

## ANALISIS UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) SATU MWp TERINTERKONEKSI JARINGAN DI KAYUBIHI, BANGLI

I K Agus Setiawan, I N Satya Kumara, I Wayan Sukerayasa

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Kampus Jl. PB Sudirman Denpasar, Bali, Telp/Fax: 0361-246163

E-mail: kdagussetiawan@gmail.com, satya.kumara@ee.unud.ac.id, sukerayasa@unud.ac.id

### Abstrak

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) 1 MWp terinterkoneksi jaringan di Kayubih, Bangli atau disebut PLTS Kayubih, merupakan hal baru dalam penerapan pemanfaatan energi surya fotovoltaik berskala besar di Indonesia. Keberadaan PLTS Kayubih menjadi perhatian untuk dianalisis lebih lanjut, agar potensi produksi energi listrik spesifik/final yield ( $Y_F$ ), dan unjuk kerja/rasio performa (PR) dari PLTS diketahui terhadap lokasi pemasangan. Hal ini selanjutnya menjadi acuan dalam identifikasi dan analisis permasalahan operasi PLTS, guna pengembangan dan pengetahuan pengelolaan PLTS. Nilai optimum  $Y_F$  dan PR PLTS Kayubih diperoleh dengan simulasi menggunakan *software* PVSyst, yang berdasarkan lokasi dan konfigurasi sistem terpasang, tanpa memperhatikan faktor *shading* sesuai lokasi PLTS. Selanjutnya hasil simulasi dibandingkan terhadap hasil produksi real energi listrik PLTS Kayubih. Potensi optimum energi listrik per tahun yang dihasilkan PLTS Kayubih dari hasil simulasi adalah 1656 MWh, dengan PR 83,6 %. Berdasarkan waktu operasi dari 15 Februari s.d. 30 September 2013 produksi real energi listrik PLTS Kayubih adalah 729,08 MWh, selisih 32,3% dari simulasi PVSyst sebesar 1076,94 MWh. *Shading* dan gangguan yang ada menurunkan produksi energi dan unjuk kerja spesifik PLTS Kayubih yaitu  $Y_F$  3,20 jam/hari, dengan faktor kapasitas (CF) 13,34 % terhadap simulasi, yaitu  $Y_F$  4,68 jam/hari dan CF 19,53%.

**Kata kunci:** PLTS terinterkoneksi jaringan, *final yield* ( $Y_F$ ), rasio performa

### 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik nasional diproyeksikan meningkat pesat yaitu sebesar 8,65% per tahun, dan khusus untuk Provinsi Bali pertumbuhan diproyeksikan sebesar 10,2% per tahun [1]. Fakta ini berbanding terbalik dengan kondisi sumber energi primer nasional untuk pembangkitan listrik konvensional yang menurun jumlahnya dan pasti akan habis kedepannya, seperti contoh cadangan batubara Indonesia keseluruhan yang dilaporkan berjumlah 21,1 milyar ton, yang diperkirakan akan habis dalam waktu sekitar 50 tahun apabila tidak dilakukan eksplorasi baru [2]. Berkaitan dengan itu beberapa regulasi telah diterbitkan dan mulai direalisasikan pemerintah dalam mengatasi kebutuhan energi listrik yang pesat, seperti penerapan pemanfaatan sumber energi terbarukan berupa energi surya kedalam suatu sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Pengembangan dan pemanfaatan energi surya sangat menjanjikan bagi wilayah Indonesia, karena merupakan daerah tropis yang berada pada garis khatulistiwa, dengan potensi iradiasi matahari rata-rata sebesar 4,8 kWh/m<sup>2</sup> per hari. [3]

Salah satu proyek percontohan yang telah terealisasi adalah PLTS 1 MWp terinterkoneksi jaringan di Kayubih, Bangli, atau disebut PLTS Kayubih. Penerapan PLTS berskala besar karena kapasitasnya diatas 500kW jenis ini merupakan suatu hal baru di Indonesia, khususnya di Bali. [4].

Sehingga potensi dari produksi energi listrik, unjuk kerja, dan permasalahan dalam pengoperasian PLTS ini terkait sistem dan lokasi pemasangan belum banyak diketahui.

Dengan demikian maka untuk dapat mengetahui potensi optimum energi listrik yang dibangkitkan PLTS perlu dilakukan suatu simulasi terkait sistem dan lokasi pemasangan. Kemudian hasil simulasi menjadi acuan untuk analisis perbandingan terhadap kondisi real operasi PLTS Kayubih, yang bertujuan agar produksi real energi listrik, kendala, dan permasalahan operasi PLTS dapat diketahui.

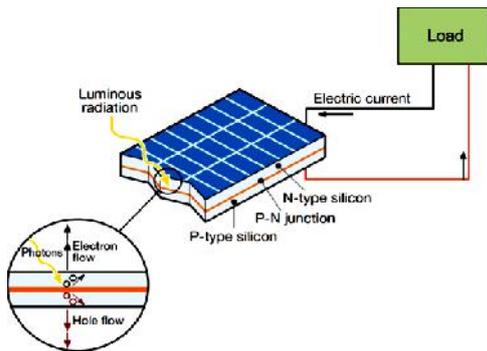
Dalam penelitian ini simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* PVSyst, yang dikondisikan agar mempresentasikan sistem yang terpasang, dan tanpa memperhitungkan faktor bayangan/*shading* yang ada pada lokasi PLTS untuk mendapatkan potensi optimum dari produksi dan unjuk kerja PLTS.

### 2. KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 PLTS

PLTS adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan sinar matahari melalui sel surya (fotovoltaik) untuk mengkonversikan radiasi sinar foton matahari menjadi energi listrik. Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis terbuat dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni, atau bahan semikonduktor lainnya, yang kemudian tersusun menjadi modul surya. Gambar 1 memperlihatkan

bagaimana sel surya bekerja. Sedangkan gambar 2 memperlihatkan generator sel surya.



Gambar 1 Bagaimana sel surya bekerja[5]

PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC, yang dapat diubah menjadi listrik AC apabila diperlukan.



Gambar 2. Generator sel surya (fotovoltaik)

Pada umumnya PLTS terdiri atas beberapa komponen utama yaitu, generator sel surya (PV generator) yang merupakan susunan modul surya pada suatu sistem penyangga, inverter untuk mengkonversi arus DC menjadi arus AC baik sistem satu fasa atau tiga fasa untuk kapasitas besar, charge controller dan baterai untuk PLTS dengan sistem penyimpanan (storage), serta sistem kontrol dan monitoring operasi PLTS.

Berdasarkan lokasi pemasangannya sistem PLTS dibagi menjadi dua jenis yaitu, sistem pola tersebar (distributed PV plant) dan sistem terpusat (centralized PV plant). Berdasarkan aplikasi dan konfigurasi, secara garis besar PLTS diklasifikasikan menjadi dua yaitu, sistem tidak terhubung jaringan (off-grid PV plant) atau lebih dikenal dengan PLTS berdiri sendiri (stand-alone), dan sistem PLTS terhubung jaringan (grid-connected PV plant). Apabila dalam penggunaannya PLTS digabung dengan jenis pembangkit listrik lain maka disebut sistem hibrid.

Faktor utama yang mempengaruhi variasi produksi energi listrik PLTS adalah iradiasi matahari, temperatur modul surya, dan shading yang terjadi selama waktu operasi. Iradiasi mempengaruhi arus listrik yang dihasilkan PLTS, temperatur modul

mempengaruhi tegangan yang dihasilkan PLTS, sedangkan shading mempengaruhi iradiasi matahari yang diterima modul surya pada proses pembangkitan, yang sekaligus berpengaruh terhadap unjuk kerja PLTS.

Performa atau unjuk kerja PLTS jika dilihat berdasarkan alat ukur kWh meter sendiri sangatlah mudah untuk dilaporkan, namun ketika tujuannya sebagai suatu perbandingan kelayakan yang adil antara pembangkit-pembangkit tersendiri, tidaklah sesederhana itu. Pertama-tama iklim dari matahari ialah berbeda dari satu lokasi dengan lokasi lainnya, dan data cuaca tidak selalu dapat diperkirakan lebih dekat. Selanjutnya, energi terpasang real pada umumnya tidak diketahui secara persis, akibat efek dari shading yang tidak diketahui, pemanasan berlebih, dan ketersediaan jaringan. Akan tetapi standar presentasi berbeda dari performa atau unjuk kerja PLTS sudah dikembangkan dari waktu ke waktu, dan yang paling biasa digunakan pada umumnya untuk mengetahui keluaran energi dari suatu PLTS selama periode tahunan atau bulanan berdasarkan pada hal berikut:

- a) Performa spesifik dalam kWh bersih (net kWh) yang terkirim ke jaringan per kW dari daya nominal modul surya yang terpasang, sama dengan (equivalent) terhadap jumlah dari beban penuh untuk pembangkit.
- b) Faktor kapasitas (capacity factor). Hal ini didapat sebagai persamaan jam beban penuh sekitar dalam % dari waktu sebelumnya.
- c) Rasio performa bulanan dan tahunan, digambarkan sebagai jumlah aktual dari energi PLTS ke jaringan pada satu periode, dibagi oleh jumlah teoritis menurut data STC dari modul surya.

## 2.2 Analisis Unjuk Kerja PLTS

Berdasarkan IEC 61724 : Photovoltaic system performance monitoring-guidelines for measurement, data exchange and analysis, parameter unjuk kerja PLTS dipresentasikan ke dalam formula sebagai berikut[6]:

### 2.2.1 Final Yield (Y<sub>F</sub>)

Hasil akhir atau final yield (Y<sub>F</sub>) ditetapkan dalam periode tahunan, bulan, atau harian dari keluaran bersih (net) energi AC pada sistem dibagi dengan daya puncak dari PV array yang terpasang pada kondisi pengujian standar (STC) pada iradiasi surya 1000W/m<sup>2</sup> dan temperatur sel 25°C.

$$Y_F = \frac{E_{PV}}{P_O} \text{ (kWh}_{AC}/\text{kWp}_{DC}) \dots\dots\dots(1)$$

Dengan:  
 P<sub>O</sub> = daya puncak (kWp<sub>DC</sub>)  
 E<sub>PV</sub> = energi ke jaringan (kWh<sub>AC</sub>)

### 2.2.2 Reference Yield (Y<sub>R</sub>)

Hasil acuan atau reference yield (Y<sub>R</sub>) adalah total dari insulasi matahari pada suatu bidang (H<sub>T</sub>) dalam satuan kWh/m<sup>2</sup> dibagi dengan iradiasi array

acuan (1 kW/m<sup>2</sup>), oleh karena itu *reference yield* adalah jumlah dari *peak sun – hours*.

$$Y_R = \frac{H_T}{G_{STC}} \text{ (kWh/m}^2\text{/kWp)} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan:

H<sub>T</sub> = iradiasi pada bidang *array* (kWh/m<sup>2</sup>)

G<sub>STC</sub> = iradiasi referensi *STC* (1kW/m<sup>2</sup>)

**2.2.3 Rasio Performa**

Kualitas dari suatu PLTS dapat juga diuraikan oleh *performance ratio* (PR). PR biasanya dinyatakan dalam persentase, yang menunjukkan rugi total pada sistem saat mengkonversi dari DC menjadi keluaran AC.

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \dots\dots\dots (3)$$

**2.2.4 Faktor Kapasitas**

Faktor kapasitas dari PLTS biasanya dinyatakan dalam persentase merupakan rasio dari keluaran energi aktual dalam periode satu tahun dengan keluaran jika beroperasi pada daya nominal selama setahun penuh (24 jam setiap hari selama setahun).

$$CF = \frac{Y_F}{8760} \dots\dots\dots (4)$$

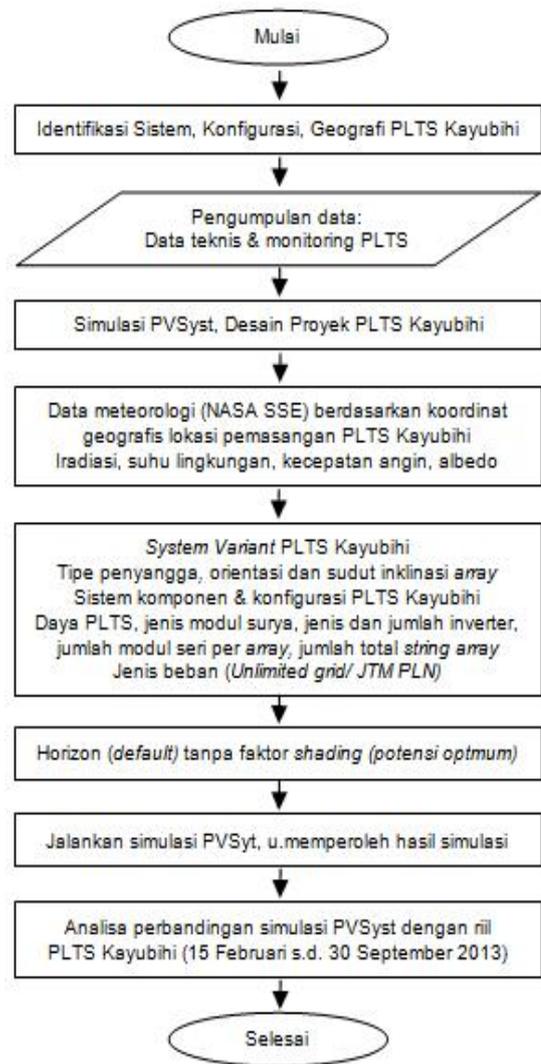
**2.3 PVSyst**

PVSyst merupakan paket *software* yang digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran (*sizing*), dan analisis data dari sistem PLTS secara lengkap. PVSyst dikembangkan oleh Universitas Genewa, yang terbagi ke dalam sistem terinterkoneksi jaringan (*grid-connected*), sistem berdiri sendiri (*stand-alone*), sistem pompa (*pumping*), dan jaringan arus searah untuk transportasi publik (*DC-grid*). PVSyst juga dilengkapi *database* dari sumber data meteorologi yang luas dan beragam, serta data komponen PLTS.[7] Beberapa contoh sumber data meteorologi yang dapat digunakan pada PVSyst yaitu bersumber dari *MeteoNorm V 6.1* (interpolasi 1960-1990 atau 1981-2000), *NASA-SSE* (1983-2005), *PVGIS* (untuk Eropa dan Afrika), *Satel-Light* (untuk Eropa), *TMY2/3* dan *SolarAnywhere* (untuk USA), *EPW* (untuk Kanada), *RetScreen*, *Helioclim*, dan *SolarGIS* (berbayar).

**3. METODE PENELITIAN**

Analisis unjuk kerja dan produksi energi listrik PLTS Kayubih dilakukan dengan cara membuat simulasi sistem PLTS Kayubih terlebih dahulu pada *software* PVSyst, dengan menggunakan data teknis konfigurasi sistem dan lokasi geografi sesuai hasil identifikasi PLTS Kayubih, tanpa memperhatikan faktor *shading* pada lokasi. Kemudian akan dibandingkan dan dianalisis terhadap produksi real energi listrik dan unjuk kerja PLTS Kayubih selama kurun waktu operasi 15 Februari s.d. 30 September 2013, dengan menggunakan data *system monitoring* PLTS. Gambar 3 merupakan tahapan simulasi

PVSyst PLTS Kayubih.



Gambar 3. Diagram alir (*flow chart*) penelitian

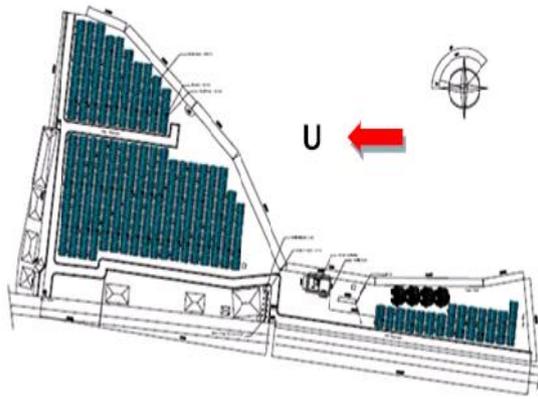
**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Sistem PLTS Kayubih**

Secara geografi PLTS Kayubih terletak pada koordinat -8,35 LS, 115,36 BT, dan pada ketinggian ± 870 m dpl [8]. Foto satelit lokasi PLTS Kayubih bisa dilihat pada gambar 4, sedangkan tampak atasnya bisa dilihat pada gambar 5.

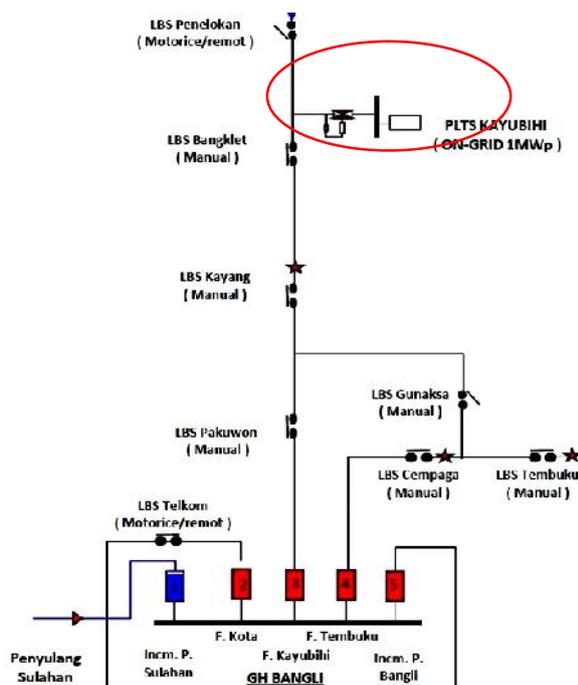


Gambar 4. Foto satelit lokasi PLTS Kayubih  
Sumber: <https://maps.google.com/> (2013)



Gambar 5. Tampak atas denah PLTS Kayubihii

PLTS Kayubihii merupakan kategori PLTS skala besar (>500 kW) dengan kapasitas daya 1 MWp jenis sistem terpusat, terinterkoneksi dengan jaringan PLN sistem JTM 20 kV, dan tanpa sistem penyimpanan baterai atau disebut *Grid-connected centralized without storage PV plant*. Diagram *one line* PLTS Kayubihii bisa dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. One line diagram PLTS Kayubihii dengan PLN

#### 4.1.1 Konfigurasi Komponen PLTS Kayubihii

PLTS Kayubihii memiliki kapasitas daya total terpasang sebesar 1.000.800 Wp, yang terdiri dari 5004 buah modul surya kapasitas daya 200 Wp tipe *monocrystalline* buatan PT. LEN Industri (Persero). Keseluruhan modul surya dibagi menjadi 278 *string array*, yang masing-masing *array* terangkai dari 18 buah modul surya terhubung seri, yang dipasang pada sistem penyangga (*support*) dengan kemiringan 15°

ke arah 0° utara. Gambar 7 memperlihatkan *String array* PLTS Kayubihii. Gambar 7 memperlihatkan *String array* PLTS Kayubihii.



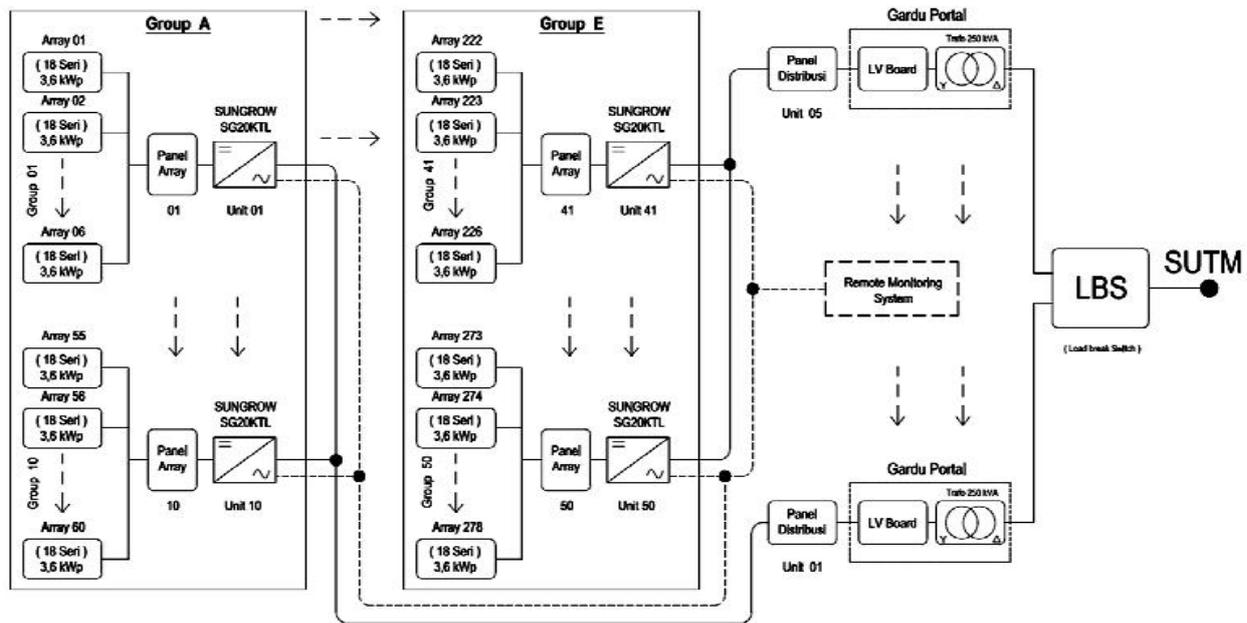
Gambar 7. String array PLTS Kayubihii

Untuk merubah daya listrik searah (DC) keluaran panel surya menjadi daya listrik bolak-balik (AC), dipergunakan *string inverter* tipe *grid-connected* sistem 3 fasa dengan kapasitas 20 kW, yang berjumlah 50 unit. Setiap inverter memiliki input 5 atau 6 set *string array*. Bentuk *grid connected inverter* bisa dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Grid-connected inverter SUNGROW SG20KTL

Keseluruhan daya listrik yang dibangkitkan PLTS Kayubihii disalurkan ke JTM PLN melalui 5 blok panel distribusi *group inverter*, dan transformator *step up*. Setiap transformator *step up* melayani setiap *group inverter* yang terdiri dari 10 buah inverter. Sistem tegangan PLTS Kayubihii dibagi menjadi tiga sisi yaitu, pada sisi pembangkitan/*array* tegangan nominal adalah 650 Vdc hingga maksimum 1000 Vdc, kemudian dikonversikan menjadi tegangan bolak balik oleh *string inverter* dengan nominal tegangan 230/400 Vac, kemudian tegangan ini dinaikan melalui transformator *step up* menjadi tegangan nominal 20 kV, sesuai tegangan nominal JTM PLN. Gambar 9 memperlihatkan diagram blok PLTS KAYUBIHII.



Gambar 9. Blok diagram PLTS Kayubihi [7]

4.2 Hasil Simulasi PVSyst

Dari hasil simulasi PVSyst dapat diketahui bahwa apabila tidak terdapat shading pada lokasi terpasang, PLTS Kayubihi memiliki potensi optimum untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1656 MWh per tahun, dengan rasio performa (PR) sebesar 83,6 %, dengan rincian seperti table 1. Sedangkan table 2 memperlihatkan koefisien performa normal PLTS Kayubihi

Tabel 1. Potensi Optimum Produksi Energi PLTS Kayubihi

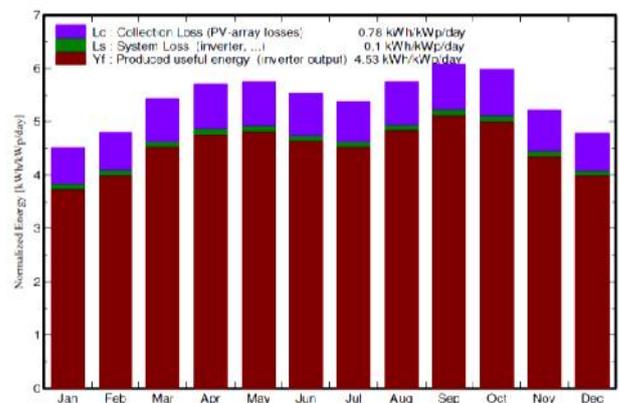
	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	I Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E Grid MWh
January	152,7	26,70	140,0	134,5	118,9	116,0
February	141,0	26,70	134,5	129,5	114,8	112,1
March	168,3	26,60	168,6	162,9	143,9	140,7
April	161,6	26,90	171,4	166,2	146,5	143,2
May	160,8	26,80	178,6	173,5	153,2	149,8
June	145,2	26,40	166,3	161,5	142,8	139,7
July	148,4	25,80	166,9	161,9	143,7	140,6
August	165,2	25,40	178,4	173,2	153,8	150,4
September	178,5	25,50	182,8	177,4	157,2	153,6
October	191,9	26,00	185,7	179,6	158,7	155,1
November	170,0	26,40	156,9	150,9	134,0	131,0
December	163,6	26,60	148,6	142,6	126,9	124,0
Year	1947,2	26,32	1978,7	1913,7	1694,4	1656,2

Tabel 2. Koefisien Performa Normal PLTS Kayubihi

	Yr	Lc	Ya	Ls	Yf	PR
January	4,51	0,681	3,83	0,094	3,74	82,8
February	4,80	0,707	4,10	0,097	4,00	83,3
March	5,41	0,798	4,61	0,106	4,53	83,4
April	5,71	0,832	4,88	0,111	4,77	83,5
May	5,76	0,825	4,94	0,110	4,83	83,8
June	5,54	0,788	4,76	0,103	4,65	83,9
July	5,39	0,752	4,63	0,101	4,53	84,2
August	5,76	0,799	4,96	0,109	4,85	84,2
September	6,09	0,857	5,24	0,118	5,12	84,0
October	5,99	0,874	5,12	0,116	5,00	83,5
November	5,23	0,766	4,46	0,102	4,36	83,4
December	4,79	0,702	4,09	0,095	4,00	83,4
Year	5,42	0,782	4,64	0,105	4,53	83,6

Sedangkan grafik produksi PLTS Kayubihi selama 1 tahun bisa dilihat pada gambar 10 dan gambar 11 memperlihatkan diagram alir rugi-rugi pada PLTS Kayubihi.

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1001 kWp

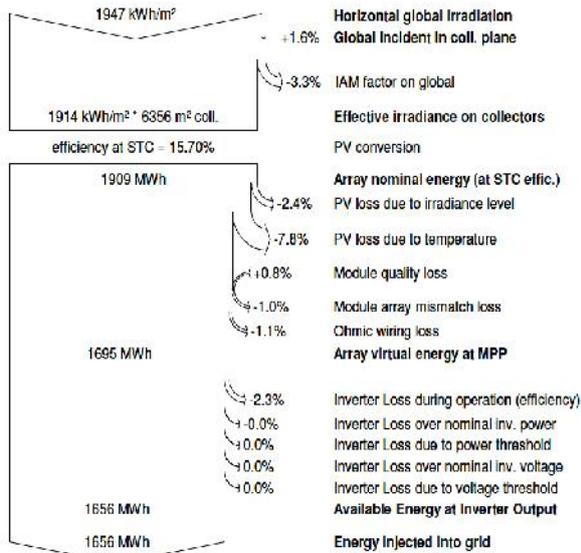


Gambar 10. Grafik produksi energi listrik PLTS Kayubihi

Ya = array yield, Lc = capture losses, Ls = system losses

4.3 Perbandingan Simulasi PVSyst dan Real PLTS Kayubihi

Dari hasil perbandingan antara simulasi PVSyst dengan produksi real energi listrik PLTS Kayubihi selama kurun waktu 15 Februari s.d. 30 September 2013, dapat diketahui produksi real energi listrik PLTS Kayubihi lebih rendah dibandingkan simulasi, dengan selisih sebesar 32,3%. Hasil simulasi sebesar 1076,94 MWh dengan produksi real energi listrik sebesar 729,08 MWh. Tabel 3 memperlihatkan perbandingan produksi energy listrik PLTS Kayubihi.



Gambar 11. Diagram alir rugi-rugi PLTS Kayubih

Tabel 3. Perbandingan Produksi Energi PLTS Kayubih

Bulan (2013)	PVSystem	Riil	Selisih	
	E_grid (MWh)	E_grid (MWh)	E_grid (MWh)	%
15 ~ 28 Februari	58,96	45,76	13,20	22,38
01 ~ 31 Maret	140,66	105,54	35,12	24,97
01 ~ 30 April	143,18	102,92	40,26	28,12
01 ~ 31 Mei	149,79	94,44	55,34	36,95
01 ~ 30 Juni	139,66	89,07	50,60	36,23
01 ~ 31 Juli	140,62	76,49	64,13	45,61
01 ~ 31 Agustus	150,42	102,24	48,18	32,03
01 ~ 30 September	153,65	112,62	41,03	26,70
<b>Total Produksi</b>	<b>1076,94</b>	<b>729,08</b>	<b>347,86</b>	<b>32,30</b>

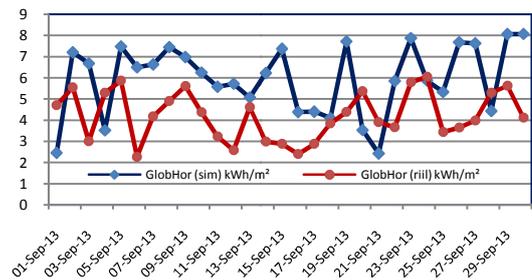
Penurunan produksi energi listrik ini sekaligus berdampak terhadap unjuk kerja dari PLTS Kayubih. Untuk dapat menghasilkan energi listrik pada maksimum daya terpasang, PLTS Kayubih memiliki performa spesifik waktu harian selama 3,202 jam/hari, lebih rendah dibandingkan hasil simulasi yaitu 4,686 jam/hari. Selain itu faktor kapasitas PLTS Kayubih dalam menghasilkan energi aktual selama sehari penuh (24 jam) lebih rendah dari simulasi yaitu hanya 13,34%. Tabel 4 memperlihatkan Performa spesifik dan faktor kapasitas PLTS Kayubih

Tabel 4. Performa spesifik dan faktor kapasitas PLTS Kayubih

Bulan (2013)	PVSystem	Riil	YF (P)		CF (R)	
	E_grid (MWh)	E_grid (MWh)	(h/d)	(h/d)	(%)	(%)
15 ~ 28 Februari	58,96	45,76	4,208	3,266	17,53	13,61
01 ~ 31 Maret	140,66	105,54	4,534	3,402	18,89	14,17
01 ~ 30 April	143,18	102,92	4,769	3,428	19,87	14,28
01 ~ 31 Mei	149,79	94,44	4,828	3,044	20,12	12,68
01 ~ 30 Juni	139,66	89,07	4,652	2,967	19,38	12,36
01 ~ 31 Juli	140,62	76,49	4,533	2,465	18,89	10,27
01 ~ 31 Agustus	150,42	102,24	4,849	3,296	20,20	13,73
01 ~ 30 September	153,65	112,62	5,118	3,751	21,32	15,63
<b>Total Produksi</b>	<b>1076,94</b>	<b>729,08</b>	<b>4,686</b>	<b>3,202</b>	<b>19,53</b>	<b>13,34</b>

#### 4.4 Tantangan PLTS Kayubih

Penurunan produksi energi listrik dan unjuk kerja PLTS Kayubih selama waktu operasi 15 Februari s.d. 30 September 2013 disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya, perbedaan iklim iradiasi yang terjadi selama waktu operasi PLTS, adanya shading pada lokasi PLTS, dan gangguan pada sistem PLTS sehingga sistem tidak dapat mengirimkan energi listrik ke jaringan. Iradiasi yang terjadi pada PLTS Kayubih lebih rendah daripada iradiasi simulasi, yang dapat dipresentasikan dengan perbandingan iradiasi global horizontal (GlobHor) yang terjadi pada bulan september seperti diperlihatkan pada gambar 12.



Gambar 12. Grafik perbandingan iradiasi global horizontal bulan September

GlobHor rata-rata per hari yang terjadi selama bulan September 2013 lebih rendah, yaitu 4,2 kWh/m² dibandingkan hasil simulasi PVSyst, yaitu 5,9 kWh/m².

Shading yang ada pada PLTS Kayubih menyebabkan berkurangnya iradiasi matahari yang diterima oleh bidang tangkapan panel surya, yang disebabkan oleh pepohonan/ tumbuhan, bangunan terdekat, binatang, pengotoran permukaan panel, kabut, dll. Kondisi ini bias dilihat pada gambar 13 dan 14.



Gambar 13. Shading akibat pepohonan/tumbuhan



Gambar 14. *Shading* akibat pengotoran permukaan panel

- [8] PT. SEI. *Petunjuk Operasi dan Perawatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terinterkoneksi dengan Jaringan PLN.*

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Potensi optimum dari produksi energi listrik per tahun yang dihasilkan PLTS Kayubihi tanpa adanya faktor *shading* adalah 1656 MWh, dengan rasio performa (PR) sebesar 83,6 %.
2. Produksi energi listrik PLTS Kayubihi selama kurun waktu operasi 15 Februari s.d. 30 September 2013 lebih kecil dibandingkan dengan potensi optimum produksi energi listrik hasil simulasi PVSyst, yaitu sejumlah 729,08 MWh dengan selisih sebesar 32,3 % terhadap hasil simulasi sejumlah 1076,94 MWh.
3. Produksi energi listrik yang tidak optimum disebabkan oleh perbedaan iklim iradiasi dan rendahnya iradiasi matahari yang diterima panel surya akibat adanya *shading*, serta gangguan yang terjadi pada sistem PLTS, yang sekaligus menyebabkan penurunan unjuk kerja spesifik PLTS Kayubihi selama kurun waktu operasi 15 Februari s.d. 30 September 2013 yaitu 3,202 jam per hari, dengan faktor kapasitas (CF) sebesar 13,34 %, dibandingkan hasil simulasi yaitu 4,686 jam per hari dengan CF 19,53%.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. PLN (Persero), Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. PLN (Persero) 2012-2021.
- [2] KESDM RI. "*Blueprint Pengelolaan Energi Nasional (BP-PEN) 2006-2025*". Jakarta. 2006
- [3] PT. LEN Industri (Persero), PLTS On Grid 200kWp Gili Trawangan Go Green, Buletin LEN nomor 8 ( Nopember 2011).
- [4] Omran, Walid. *Performance Analysis of Grid-Connected Photovoltaic Systems*. Thesis. Electrical and Computer Engineering University of Waterloo. Ontario, Canada: 2010.
- [5] ABB. "Technical Application Papers No.10 Photovoltaic plants". 2010.
- [6] British Standard, BS EN 61724:1998 IEC 61724:1998. *Photovoltaic system performance monitoring-Guidelines for measurement, data exchange and analysis, 1998, BSI, 1999.*
- [7] PVSyst, *PVSYS User,s Manual*, [http://www.pvsyst.com/images/pdf/PVsyst\\_Tutorials.pdf](http://www.pvsyst.com/images/pdf/PVsyst_Tutorials.pdf).