

Analisis Evaluasi Kinerja “Solar Cell-Hybrid Off Grid” 18 kWp Gedung Lab.Surya-Teknik Konversi Energi POLBAN

Alvera Apridialianti Melkias^a, Dr. Abdurrachim^{1,b}, Brian Yulianto^{2,b}

^aMahasiswi Pascasarjana Teknik Mesin-FTMD, ITB, Bandung

E-mail : ravera89_machine@yahoo.com

^{1,b}Jurusan Teknik Mesin-FTMD, ITB, Bandung

E-mail : halimrmf@gmail.com

^{2,b}Jurusan Teknik Fisika, ITB, Bandung

E-mail : brian@tf.itb.ac.id

ABSTRAK

Kinerja Sistem Pembangkit Energi Surya Hibrida Sel Surya – Diesel-Genset Laboratorium Surya Teknik Konversi Energi POLBAN telah dievaluasi dan dibahas dalam paper ini. Sistem Pembangkit ini dibangun dan dioperasikan sejak tahun 2009 untuk mensuply listrik untuk kegiatan praktikum mahasiswa dan kegiatan perkuliahan di gedung Laboratorium Surya. Sistem pembangkit ini dilengkapi dengan baterai berkapasitas 18000 Ah yang akan bekerja apabila sel surya tidak mampu memenuhi kebutuhan beban dan apabila baterai juga tidak mampu maka Genset akan dinyalakan kegiatan praktikum / perkuliahan di Laboratorium Surya tetap berjalan dengan listrik yang memadai. Sejak sistem beroperasi sampai saat ini sistem belum pernah dievaluasi sehingga belum diketahui apakah sistem pembangkit ini bekerja dengan baik dan efisien.

Untuk itu dalam penelitian ini dilakukan evaluasi kinerja sistem dengan melakukan pengukuran2 besar intensitas radiasi matahari, output daya keluar sistem selsurya, besar beban /pemakaian listrik, besar energi yang tersimpan dalam baterai, energi yang digunakan dari baterai serta energi dari pemakaian mesin Genset. Pengukuran dilakukan untuk tiga kondisi operasi yang secara routine terjadi, yaitu pada beban maksimum (full load), pada kondisi biasa selama lima hari kerja, serta kondisi pada hari libur (tidak ada perkuliahan). Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan, dapat disimpulkan bahwa besar beban maksimum (D₁) adalah sebesar 10,58 kW dan pada kondisi ini sel surya beroperasi secara penuh (100% kapasitas) sedangkan baterai memberikan energi sebesar 3,3 % dari kapasitas baterai terpasang. Untuk kondisi operasi rata harian (D₂) beban laboratorium adalah 6,68 kW (67% kapasitas sel surya) dan energi dari batterai tidak dipakai. Kelebihan daya dari sel surya disimpan dalam baterai. Pengoperasian sistem pada hari libur (D₃) hanya memerlukan daya rata-rata sebesar 1,2 kW. Performance ratio (PR) sistem tertinggi berada pada hari D₁ 90,11% dan terendah di D₃ 44,72%.

Kata kunci

energi terbarukan, PLTS Hibrida, performance ratio

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah suatu negara yang mempunyai iklim tropis. Dengan keberadaan iklim inilah, potensi energi terbarukan yaitu energi matahari sangat baik untuk dikembangkan. Energi terbarukan diantaranya adalah energi surya, angin, gelombang laut, biomassa dan lain-lain. Berdasarkan data yang diperoleh dari 18 lokasi di Indonesia, distribusi radiasi matahari dibagi berdasarkan wilayah barat dan wilayah timur. Diperkirakan distribusi radiasi untuk wilayah barat sekitar $4,5 \text{ kWh/m}^2$ dan untuk wilayah timur sekitar $5,1 \text{ kWh/m}^2$ ^[1]

Pemakaian energi listrik di perkotaan yang paling banyak digunakan pada sektor pemerintah, komersial, industri dan kegiatan belajar mengajar, serta penggunaan fasilitas ruang laboratorium di perguruan tinggi. Kegiatan praktikum yang dilakukan di laboratorium pada jenjang perkuliahan seperti di Politeknik Negeri Bandung (POLBAN) sangat bergantung dengan keberadaan sumber listrik (PLN). Adanya gangguan pada listrik seperti pemadaman mengakibatkan kegiatan praktikum tidak berjalan dengan lancar, seperti kegiatan praktikum di laboratorium Teknik Konversi Energi POLBAN yang mengandalkan pasokan listrik yang berasal dari PLN disetiap pemakaian mesin konversi. Laboratorium Surya Teknik Konversi Energi merupakan laboratorium yang menggunakan sumber energi listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hibrida disetiap aktivitas perkuliahan. Sistem ini telah digunakan sejak 2009 hingga saat ini sebagai sumber energi listrik dari gedung laboratorium.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja PLTS Hibrida di Politeknik Negeri Bandung yang terukur dan akurat sehingga dapat digunakan untuk tindak lanjut pengembangannya. Penelitian ini akan melingkupi hal-hal sebagai berikut :

1. Jenis panel surya yang digunakan adalah polikristal dengan daya maksimum (peak to peak) 180 Watt sebanyak 102 buah.
2. Data spesifikasi panel surya, *PV inverter*, *bidirectional inverter*, dan baterai berdasarkan buku manual. Data pengukuran sistem baterai dan *bidirectional inverter* berdasarkan data yang terekam dalam *memory card (SD-card)* yang terpasang pada *bidirectional inverter*. Data radiasi matahari, daya mampu PV, dan data operasi PV berdasarkan hasil pengukuran di lapangan.
3. Hasil pengukuran dianalisis untuk memperoleh kesesuaian daya mampu PV terhadap beban yang terpasang dan mengetahui kehandalan sistem penopang oleh baterai.

2. DESKRIPSI PLTS HIBRIDA 18kWp



Gambar 1: PLTS Hibrida (Tampak Luar)

Gambar 1 merupakan penampakan pembangkit yang berada di atas gedung laboratorium. Energi matahari dikonversi oleh panel surya menjadi sumber energi listrik DC. Jika sumber energi listrik DC akan digunakan langsung ke beban maka akan dirubah menjadi sumber listrik AC melalui DC/AC inverter. Jika sumber energi relatif besar namun beban yang digunakan rendah, maka energi berlebih akan disimpan ke dalam sistem baterai melalui *bidirectional inverter*. Jika sumber energi tidak mencukupi untuk mensuplai energi listrik untuk kebutuhan beban, maka akan disuplai dari sistem baterai. Jika sumber energi dari sistem panel surya maupun sistem baterai masih tetap tidak mencukupi maka akan disuplai dari *generator set (genset)* yang diaktifkan secara manual dengan kondisi kapasitas baterai yang rendah atau *state of charge (SoC)* sebesar 30%.

Pada gedung Laboratorium Surya Teknik Konversi Energi PLTS yang digunakan berkapasitas 18 kWp untuk lantai dua dan tiga.



Gambar 2 : PLTS Hibrida (Tampak Dalam)
Sistem PLTS-Hibrida yang ada di laboratorium surya terdiri dari beberapa komponen yaitu :

- 102 buah panel surya yang tersusun secara seri paralel yang membentuk *solar array* yang terbagi menjadi 3 string (rangkaian utama). Pada ketiga string berjumlah 92 panel surya dengan 17 buah panel surya tersusun secara seri pada setiap string dengan enam buah panel surya tersusun secara paralel. Berikut ini spesifikasi panel surya yang digunakan pada Tabel 1.

Tabel 1 : Spesifikasi Panel Surya

Jenis Sel Surya	Polikristal
Merk	Mitsubishi PV-AD180MF5
Sudut kemiringan	10°
Daya	180 Wp (±3%)
Vmp	24,2 V _{DC}
Imp	7,45 A
Voc	30,4 V _{DC}
Isc	8,03 A
Fuse rating	15 A
Dimensi panel surya	1608 x 810 mm ²
Efisiensi	13%
Tegangan sistem max	1000 V

- Tiga buah inverter yang berfungsi untuk mengubah tegangan DC yang berasal dari panel surya menjadi tegangan AC. Berikut ini spesifikasi panel surya yang digunakan pada Tabel 2.

Tabel 2 : Spesifikasi DC/AC inverter

Tipe	Sunny Mini Central SMC
	5000A
Daya masukan maksimal	5750 W
V _{DC} MPP	246-600 V
I _{DC} maksimal	26 A
V _{AC} nominal	230 V
I _{AC} nominal	21,7 A
P _{AC} nominal	5000 W

Efisiensi maksimum 96,1%

- 72 buah baterai yang tersusun secara seri paralel yang membentuk *battery bank* yang terbagi menjadi 3 string (rangkaian utama). Setiap satu rangkaian utama baterai terdiri dari 24 baterai yang tersusun secara seri serta enam buah buah baterai secara paralel. Berikut ini spesifikasi panel surya yang digunakan pada Tabel 3.

Tabel 3 : Spesifikasi sistem baterai

Tipe	Lead Acid (Hoppecke-Jerman)
Kapasitas baterai	600 Ah
Tegangan baterai	2 V
SoC minimum	30%
Design Life	20 tahun

Data pada setiap *String* Baterai yaitu :

Jumlah baterai	: 24 buah
Tegangan <i>Output</i>	: 48 V (dirangkai seri)
Kapasitas 1 <i>string</i>	: 600 Ah
Energi mampu 1 <i>string</i>	: 28,8 kWh (48 V x 600 Ah)
Kapasitas total (3 <i>string</i>)	: 1800 Ah
Sehingga daya mampu PV untuk menopang beban <i>solar cell hybrid off grid</i> ini sebesar 86,4 kWh (28,2 kWh x 3 <i>string</i>).	

- Tiga buah *bidirectional* inverter. *Bidirectional inverter* digunakan untuk merubah arus AC dari *DC/AC inverter* menjadi arus DC pada proses pengisian sistem baterai (*charging*) serta merubah arus DC menjadi arus AC saat proses pelepasan daya baterai ke beban gedung (*discharging*). Pembacaan data ditampilkan pada layar yang terdapat pada sisi depan serta data yang tersimpan di dalam *memory card* yang dimasukkan ke dalam slot *inverter*. Berikut ini spesifikasi panel surya yang digunakan pada Tabel 4.

Tabel 4 : Spesifikasi sistem baterai

Tipe	Sunny Island SI 5048
Efisiensi max	95 %
V _{DC} Nominal	48 Volt
I _{DC} Nominal	100 Ampere
V _{AC} Nominal	230 Volt
Frekuensi _{AC} Nominal	50 Hz
P _{AC} Nominal	5000 W
I _{AC} Out Nominal	21,7 A
I _{AC} In Maksimum	56 A
Capacity	100-10.000 Ah
Cos phi	1

- Satu buah genset dengan kapasitas 13 kVA untuk mensuplai listrik pada gedung.

Semua komponen sistem akan terhubung pada panel distribusi 3 fasa yang akan mensuplai listrik pada setiap ruangan gedung laboratorium.

3. TABEL DAN GAMBAR

Sistem PLTS Hibrida terdiri dari beberapa komponen, yaitu :

a. Panel Surya

$$\sum \text{Daya panel} = \sum \text{panel} \cdot \text{daya maksimal tiap panel}$$

$$= 102 \times 180 \text{ Wp}$$

$$= 18360 \text{ Wp}$$

$$= 18,36 \text{ kWp}$$

b. Baterai

Data pada setiap *String* :

Jumlah baterai = 24 buah

Output Voltage = 48 V (dirangkai seri)

Kapasitas/*string* = 600 Ah

Energi mampu per *string*

$$= \text{Output Voltage} \times \text{kapasitas baterai}$$

$$= 48 \text{ V} \times 600 \text{ Ah}$$

$$= 28,8 \text{ kWh}$$

Kapasitas total (3 *string*)

$$= 600 \text{ Ah} \times 3 \text{ string}$$

$$= 1800 \text{ Ah}$$

Total Energi seluruh *string*

$$= 28,2 \text{ kWh} \times 3 \text{ string}$$

$$= 86,4 \text{ kWh}$$

Kapasitas penyimpanan energi

$$= \sum \text{baterai} \times \text{kapasitas baterai}$$

$$= 72 \times 600 \text{ Ah}$$

$$= 43200 \text{ Ah}$$

Karena baterai *deep cycle* memiliki sisa sebesar 30

(SoC), sehingga energi yang dapat diambil dari penyimpanan adalah,

Energi yang dimanfaatkan dari baterai

$$= 0,7 \times 86,4 \text{ kWh}$$

$$= 60 \text{ kWh}$$

c. DC/AC Inverter

$$\sum \text{Daya DC/AC Inverter}$$

$$= \sum \text{inverter} \times \text{Daya AC Nominal}$$

$$= 3 \times 5000 \text{ Watt}$$

$$= 15 \text{ kW}$$

d. Bidirectional Inverter

$$\sum \text{Daya Bidirectional Inverter}$$

$$= \sum \text{Bidirectional Inverter} \times \text{Daya AC Nominal}$$

$$= 3 \times 5000 \text{ Watt}$$

$$= 15 \text{ kW}$$

e. Generator Set (Genset)

Daya genset = 13 kVA

Jika $\cos \phi$ diasumsikan sebesar = 0,95 maka,

$$\text{Daya genset} = 13 \text{ kVA} \times 0,95$$

$$= 12,35 \text{ kW}$$

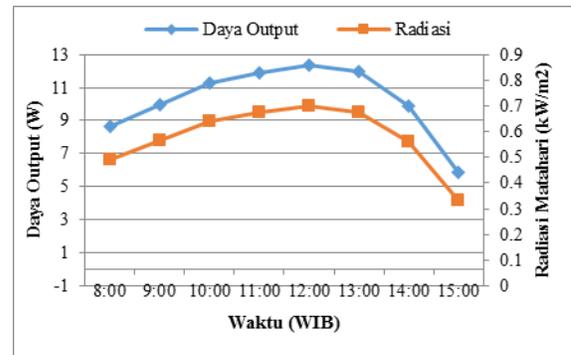
Berdasarkan hasil perhitungan di atas maka didapatkan daya dan energi pada sistem pada Tabel 5.

Tabel 5 : Daya dan Energi dari Setiap Komponen Sistem PLTS Hibrida

Komponen Sistem	Daya dan Energi
Panel Surya	18,36 kWp
Baterai	60 kWh
DC/AC Inverter	15 kW
Bidirectional Inverter	15 kW
Generator Set	12,35 kW

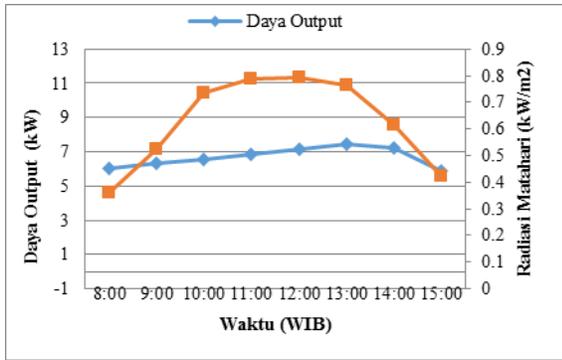
3.1 Hasil Pengukuran

Pengukuran yang dilakukan pada sistem gedung ini melalui tiga pengukuran yaitu pengukuran pertama dengan kondisi beban gedung maksimum, pengukuran kedua berdasarkan pemakaian beban pada lima hari kerja, dan pengukuran pada hari libur.



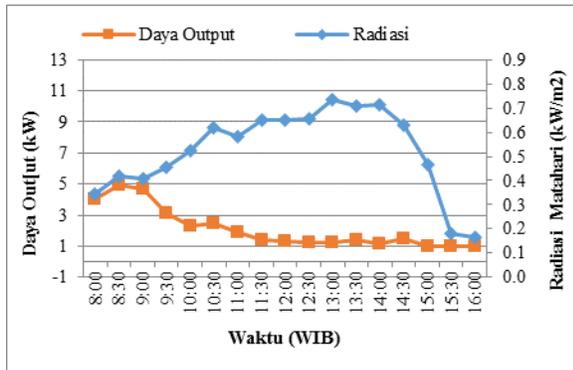
Gambar 3 : Daya *output* Inverter dan radiasi matahari (Beban Maksimum / D₁)

Gambar 3 menunjukkan daya output inverter dan radiasi matahari yang dihasilkan saat beban gedung dioperasikan secara maksimum. Saat pemakaian beban yang maksimum cuaca sangat cerah. Durasi pengambilan data selama 7 jam. Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan maka didapat radiasi matahari rata-rata sebesar 0,579 kW/m² dengan daya output PV rata-rata 10,58 kW, serta efisiensi sistem PV rata-rata sebesar 13,58%



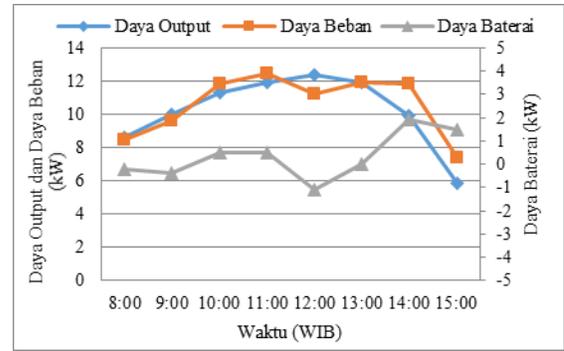
Gambar 4 : Daya *output* Inverter dan radiasi matahari (Lima Hari Kerja/D₂)

Gambar 4 menunjukkan daya output inverter dan radiasi matahari yang dihasilkan selama lima hari kerja. Cuaca yang terjadi selama lima hari kerja tidak berbeda jauh sehingga grafik yang dihasilkan pun sama. Dengan durasi pengambilan data selama 7 jam diperoleh radiasi matahari rata-rata sebesar 0,625 kW/m², daya output PV rata-rata yang dihasilkan sebesar 6,68 kW serta efisiensi sistem PV rata-rata adalah 8,7%.



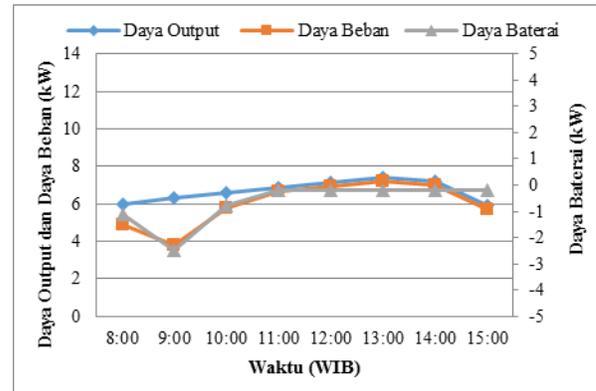
Gambar 5 : Daya *output* Inverter dan radiasi matahari (Hari Libur/D₃)

Gambar 5 menunjukkan daya output inverter dan radiasi matahari yang dihasilkan saat hari libur (tidak ada kegiatan perkuliahan). Cuaca yang terjadi selama pengukuran cukup cerah namun radiasi yang dihasilkan rendah. Pengambilan data selama 8 jam menghasilkan radiasi matahari rata-rata sebesar 0,525 kW/m², daya output PV rata-rata 2,1 kW dengan efisiensi rata-rata 5,4 %.



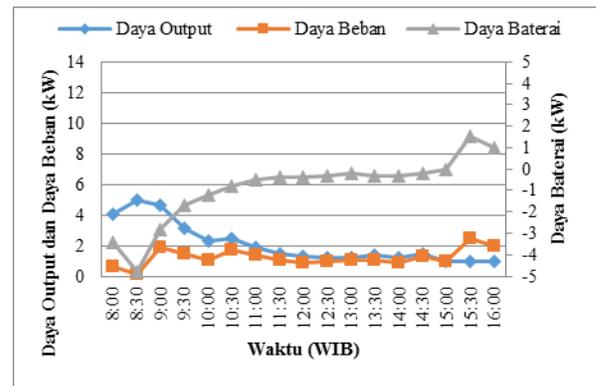
Gambar 6 : Daya Sistem PV, Baterai, dan Beban (D₁)

Daya beban sebesar 10,58 kW lebih besar sedikit dari daya output sistem PV sebesar 10,25 kW, ada selisih daya sebesar 0,33 kW. Artinya kekurangan daya beban disuplai dari sistem baterai sebesar rata-rata 0,33 kW.



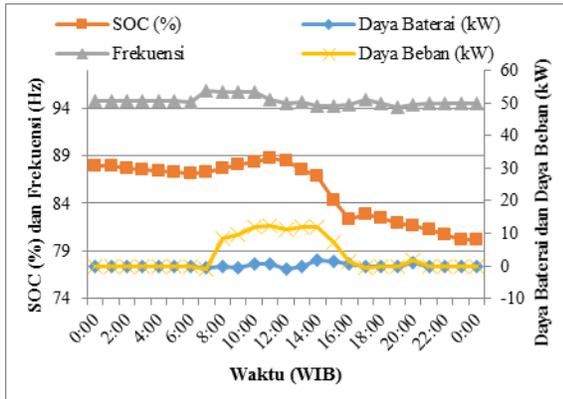
Gambar 7 : Daya Sistem PV, Baterai, dan Beban (D₂)

Daya beban sebesar 6 kW lebih besar sedikit dari daya output sistem PV sebesar 10,25 kW, ada selisih daya sebesar 0,33 kW. Artinya kekurangan daya beban disuplai dari sistem baterai sebesar rata-rata 0,33 kW.



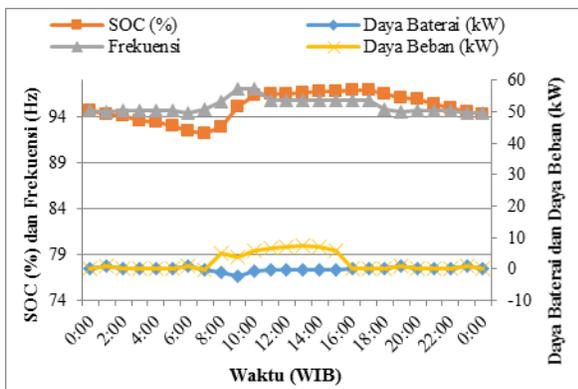
Gambar 8 : Daya Sistem PV, Baterai, dan Beban (D₃)

Daya beban rata-rata sebesar 1,22 kW lebih kecil dari daya output sistem PV rata-rata sebesar 2,1 kW, ada selisih daya sebesar 0,88 kW yang dibangkitkan oleh sistem PV untuk mengisi sistem baterai dari kapasitas 88,9% menjadi 94,3% (dari pukul 08.00 sampai 15.00).



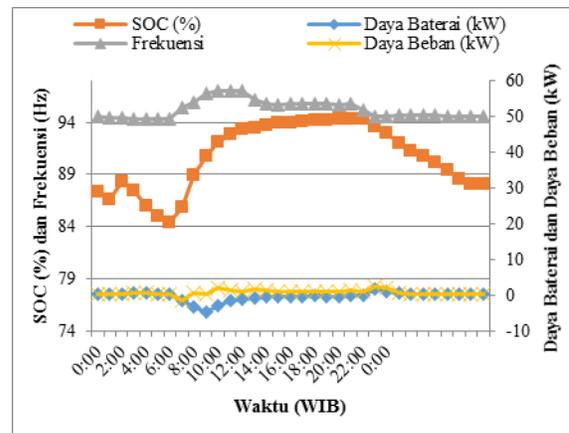
Gambar 9 : SOC, Frekuensi, Daya Beban dan Daya Baterai (D₁)

State of Charge (SoC), pukul 08.00 sebesar 87,7% sedangkan pukul 15.00 sebesar 84,4%. Kapasitas baterai pada saat pengukuran ini masih relatif tinggi yaitu 87,5 % atau kapasitas 1575 Ah yang setara dengan energi 75,6 kWh (1575 Ah x 48 V). Sedangkan energi dari baterai yang dimanfaatkan sebesar 3,3% (87,7% - 84,4%). Dari grafik menunjukkan bahwa daya mampu PV berlebih digunakan untuk pengisian baterai (*charging*) pada pukul 08.00-14.00 yang ditunjukkan nilai negatif. Pukul 14.00-15.00 baterai menyalurkan daya ke beban (*discharging*) akibat penurunan intensitas radiasi matahari.



Gambar 10 : SOC, Frekuensi, Daya Beban dan Daya Baterai (D₂)

State of Charge (SoC), pukul 08.00 sebesar 92,9% dan pada pukul 15.00 sebesar 96,8%. Kapasitas daya mampu sistem PV yang digunakan untuk pengisian sistem baterai sebesar 3,9% (96,8% - 92,8%). Dari grafik menunjukkan bahwa daya mampu PV berlebih digunakan untuk pengisian baterai (*charging*) sepanjang hari pada pukul 08.00-15.00 yang ditunjukkan nilai negatif. Seluruh daya mampu berlebih dari sistem PV disalurkan untuk proses *charging* karena intensitas radiasi matahari tinggi sedangkan beban rendah dan kapasitas baterai juga hampir penuh.



Gambar 11 : SOC, Frekuensi, Daya Beban dan Daya Baterai (D₃)

State of Charge (SoC), pukul 08.00 sebesar 88,9% saat pukul 15.00 menjadi 94,3%, dan pukul 16.00 sebesar 92,9%. Kapasitas daya mampu sistem PV yang digunakan untuk pengisian sistem baterai sebesar 5,4% (94,3%-88,9%). Sedangkan pada pukul 15.00 sampai 16.00 cuaca mulai mendung/hujan, pada saat ini sistem baterai menyuplai daya untuk beban sebesar 1,4% kapasitas baterai karena radiasi mulai turun dan daya mampu sistem PV tidak mencukupi untuk beban. Dari grafik menunjukkan bahwa daya mampu PV berlebih digunakan untuk pengisian baterai (*charging*) sepanjang hari pada pukul 08.00-16.00. Seluruh daya mampu berlebih dari sistem PV disalurkan untuk proses *charging* karena intensitas radiasi matahari tinggi sedangkan beban rendah dan kapasitas baterai juga hampir penuh.

3.2 Performance Ratio

Pada Tabel 6, *performance ratio* sistem tertinggi berada pada hari D₂ sebesar 53,34% dan terendah di D₃ sebesar 26,79%.

Tabel 6 : *Performance Ratio (PR)*

Hari	Real Output	Calculated output	PR (%)
D1	34,51	68,63	90,11
D2	35,81	74,11	54,26
D3	17,99	47,36	44,72

4. PERSAMAAN

Total Daya Output Inverter = Daya Output Inverter Master + Daya Output Inverter Slv₁ + Daya Output Inverter Slv₂ (kW)

(1)

Daya Beban = Daya Total Output Inverter + Daya Baterai (kW)

(2)

$Performance\ ratio\ (PR) = \frac{Real\ Output}{Calculated\ Output} \times$

100% (3)

5. KUTIPAN

1. M.H. Hasan, T.M.I. Mahlia, Hadi Nur, A *Review on Energy Scenario and Sustainable Energy in Indonesia*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012); 2316 – 2328

6. DISKUSI

6.1 Pengukuran Beban Maksimum Gedung

Dari hasil pengukuran dapat diperoleh bahwa daya output PV digunakan seluruhnya untuk beban sehingga efisiensi PV sistem mencapai efisiensi maksimum. Daya beban sebesar 10,58 kW lebih besar sedikit dari daya output sistem PV sebesar 10,25 kW, ada selisih daya sebesar 0,33 kW. Kekurangan daya beban disuplai dari sistem baterai sebesar rata-rata 0,33 kW. Daya mampu PV berlebih digunakan untuk pengisian baterai (*charging*) pada pukul 08.00-14.00 yang ditunjukkan nilai negatif. Pukul 14.00-15.00 baterai menyalurkan daya ke beban (*discharging*) akibat penurunan intensitas radiasi matahari.

Pengoperasian daya beban rata-rata 10,58 kW pada siang hari (pukul 08.00–15.00) merupakan pemakaian yang optimal, namun untuk penyaluran kapasitas baterai masih rendah (kapasitas baterai terlalu besar). Daya untuk beban yang dimanfaatkan sebesar 10,58 kWp (rata-rata). Kapasitas sistem PV yang dipakai

100% (maksimum) sedangkan kapasitas sistem baterai yang dipakai sebesar 3,3%.

6.2 Pengukuran Lima Hari Kerja

Dari hasil pengukuran dapat diperoleh bahwa daya output PV tidak digunakan secara optimal untuk beban, beban yang digunakan rata-rata hanya 6 kW dan kapasitas baterai juga dalam kondisi hampir penuh. Energi yang seharusnya dapat dibangkitkan oleh PV karena cuaca cerah tidak dapat disalurkan sehingga efisiensi sistem PV relatif rendah. Daya beban rata-rata sebesar 6,0 kW lebih kecil dari daya output sistem PV rata-rata sebesar 6,68 kW, ada selisih daya sebesar 0,68 kW yang dibangkitkan oleh sistem PV untuk mengisi sistem baterai yang sudah hampir penuh dari kapasitas. Daya mampu PV berlebih digunakan untuk pengisian baterai (*charging*) sepanjang hari pada pukul 08.00-15.00 yang ditunjukkan nilai negatif. Seluruh daya mampu berlebih dari sistem PV disalurkan untuk proses *charging* karena intensitas radiasi matahari tinggi sedangkan beban rendah dan kapasitas baterai juga hampir penuh.

Pengoperasian daya beban rata-rata 6,0 kW pada siang hari (pukul 08.00–15.00) tidak optimal. Kapasitas sistem PV yang dipakai hanya 67% (untuk beban dan pengisian baterai) sedangkan kapasitas sistem baterai tidak dipakai atau 0%. Pada kapasitas sistem PV untuk pengisian baterai sebesar 3,9%.

6.3 Pengukuran Hari Libur

Dari hasil pengukuran dapat diperoleh bahwa daya output PV tidak digunakan secara optimal untuk beban pada hari libur, beban yang digunakan rata-rata hanya 1,22 kW dan kapasitas baterai juga dalam kondisi hampir penuh.

Pengoperasian daya beban rata-rata 1,22 kW pada hari libur (pukul 08.00–16.00) sangat tidak optimal. Daya untuk beban yang dimanfaatkan. Kapasitas sistem PV yang dipakai sebesar 41,8 % (untuk beban dan pengisian baterai) sedangkan kapasitas sistem baterai yang dipakai hanya 1,4 % (mendung pukul 15.00–16.00). Kapasitas sistem PV digunakan untuk pengisian baterai sebesar 5,4 % (pukul 08.00–15.00).

7. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran, hasil perhitungan, serta analisis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Pengoperasian beban gedung secara maksimum (D_1) sebesar 10,58 kW merupakan pemakaian secara optimal. Kapasitas sistem PV dipakai 100% sedangkan kapasitas baterai sistem baterai digunakan hanya 3,3%.
2. Pengoperasian beban selama lima hari kerja (D_2) hanya dimanfaatkan untuk pemakaian beban gedung rata-rata 6,68≈6 kW. Kapasitas sistem PV yang dipakai hanya 67% (untuk beban dan pengisian baterai) sedangkan kapasitas sistem baterai tidak dipakai atau 0%.
3. Pengoperasian beban pada hari libur (D_3) beban gedung rata-rata yang digunakan hanya 1,2 kW karena tidak adanya kegiatan perkuliahan. Sehingga . Kapasitas sistem PV yang dipakai sebesar 41,8% (untuk beban dan pengisian baterai) sedangkan kapasitas sistem baterai yang dipakai hanya 1,4% (mendung pukul 15.00–16.00).
4. *Performance ratio* (PR) sistem tertinggi berada pada hari D_1 90,11% dan terendah di D_3 44,72%.

Saran yang penulis rekomendasikan kepada pihak pengelola Laboratorium Surya Teknik Konversi Energi POLBAN, yakni :

1. Tenaga pengawas gedung laboratorium diharapkan dapat mengawasi dan mengoperasikan PLTS-Hibrida 18 kWp dengan baik sehingga pemanfaatan energi dapat secara optimal.
2. Pemakaian konsumsi energi pada sektor penerangan dapat dikurangi dengan memaksimalkan penggunaan cahaya alami (cahaya matahari). Untuk pemakaian konsumsi energi sektor non penerangan tidak bisa dikurangi sebab beban ini banyak digunakan untuk kegiatan perkuliahan serta praktikum. Konsumsi energi pada sektor HVAC jarang digunakan maka pada saat beban dipakai dapat disesuaikan dengan kebutuhan.
3. Penelitian dan pengukuran lebih lanjut menggunakan alat ukur yang telah terintegrasi antara sistem PV, sistem baterai, dan sistem beban (data logger) dengan waktu respon yang lebih singkat dan akurat sehingga dan perhitungan dan analisis yang dilakukan pada sistem dapat lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan makalah ini, kepada:

1. Kedua orang tua penulis Papa dan Mama. Kakak penulis Armelia Aprilianti Melkias dan Firman Bagja Juangsa.

2. Bapak Dr. Abdurachim Halim, selaku Dosen Pembimbing Tesis.
3. Bapak Brian Yulianto, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing Tesis.
4. Bapak Aceng Daud, M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Konversi Energi POLBAN.
5. Zulian, MT selaku partner penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anand S. Joshi, Ibrahim Dincer, Bale V. Reddy. *Performance analysis of photovoltaic systems : A review*. Faculty of Engineering and Applied Science, University of Ontario Institute of Technology, 2000 Simcoe Street North, Oshawa, ON L1H 7K4, Canada 19 January 2009
2. Bhubaneswari Paridaa, S. Iniyar. Ranko Goicc. *A review of solar photovoltaic technologies*. Department of Mechanical Engineering, College of Engineering, Anna University Chennai, Chennai 600025, India. Institute for Energy Studies, Department of Mechanical Engineering, Anna University Chennai, Chennai 600025, India. Faculty of Electrical Engineering, Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Split, Croatia. 11 November 2010
3. El Fathi , Amine, Lahcen Nkhaili, Amin Bennouna, Abdelkader Outzourhit. *Performance parameters of a standalone PV plant*. LPSCM, Faculty of Sciences Semlalia, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocc. 14 Mei 2014
4. Gary Cook, Lynn Billman, and Rick Adcock. *Photovoltaic Fundamental*. U,S Department of Energy. February 1995
5. G.N. Tiwari, and Swapnil Dubey. *Fundamentals of Photovoltaic Modules and Their Applications*. : RSC Publishing, New Delhi, India, 2010.
6. <http://www.solarproductsstore.com/understanding-solarequipment/difference-between-monocrystalline-polycrystalline-and-amorphous-thin-film-solar-cell/>
7. Hoppecke Batterien GmbH & Co. KG. *Installation, commissioning and operating instruction for valve-regulated stationary lead-acid batteries* : Brilon, 2013.
8. Mitsubishi Electric. *Manual mitsubishi electric photovoltaic module*, 2014
9. Rehman, Shafiqur, Ibrahim El-Amin. *Performance evaluation of an off-grid photovoltaic system in Saudi Arabia*. Center for Engineering Research, Research Institute, King Fahd University of Petroleum and Minerals,

KFUPM Box 767, Dhahran 31261, Saudi Arabia. Department of Electrical Engineering, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran 31261, Saudi Arabia 2 August 2012

10. Wenham M.A. Green M.E. Watt R. Corkish. *Applied Photovoltaics Second Edition S.R*
11. Zulian. *Analisa Penyambungan Solar Home System Kapasitas 18 kWp Di Politeknik Negeri Bandung Ke Dalam Jaringan Pln*