	3,46	22,24
➤ Inverter II	9,23	97,34	8,99	3,50	22,50
Hujan					
➤ Inverter I	9,59	96,15	9,22	3,13	16,13
➤ Inverter II	8,29	95,14	7,88	3,09	15,94

Besarnya persentase perbandingan antara data spesifikasi dengan data hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 17. Pada Tabel 15, Tabel 16 dan Tabel 17 dapat dilihat bahwa nilai $\eta_{pv,d}$, $\eta_{inv,d}$, dan $\eta_{sys,d}$, nilai $Y_{f,d}$ dan PR_d pada data pengukuran berdasarkan hari dan kondisi cuaca lebih kecil daripada berdasarkan data spesifikasi teknis peralatan. Hal ini terjadi karena data pengukuran bergantung pada radiasi matahari, tegangan dan arus keluaran panel serta daya keluaran inverter yang akan mempengaruhi nilai nilai total $E_{pv,d}$, $E_{r,d}$, $E_{grid,d}$, dan $W_{p,c}$, sedangkan data spesifikasi teknis peralatan menggunakan asumsi kondisi *Standart Testing Conditions* (STC) dengan radiasi sebesar 1000 W/m². Besarnya persentase perbandingan pada masing-masing nilai tersebut berkisar antara 52,60-88,53%; 94,97-98,82%; 50,45-57,09%; 34,68-59,84% dan 16,88-25,25%.

Tabel 17. Persentase Perbandingan Data Spesifikasi dengan Data Hasil Pengukuran Indikator Performansi

	Persentase Perbandingan (%)				
	η_{pv}	η_{inv}	η_{sys}	$Y_{f,d}$	PR_d
a. PLTS 200 kWp					
Hari	84,14	98,82	83,13	57,71	17,98
Kondisi Cuaca					
Cerah	88,53	98,42	87,09	59,84	20,81
Berawan	76,92	97,55	75,07	39,03	25,06
Hujan	84,21	98,58	82,99	35,66	18,37
b. PLTS 400 kWp					
Hari					
□ Inverter I	64,97	96,56	62,74	54,21	16,88
□ Inverter II	65,48	94,97	62,23	54,32	16,91
Kondisi Cuaca					
Cerah					
□ Inverter I	60,98	96,98	59,09	59,03	20,53
□ Inverter II	61,36	97,78	59,99	59,48	20,68
Berawan					
□ Inverter I	56,66	97,08	55,06	38,83	24,96
□ Inverter II	58,57	98,19	57,55	39,28	25,25
Hujan					
□ Inverter I	60,85	96,99	59,03	35,13	18,10
□ Inverter II	52,60	95,97	50,45	34,68	17,89

KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran dan pembahasan yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbandingan energi yang dapat dihasilkan oleh PLTS Gili Trawangan berdasarkan data spesifikasi peralatan dan data hasil pengukuran adalah perhitungan nilai total dari energi harian yang disediakan fotovoltaik ($E_{pv,d}$), energi

harian yang tersedia ($E_{r,d}$), dan energi keluaran inverter yang masuk ke dalam jaringan ($E_{grid,d}$) berdasarkan hari dan kondisi cuaca pada PLTS 200 kWp memiliki hasil lebih kecil daripada perhitungan energi berdasarkan data spesifikasi nilai total dari $E_{pv,d}$, $E_{r,d}$, $E_{grid,d}$. Persentase perbandingan hasil perhitungan PLTS 200 kWp dan PLTS 400 kWp berdasarkan data spesifikasi peralatan dan data hasil pengukuran adalah berkisar antara 30,42-53,82% dan 19,00-37,29% untuk $E_{pv,d}$; 36,14-60,80% untuk $E_{r,d}$; 29,99-52,97% dan 18,24-36,47% untuk $E_{grid,d}$.

2. Unjuk kerja sistem *on-grid* fotovoltaik pada PLTS Gili Trawangan dilihat berdasarkan performansi PV array sebagai berikut:

➤ Efisiensi PV ($\eta_{pv,d}$), Efisiensi Inverter ($\eta_{inv,d}$), dan Efisiensi Sistem ($\eta_{sys,d}$)

Pada hasil perhitungan PLTS 200 kWp berdasarkan data spesifikasi besarnya efisiensi PV ($\eta_{pv,d}$), efisiensi inverter ($\eta_{inv,d}$), dan efisiensi sistem ($\eta_{sys,d}$) adalah 14,82%; 98,78%; 14,64% dan berdasarkan hasil perhitungan data pengukuran didapatkan besarnya nilai tersebut berturut-turut adalah 12,47%; 97,61%; 12,17%.

Pada hasil perhitungan PLTS 400 kWp berdasarkan data spesifikasi besarnya nilai tersebut berturut-turut pada inverter I dan inverter II adalah 15,76%; 99,13%; 15,62%, 10,24% dan dan berdasarkan hasil perhitungan data pengukuran didapatkan besarnya nilai tersebut berturut-turut adalah 10,32%; 95,72% dan 94,14%; 9,80% dan 9,72%. Besarnya persentase perbandingan hasil perhitungan PLTS 200 kWp dan PLTS 400 kWp antara data spesifikasi dengan hasil pengukuran untuk masing-masing nilai berturut-turut berkisar antara 52,60-88,53%; 94,97-98,82%; 50,45-57,09%.

➤ Hasil akhir harian ($Y_{f,d}$) dan Rasio Kinerja (PR_d)

Pada hasil perhitungan PLTS 200 kWp berdasarkan data spesifikasi didapatkan nilai hasil akhir ($Y_{f,d}$) sebesar 8,89 kWh/kWp; 88,9% dan berdasarkan hasil perhitungan data pengukuran didapatkan besarnya nilai tersebut berturut-turut adalah 5,13

kWh/kWp dan nilai rasio kinerja (PR_d) sebesar 15,98%.

Pada hasil perhitungan PLTS 400 kWp berdasarkan data spesifikasi didapatkan besarnya nilai-nilai tersebut adalah 8,91 kWh/kWp; 89,1% dan berdasarkan hasil perhitungan data pengukuran didapatkan besarnya nilai tersebut berturut-turut adalah berkisar antara 15,04-15,07%. Besarnya persentase perbandingan hasil perhitungan PLTS 200 kWp dan PLTS 400 kWp antara data spesifikasi dengan hasil pengukuran untuk masing-masing nilai berturut-turut berkisar antara 34,68-59,84% dan 16,88-25,25%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. 2012. Materi Pelatihan Teknologi Energi Surya (TES). Mataram: Fakultas Teknik, Universitas Mataram.
- [2] Cabeza, Jorge. 2009. Measurement and Analysis of a 20 kW Grid-Connected PV System. Aristotle University of Thessaloniki.
- [3] H, Dadan., S, Kadek., dan S, Lambang. 2011. Analisis Kinerja Solar Photovoltaic System (SPS) Berdasarkan Tinjauan Efisiensi Energi dan Eksergi. Samarinda : Jurnal Material dan Energi Indonesia Program Studi Fisika FMIPA, Universitas Mulawarman.
- [4] King, David L., Boyson, William E., and Kratochvil, Jay A. 2002. Analysis Of Factors Influencing The Annual Energy Production Of Photovoltaic Systems. Albuquerque: Sandia National Laboratories.
- [5] Konsorsium Jaya Teknik-Bakrie Power. 2011. Data Administrasi dan Teknis Pengadaan dan Pemasangan PLTS On-grid 400 kWp Gili Trawangan, 160 kWp Gili Air, dan 60 kWp Gili Meno. Mataram: PT. PLN (Persero) Wilayah NTB.
- [6] Mintorogo, Danny Santoso. 2000. Strategi Aplikasi Sel Surya (Photovoltaic Cells) Pada Perumahan dan Bangunan Komersial. Universitas Kristen Petra.
- [7] National Climate Change Secretariat and National Research Foundation. 2011. Solar Energy Technology Primer.
- [8] Patel, Mukind. R. 1999. Wind and Solar Power System. London: CRC Press.
- [9] Purnomo, Heru. 2011. PLTS On-grid 200 kWp Gili Trawangan. PT. LEN Industri (Persero)
- [10] Quaschnig, Volker. 2005. Understanding Renewable Energy System. London: Earthscan.
- [11] Septi, Siti. 2011. Pengaruh Faktor Meteorologi Terhadap Lokasi Penempatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Pulau Lombok. Mataram: Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram.
- [12] Sopian, Kamaruzzaman., Shaari, Sulaiman., Amin, Nowshad., Zulkifli, Rozli., and Rahman, Mohd Nizam Abdul. 2007. Performance Of A Grid-Connected Photovoltaic System In Malaysia. Malaysia: Solar Energy Research Institute, Universiti Kebangsaan Malaysia.