

ANALISIS PRODUKSI ENERGI SISTEM HIBRID PV/GENSET DI TPA BONTANG LESTARI

Energy production analysis of PV/Genset hybrid system at TPA Bontang Lestari

Siti Hamnah Ahsan¹⁾ dan Lambang Subagiyo²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknologi Bontang Kota Bontang

²⁾ Program Studi Fisika FKIP Universitas Mulawarman Samarinda 75123

ABSTRACT. *In this paper, performances of PV/Genset hybrid system installed at TPA Bontang Lestari has been carried out based on energy production analysis using methodology from IEA PVPS task 2. The system performance during two months are : the average of solar radiation is rather potential about 6,43 kWh/m², the energy generate from PV about 34,43 kWh and the energy supply from Genset about 33,60 kWh. The 2 months average performance ratio of the whole system is 40.75%. and final yield is 2,34 hours/day. This potential of the system is comparably high to the potential range of PV hybrid system.*

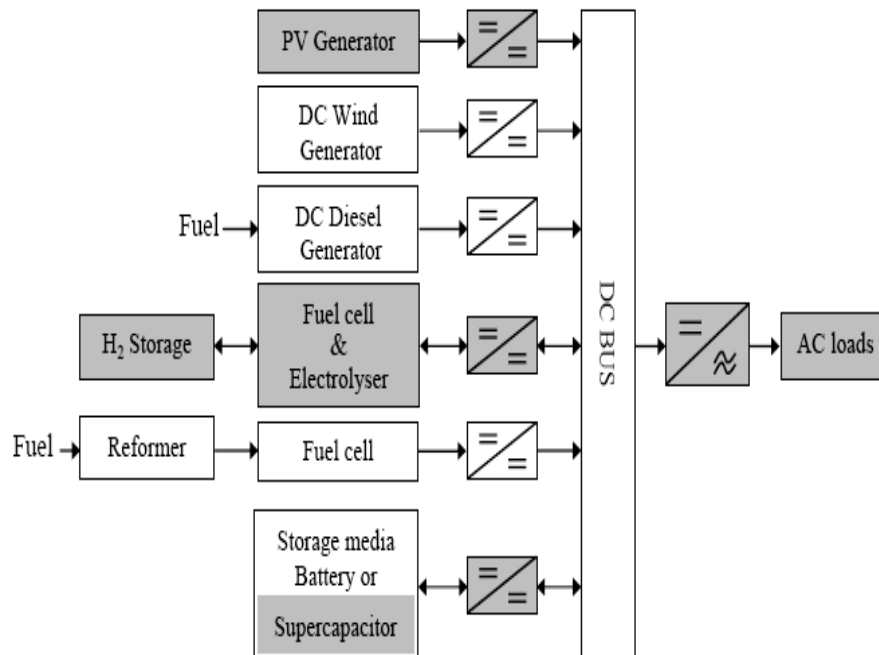
Keywords : PV/Genset hybrid system, energy production, system performance

PENDAHULUAN

Tingginya kebutuhan energi masyarakat, terutama energi listrik di Kota Bontang merupakan permasalahan yang timbul sebagai akibat pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk yang terus meningkat. Sebagai ilustrasi, dengan jumlah penduduk 110.000 jiwa dan luas wilayah mencapai 49.752,56 Ha yang terdiri dari wilayah perairan (71%) dan wilayah daratan sekitar 14.870 Ha (29%) membutuhkan pasokan energi yang sangat besar, terutama sektor industri. Sampai saat ini kebutuhan energi listrik Kota Bontang dipasok oleh PLTD Kanaan dengan kapasitas 28.275 KVA dan PLTMG (Pembangkit Listrik Tenaga Mini Gas) sebesar 2 x 7 MW. Berdasarkan data tersebut, pasokan energi listrik untuk Kota Bontang masih dirasakan sangat kurang, terutama untuk daerah yang secara geografis tidak terjangkau karena memerlukan biaya investasi yang besar (<http://ciptakarya.go.id>). Pengembangan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dapat dijadikan sebagai alternatif penggunaan sumber energi energi fosil (BBM) dalam upaya intensifikasi dan diversifikasi energi, salah satu diantaranya pengembangan teknologi hibrida PV/Genset yang menggabungkan beberapa sumber energi untuk menghasilkan energi yang lebih besar.

Pengertian secara umum dari sistem hibrid, yaitu sistem yang terdiri dari kombinasi beberapa sumber energi, misalnya sistem hibrid PV/diesel, PV/angin, PV/angin/diesel, dan angin/diesel dilakukan untuk meningkatkan efisiensi sumber energi. Penerapan sistem hibrid banyak digunakan untuk daerah-daerah pedalaman atau pulau terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik [Markvart and Castaner, 2003, Ketjoy, 2004,

Vega, 2004]. Dalam sistem hibrid, sejumlah generator daya (genset, diesel, dan sebagainya) dan komponen *storage* (penyimpanan) dikombinasikan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Alternatif pemenuhan kebutuhan energi dengan sistem hibrid diharapkan dapat menekan biaya operasional, dimana pada waktu siang hari kebutuhan energi dipenuhi dengan menggunakan sistem photovoltaic dan sekaligus mengisi baterai, sedangkan pada waktu malam hari beban puncak dipenuhi dengan mengoperasikan generator diesel [Hacaoglu, et.al, 2009].



Gambar 1 Blok diagram untuk *hybrid power system* (HPS)

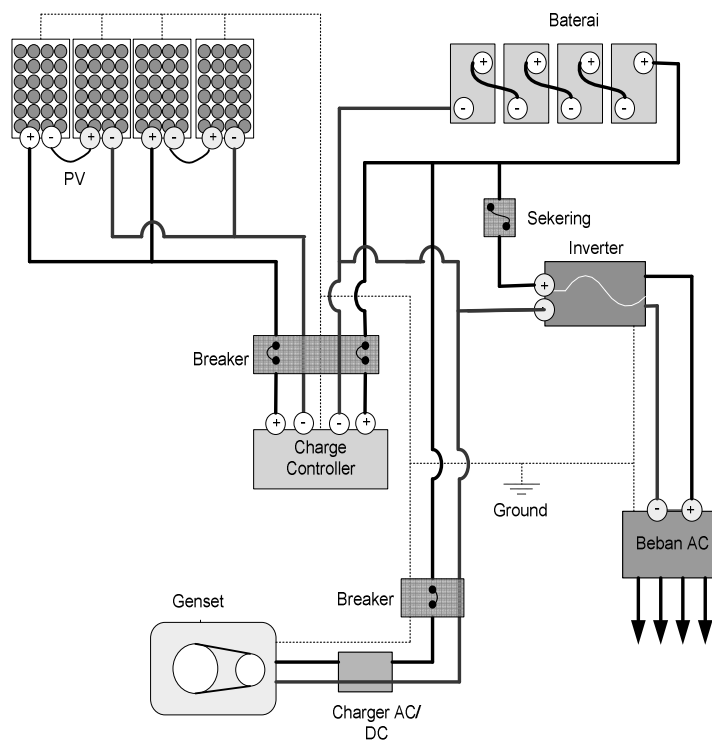
Prinsip kerja sistem hibrid melibatkan sumber energi konvensional dan sumber energi terbarukan (*renewable energy*) didasarkan pada sistem gabungan dari beberapa sumber energi dengan menggunakan sistem *storage* yang terhubung dengan *DC bus* yang menggunakan inverter DC – AC, seperti ditunjukkan oleh Gambar 1 [Ross, 2004]. Kombinasi dari beberapa sumber energi menghasilkan sumber listrik searah (*Direct Current*, DC) yang terhubung dengan baterai dan secara *bi-directional* terhubung dengan *DC bus* untuk digunakan sesuai keperluan. Sistem ini sangat cocok untuk aplikasi yang berkaitan dengan pemenuhan kebutuhan energi daerah pedalaman atau pulau terpencil, selain operasional sistem mudah untuk diimplementasikan, juga dapat dioperasikan untuk sistem inverter dengan daya terbatas [Vega, 2004 ; Hacaoglu, et.al, 2009].

Pemilihan tipe dan komponen sistem hibrid sangat perlu diperhatikan, hal ini terkait dengan masalah optimasi dan biaya investasi yang harus dikeluarkan dalam perancangan dan implementasi sistem hibrid. Komponen sistem hibrid terdiri dari modul PV, sistem *storage* (baterai), *charge controller*, inverter, generator set dan sistem *loading* (beban). Dalam tulisan ini, analisis produksi energi sistem hibrid PV/Genset berdasarkan prinsip keseimbangan energi (*energy balance*) antara sumber-sumber energi dan kebutuhan

energi akan ditinjau dengan menggunakan prosedur yang diberikan oleh IEA PVPS **Task 2**, diantaranya : *Reference Yield* (Y_r), *Final Yield* (Y_f), *Performance Ratio* (PR), dan *Solar Fraction* (F_{Sol}) akan ditinjau untuk kasus di TPA Bontang Lestari Kota Bontang.

METODOLOGI PENELITIAN

Rancang bangun dan implementasi sistem hibrid PV/Genset skala kecil dilakukan di TPU Bontang Lestari Kota Bontang. Perancangan sistem meliputi penentuan ukuran sistem yang berkaitan dengan kebutuhan energi yang diperlukan dan keseimbangan energi (*balance of energy*) antara energi yang dihasilkan oleh PV yang tersimpan dalam baterai dengan back-up energi dari Generator Set, sehingga optimasi sistem dapat dicapai, yaitu pemenuhan kebutuhan energi selama 24 jam (Ketjoy, 2004).

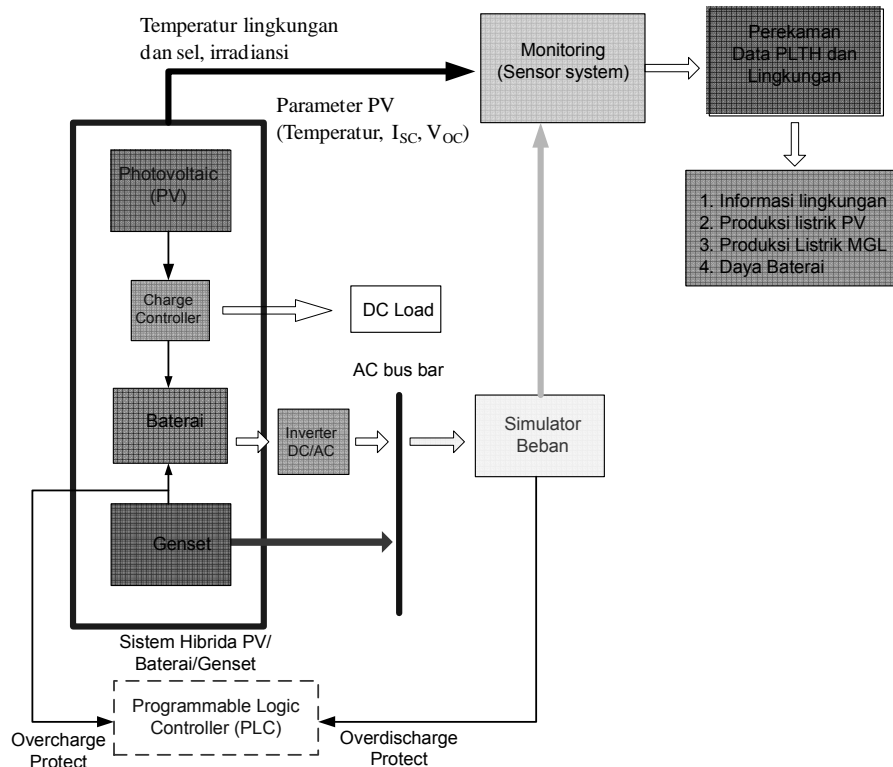


Gambar 2 Skema perancangan dan implementasi Sistem Hibrid PV/Genset di TPA Bontang Lestari Kota Bontang

Skema perancangan sistem Hibrid PV/Genset skala kecil ditunjukkan pada Gambar 2. Skema perancangan sistem dilakukan untuk mode malam hari, dimana energi listrik yang dihasilkan oleh PV hanya digunakan untuk mengisi baterai tanpa melakukan pembebanan (tidak menggunakan peralatan listrik untuk kegiatan sehari-hari). Selanjutnya energi yang tersimpan dalam baterai digunakan untuk konsumsi energi listrik pada saat beban normal (lampu dan TV) sekitar pukul 18.00 – 17.00. Pada saat beban puncak antara pukul 18.00 – 22.00 digunakan kekurangan energi dari baterai akan di

back-up oleh generator set dengan daya 1,3 kW, serta kelebihan energi digunakan untuk mengisi baterai.

Skema pengujian sistem hibrid untuk penerapan skala kecil dilakukan dengan menginstalasi komponen, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Sistem dioperasikan untuk pada AC Bus Bar 220 V/50 Hz yang menggabungkan sumber energi listrik yang berasal dari modul PV melalui inverter dan generator set, sedangkan kelebihan energi yang ada digunakan untuk mengisi baterai dan digunakan untuk *back-up* kekurangan energi pada saat beban puncak.



Gambar 3 Skema pengujian sistem hibrid PV/Genset

Tabel 1 Profil beban yang disuplai oleh sistem hibrid PV/Genset

Waktu Uji	Jenis Pemakaian	Satuan	Lama Pemakaian (Jam/hari)	Daya Total (W)	Kebutuhan Energi (Wh/hari)
17.00 – 18.00	Lampu 11 Watt	1	1	11	11
18.00 – 21.00	o Lampu 11 Watt	4	3	44	132
	o TV 14''	1	3	60	180
	o Kipas Angin	1	3	55	165
	o Radio	1	2	50	100
21.00 – 6.00	o Lampu 11 W	1	9	11	99
	o Kipas Angin	1	1	55	5
Total				286	742

Simulasi kinerja sistem hibrid PV/Genset dilakukan menggunakan mode malam hari. Sistem dioperasikan untuk pada AC Bus Bar 220 V/50 Hz yang menggabungkan sumber energi listrik yang berasal dari modul PV melalui inverter dan generator set, sedangkan kelebihan energi yang ada digunakan untuk mengisi baterai dan digunakan untuk *back-up* kekurangan energi pada saat beban puncak. Pengujian sistem hibrid didasarkan pada profil beban pada Tabel. 1 yang dikontrol dengan mengintegrasikan PLC (*programmable logic controller*) Omron ZEN 20C1AR-A-V2 dengan I/O 16 dengan asumsi beban puncak terjadi pada pukul 18.00 – 21.00. Pengoperasian genset dilakukan pada saat tegangan baterai pada saat pengosongan (*discharge*) mencapai level 10.4 V dan tetap hidup pada saat proses pengisian (*recharge*) sampai tegangan baterai mencapai kisaran 12.8 – 13.8 V.

Perhitungan terhadap analisis energi yang mengalir ke sistem hibrid dan keluaran yang dihasilkan digunakan sebagai paramater untuk analisis teknis terhadap produksi yang dihasilkan oleh hibrid didasarkan pada metodologi dari **IEA PVPS Task 2**, yang ditunjukkan oleh persamaan (1 – 4), diantaranya : *Reference Yield* (Y_r), *Final Yield* (Y_F), *Performance Ratio* (PR), dan *Solar Fraction* (F_{Sol}).

1. Reference Yield (Y_r) : Energi listrik yang dihasilkan oleh PV secara teoritis berdasarkan hasil perbandingan antara energi Matahari yang sampai di permukaan modul PV, H_i (kWh/m²) dengan irradiansi Matahari pada keadaan STC (standard test condition, $G = 1000$ W/m², $T = 25$ °C dan AM1.5) :

$$Y_r = \frac{H_i}{G_{STC}} \quad \left(\frac{\text{kWh}}{\text{kWp}} \right) \quad (1)$$

2. Final Yield (Y_F) : Energi yang dihasilkan oleh modul PV secara praktis yang dinyatakan sebagai perbandingan antara energi yang dihasilkan oleh PV dan digunakan oleh sistem load dengan daya puncak yang dihasilkan oleh PV :

$$Y_F = \frac{E_{PV}}{\text{hari} \times P_{\text{Nominal}}} \quad \left(\frac{\text{hour}}{\text{day}} \right) \quad (2)$$

3. Performance Ratio (PR) : Merupakan nilai karakteristik untuk menyatakan rugi-rugi sistem (system losses) yang menyatakan perbandingan antara energi Matahari yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik (Y_F) terhadap energi nominal sistem (Y_r):

$$PR = \frac{Y_F}{Y_r} \quad (\%) \quad (3)$$

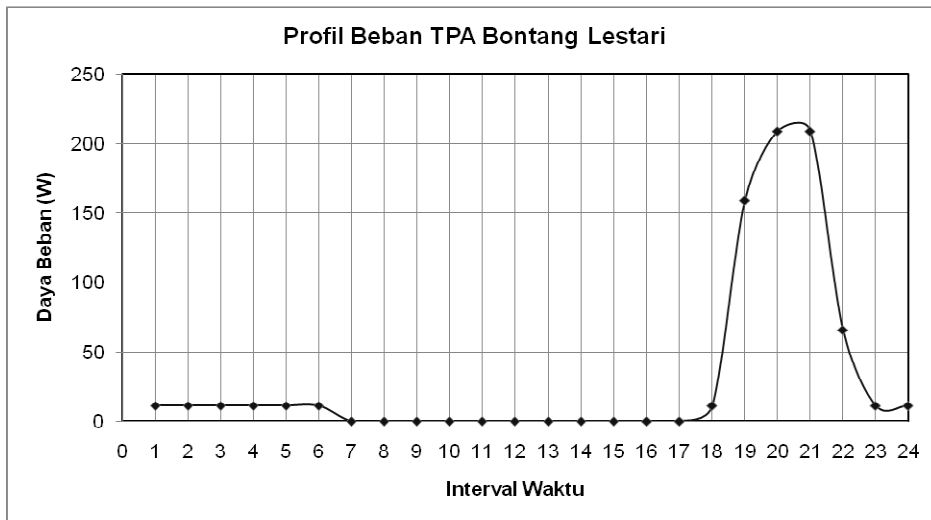
4. Solar Fraction (F_{Sol}) : Menyatakan perbandingan antara energi Matahari yang digunakan terhadap total kebutuhan energi total energi yang dibutuhkan (E_{demand}) :

$$F_{Sol} = \frac{E_{PV}}{E_{\text{Demand}}} \quad (\%) \quad (4)$$

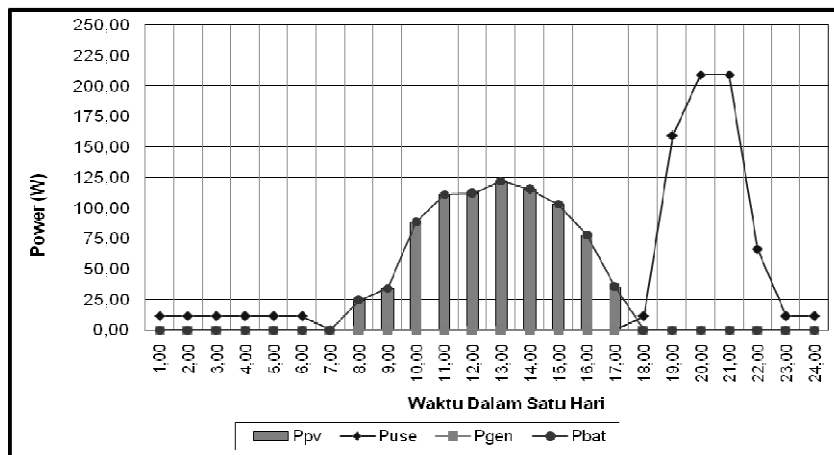
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pengujian sistem hibrid PV/Genset dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di TPA Bontang Lestari didasarkan pada skenario antara proses pengisian baterai oleh PV (tanpa beban), beban normal, dan beban puncak dengan menggunakan back-up

genset untuk memenuhi kekurangan energi yang dihasilkan baterai dan proses pengisian baterai dari kelebihan daya yang dihasilkan genset. Berdasarkan skema tersebut dan Tabel 2, maka pengoperasian sistem dilakukan pada interval waktu antara pukul 17.00 – 18.00 Wita, pukul 18.00 – 21.00 Wita dan pukul 21.00 – 06.00 Wita, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Profil beban pengujian sistem hibrid PV/Genset di TPA Bontang Lestari

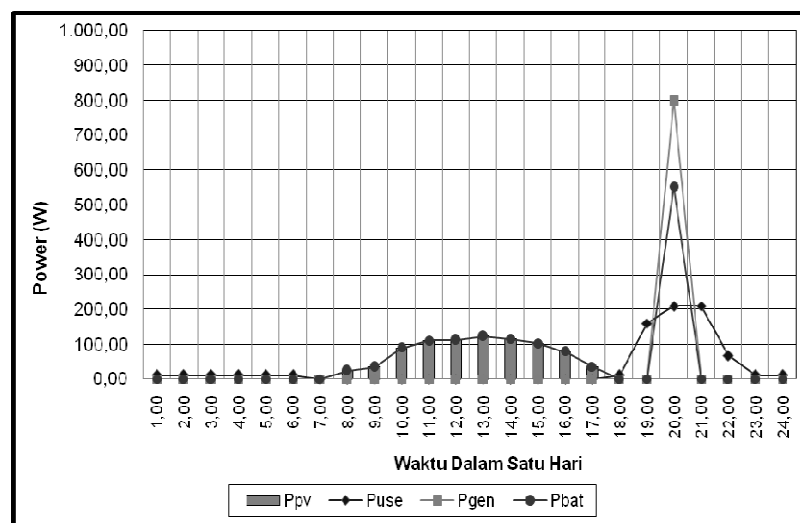


Gambar 5 Kurva karakteristik produksi energi oleh PV dan genset, serta kebutuhan energi harian pada pengujian sistem hibrid PV/Genset dalam interval waktu dua bulan (tanpa diesel generator).

Dengan mengacu pada skema mode siang hari dan malam hari pada pengujian sistem hibrid PV/Genset di TPA Bontang Lestari, maka representasi daya beban harian dan produksi energi yang dihasilkan oleh sumber energi listrik dinyatakan dalam kurva karakteristik produksi energi. Asumsi yang digunakan dalam kurva karakteristik ini, yaitu energi listrik yang dihasilkan oleh modul PV seluruhnya akan disimpan dalam baterai

(asumsi DOD baterai sekitar 60 %) dan kekurangan energi listrik untuk memenuhi beban harian selanjutnya akan di *back-up* menggunakan genset. Pengujian kinerja sistem hibrid PV/Genset ditunjukkan dengan membandingkan daya yang dihasilkan oleh modul PV dan genset yang dikombinasikan dengan baterai, seperti ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6.

Energi listrik rata-rata yang dihasilkan oleh modul PV dalam satu hari sekitar 822 Wh/hari yang tersimpan dalam baterai, jika DOD baterai sekitar 60 %, maka energi listrik yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban sekitar 493,2 Wh/hari. Dengan kata lain, masih terdapat kekurangan energi listrik untuk memenuhi beban sebesar 742 W/hari sekitar 248,8 Wh/hari yang akan dipenuhi oleh genset 1,3 kW yang dioperasikan tetap sebesar 0,8 kW dari jangkauan daya nominalnya dan kelebihan energi digunakan untuk mengisi baterai.



Gambar 6 Kurva karakteristik produksi energi oleh PV dan Diesel generator, serta kebutuhan energi harian pada pengujian sistem hibrid PV/Genset dalam interval waktu dua bulan (generator dinyalakan).

Parameter teknis produksi energi yang dihasilkan oleh sistem hibrid PV/Genset dievaluasi berdasarkan parameter-parameter : radiasi Matahari, suhu dan pengukuran keluaran listriknya. Kinerja sistem yang diinstalasikan di TPA Bontang Lestari Kota Bontang pada selang pengamatan antara 19 September – 8 November 2011 untuk dianalisis dan dievaluasi pada interval pengamatan 15 menit. Informasi lingkungan dan keluaran sistem yang diperoleh dari pengujian ini dirata-ratakan untuk setiap hari dalam tiap minggu pengamatan (sekitar dua bulan).

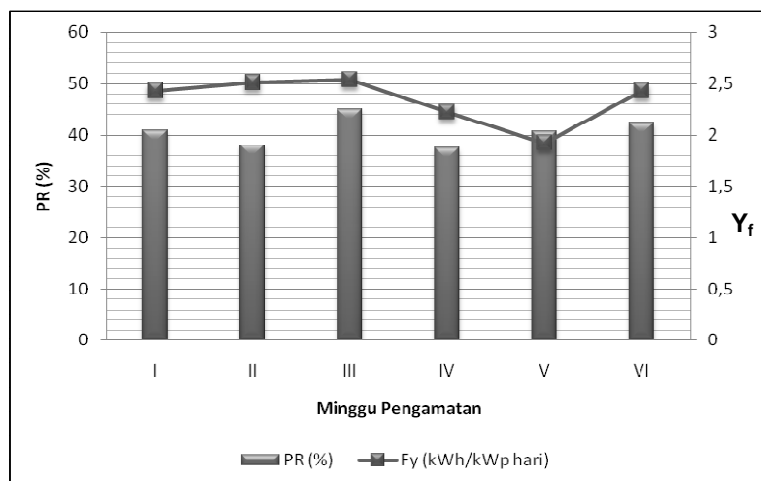
Hasil pengujian sistem hibrid PV/Genset selama dua bulan menunjukkan hasil sebagai berikut : produksi energi selama dua bulan dari modul PV sekitar 34,43 kWh yang tersimpan dalam baterai dengan total energi yang digunakan untuk mensuplai kebutuhan energi listrik sekitar 20,74 kWh, energi rata-rata total selama dua bulan yang dihasilkan genset sekitar 33,60 kWh yang bersesuaian dengan pengoperasian genset selama 1 jam dengan daya yang dioperasikan sekitar 0,8 kWh (hanya sekitar 60 % digunakan untuk memenuhi kekurangan daya listrik dari beban).

Dengan mengacu pada prosedur **IEA PVPS Task 2**, maka analisis teknis produksi energi sistem hibrid PV/Genset selama dua bulan pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil analisis produksi energi sistem hibrid PV/Genset di TPA Bontang Lestari

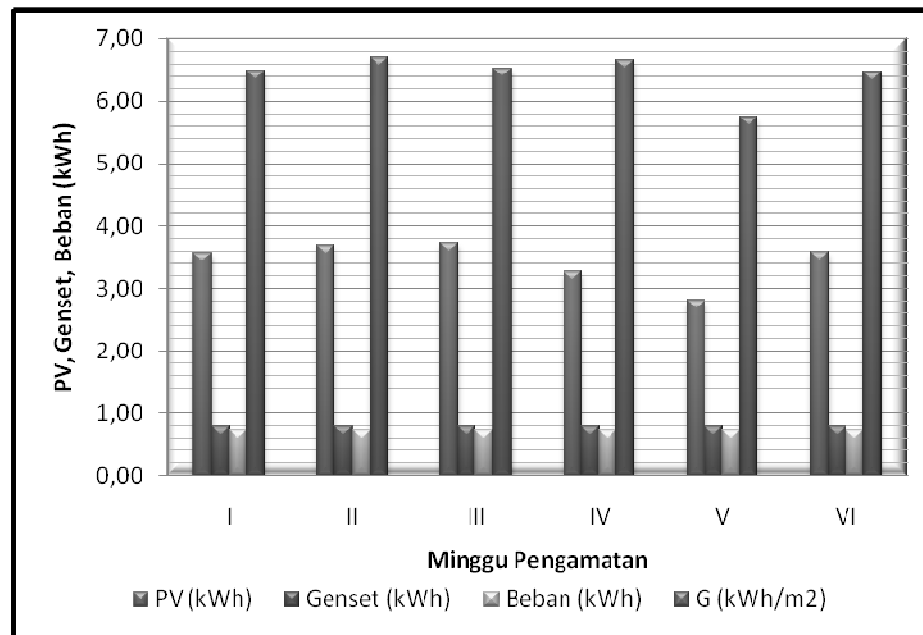
Minggu ke-	Irradiansi (kWh/m ²)	PV (kWh)	DG (kWh)	Beban (kWh)	Y _F (jam/hari)	PR (%)	Eff PV (%)
I	6,48	5,95	0,8	0,742	2,43	40,93	15,76
II	6,71	6,15	0,8	0,742	2,51	37,92	13,14
III	6,53	6,22	0,8	0,742	2,54	45,02	14,33
IV	6,66	5,45	0,8	0,742	2,22	37,54	13,27
V	6,74	4,69	0,8	0,742	1,92	40,71	14,25
VI	6,47	5,97	0,8	0,742	2,43	42,37	14,83
Rata-rata	6,43	5,74	0,8	0,742	2,34	40,75	14,26

Pengamatan yang dilakukan selama enam minggu menunjukkan bahwa radiasi Matahari rata-rata selama enam minggu sekitar 6,43 kWh/m², energi yang dibangkitkan oleh modul PV, diesel generator dan energi yang disuplai ke beban listrik ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 7 Hasil pengujian unjuk kerja sistem hibrid PV/Genset yang ditunjukkan oleh PR dan F_Y selama dua bulan

Berdasarkan prosedur analisis data teknis dari IEA PVPS Task 2, maka unjuk kerja sistem hibrid PV/Genset selama dua bulan menunjukkan bahwa *performance ratio* (PR) rata-rata sekitar 40,75 % yang menunjukkan sekitar 59,25 % dari nominal energi yang dibutuhkan tidak tersedia untuk mensuplai kebutuhan energi listrik. Kehilangan energi tersebut terjadi karena faktor pantulan, suhu modul PV yang terlalu tinggi, pengkabelan dan rugi-rugi akibat faktor konversi komponen PLTH, seperti ditunjukkan pada Gambar. 7. Secara keseluruhan hasil pengamatan menunjukkan hasil yang cukup baik dan sistem sudah bekerja sesuai yang diharapkan. Keseimbangan energi pada PLTH ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Keseimbangan energi sistem hibrid PV/Genset terhadap bulan pengamatan

KESIMPULAN

Pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa irradiansi rata-rata selama dua bulan sekitar 6.43 kWh/m^2 . Perbandingan antara energi matahari yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik terhadap energi nominal sistem yaitu $40,75\%$, ini berarti bahwa sisa energi nominal tersebut tidak tersedia untuk mensuplai energi, diantaranya diakibatkan oleh rugi-rugi akibat faktor konversi komponen sistem hibrid tersebut. Unjuk kerja sistem hibrid PV/Genset selama dua bulan sebagai berikut : produksi energi dari modul PV sekitar $34,43 \text{ kWh}$ yang tersimpan dalam baterai dengan total energi yang digunakan untuk mensuplai kebutuhan energi listrik sekitar $20,74 \text{ kWh}$, energi rata-rata total yang dihasilkan genset sekitar $33,60 \text{ kWh}$ yang bersesuaian dengan pengoperasian genset selama 1 jam dengan daya yang dioperasikan sekitar $0,8 \text{ kWh}$ (hanya sekitar 60% digunakan untuk memenuhi kekurangan daya listrik dari beban).

DAFTAR PUSTAKA

- Hacaoglu, F O., Gerek, O N., and Kurban, M. (2009). A Novel Hybrid (Wind-photovoltaic) System Sizing Procedure, *Solar Energy* 83 (2009) 2019 – 2028.
<http://ciptakarya.go.id>
 IEA-PVPS Task2 (2000). Analysis Photovoltaic System, Operational Performance of PV Systems and Subsystems, International Energy Agency Report IEA-PVPS T2-01 Australia.

- Ketjoy, N., (2004). Performance of PV-Diesel Hybrid System at the School of Renewable energy Technology, Technical Digest of the International PVSEC-14, Bangkok Thailand.
- Markvart, T. and Castaner, L. (2003). Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications, Elsevier Ltd UK.
- Ross, M. (2004). Bus Configuration in Hybrid Systems, Issue 7 Summer, Xantrex-Natural Resources Canada.
- Vega, Luis A. (2005). Wind/PV/Diesel Hybrid Village Power System in Hawaii and Fiji, [www.fdoe.gov.fj/ReportsRenewableEnergy/Article%20WindPV%20 Hybrids.pdf](http://www.fdoe.gov.fj/ReportsRenewableEnergy/Article%20WindPV%20Hybrids.pdf)