

# PV Hybrid Power System (PV-HPS): Solusi Alternatif Elektrifikasi Daerah Terpencil

DADAN HAMDANI<sup>1,2</sup>, KADEK SUBAGIADA<sup>1</sup>, LAMBANG SUBAGIYO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika FMIPA Mulawarman University, Samarinda, 75123

<sup>2</sup>Lab. Energy Alternatif FMIPA Mulawarman University, Samarinda, 75123

<sup>3</sup>Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Mulawarman University, Samarinda, 75123

**ABSTRAK:** Telah dikembangkan prototipe *Photovoltaic hybrid power system* PV-HPS. PV-HPS memadukan sumber energi konvensional (*diesel generator*) dan sumber energi terbarukan *photovoltaic* guna memasok tenaga listrik daerah pedesaan. Kajian utama penelitian ini adalah desain yang optimal dari tenaga PV-hybrid (PV-HPS) untuk menghasilkan energi listrik ramah dan mengurangi penggunaan generator diesel konvensional sehingga dapat mereduksi biaya operasi dan pemeliharaan. Di samping terjadi minimalisasi konsumsi bahan bakar, *PV-hybrid* dirancang untuk memberikan dampak positif bagi lingkungan. Mode operasi PV-HPS menunjukkan terjadinya sinergi pada masing-masing komponen sehingga dapat terpenuhi persyaratan sistem energi dan peningkatan operasional.

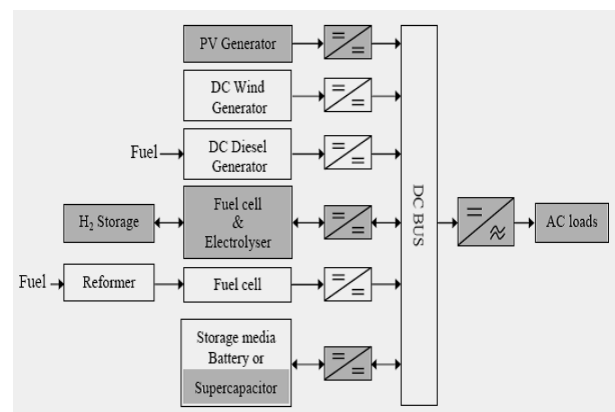
**KATA KUNCI :** *Photovoltaic, diesel generator, solar hybrid system, state of charge (SOC)*

## 1 PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi *Hybrid Power System* (HPS) yang menggabungkan berbagai sumber energi untuk menghasilkan sumber energi lebih besar sudah banyak dikaji, misalnya sistem hibrid PV/Diesel, angin/PV, PV/genset/baterai, PV/angin/diesel [1,2,3]. Gambaran prinsip kerja sistem didasarkan pada sistem *back up* penghematan bahan baku, dimana energi matahari dimanfaatkan dari pukul 06.00 hingga sekitar pukul 18.00, selanjutnya digunakan generator set untuk enam jam berikutnya. Sistem hibrid merupakan suatu solusi yang tepat untuk penanganan masalah kelistrikan daerah terpencil (*remote areas*), terutama yang berkaitan dengan penggunaan bahan bakar. Penggunaan mesin generator listrik akan memperkecil instalasi sistem PV, sedangkan penggunaan sistem PV akan mempersingkat waktu operasional generator set [4].

Dalam sistem hibrid, sejumlah generator daya (*photovoltaic*, *diesel*, dan sebagainya) dan komponen *storage* (penyimpanan)

dikombinasikan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Gambaran tentang prinsip kerja sistem hibrid yang melibatkan sumber energi konvensional dan sumber energi terbarukan (*renewable energy*) dijelaskan dengan meninjau sistem gabungan dari beberapa sumber energi dengan menggunakan sistem *storage* yang terhubung dengan *DC bus* yang selanjutnya menggunakan inverter DC – AC, seperti ditunjukkan pada gambar. 1 [5].



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

Terdapat dua tipe HPS, yaitu (1) sebagian dari total beban disuplai dari sumber listrik konvensional (diesel generator) yang bekerja secara terus menerus dengan sistem kontrol yang tidak terlalu rumit, (2) sebagian total beban disuplai dari sumber energi terbarukan (PV, angin, dsb) dan diesel generator dalam keadaan *stand-by*, dimana kontrol sistem cukup rumit [6]. Konfigurasi dari sistem Hibrid antara sistem PV dengan generator diesel dibedakan menjadi tiga, yaitu konfigurasi seri, paralel dan pensaklaran. Konfigurasi seri memiliki efisiensi keseluruhan sistem yang rendah dan memerlukan kapasitas penyimpanan energi listrik yang besar, sedangkan konfigurasi paralel dan pensaklaran lebih cocok untuk aplikasi pembebanan skala kecil, menengah atau besar [1, 5]. Ketiga mode tersebut diklasifikasikan sebagai berikut.

- PV array dengan inverter : operasi beban rendah.
- Generator diesel dan baterai dengan sumber energi listrik berasal dari generator diesel: operasi beban menengah.
- PV array dengan inverter dan generator diesel tersusun secara paralel : operasi beban tinggi.

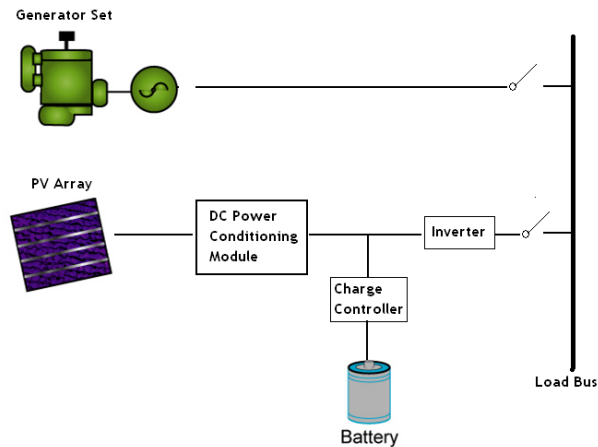
Dalam tulisan ini akan meninjau sistem konfigurasi dan operasi PV-HPS dengan meninjau desain optimal komponen sistem PV didasarkan pada penyusunan ukuran komponen sistem PV-HPS (profil beban, ukuran PV *array*, ukuran baterai, ukuran charge controller, ukuran diesel generator dan ukuran inverter), produksi energi, dan keseimbangan energi sistem.

## 2 METODOLOGI PENELITIAN

### Perancangan Konfigurasi PV-HPS

Skema perancangan sistem PV-HPS ditunjukkan pada gambar 2. Skema perancangan sistem PV-HPS dibagi menjadi dua, yaitu mode siang hari dan mode malam hari. Pada skema siang hari energi listrik

disuplai dari modul PV yang sebagian digunakan untuk konsumsi energi pada siang hari (06.00 – 18.00), sekaligus digunakan untuk mengisi baterai, sedangkan model malam hari (beban puncak antara pukul 18.00 – 22.00) digunakan baterai dan diesel generator set, serta kelebihan energi digunakan untuk mengisi baterai.



**Gambar 2.** Skema perancangan dan implementasi PV-HPS

### Ukuran Komponen PV-HPS

Optimasi sistem didasarkan pada penentuan profil beban dan keseimbangan energi (balance of energy) yang dihasilkan oleh PV-HPS dengan energi yang digunakan, hal ini akan menjamin kelanjutan dalam pemanfaatan energi terbarukan ini. Selain terkait dengan keseimbangan energi, optimasi sistem dilakukan untuk menekan biaya investasi PV-HPS [1].

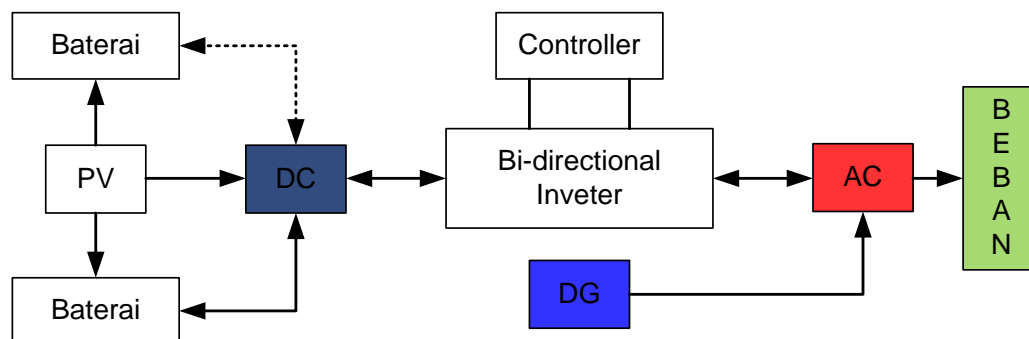
Prosedur penentuan ukuran komponen PV-HPS sebagai berikut :

- Profil Beban** : pendataan kebutuhan energi listrik harian didasarkan pada kebutuhan yang disesuaikan dengan produksi energi yang dihasilkan oleh PV-HPS. Tabel.1 menunjukkan contoh profil beban untuk rumah tangga skala kecil.
- Ukuran PV *array*** : penentuan ukuran PV sangat menentukan produksi energi listrik yang dihasilkan yang didasarkan pada jangkauan energi modul PV, karakteristik listrik PV, dan jumlah modul yang diinstalasikan.

**Tabel 1.** Profil beban yang disuplai oleh PV-HPS

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
<b>Total</b>				<b>286</b>	<b>742</b>

- c) **Ukuran baterai** : pada saat udara dalam keadaan mendung, energi listrik akan disuplai dari baterai, sehingga penentuan ukurannya harus didasarkan pada hari autonomi (kondisi tanpa Matahari), biasanya ditetapkan dua atau tiga hari [Messenger and Ventre, 2005]
- d) **Charge controller** : Pemilihan charge controller didasarkan pada tegangan operasional baterai dan tidak melebihi laju pengisian maksimum baterai.
- e) **Diesel Generator** : Penentuan ukuran diesel generator didasarkan pada waktu beban puncak (18.00 – 21.00) dari daya listrik yang dibutuhkan, yaitu sekitar 577 W.
- f) **Inverter** : Ukuran inverter yang digunakan tergantung pada daya puncak beban yang harus disuplai, sehingga dapat digunakan *bidirectional inverter* DC/AC 1kW.

**Gambar 3.** Blok skema PV-HPS dengan diesel generator dalam keadaan *standby*.

### Skema Pengujian Unjuk Kerja PV-HPS

Skema pengujian PV-HPS untuk penerapan skala kecil dilakukan dengan menginstalasi komponen PV-HPS, seperti ditunjukkan pada Gambar. 3. Simulasi unjuk kerja PV-HPS dilakukan dengan menggunakan dua skema, yaitu mode siang hari dan 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 PV-HPS didasarkan pada profil beban pada Tabel.1 yang dikontrol dengan mengintegrasikan PLC (*programmable logic controller*) Omron CPM1A dengan I/O 10 dengan asumsi beban puncak terjadi pada pukul 18.00 – 21.00.

Pengoperasian diesel generator 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.

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

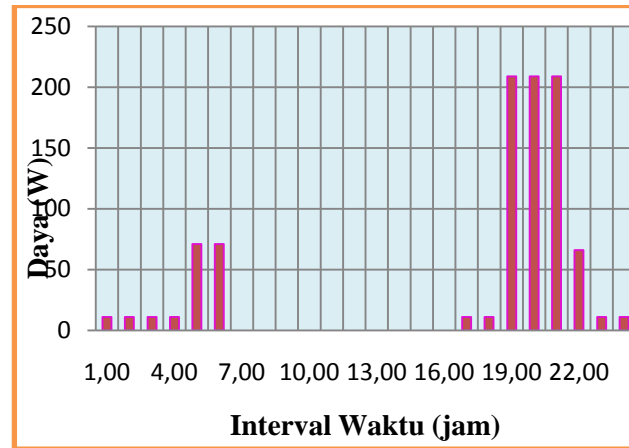
Skema perancangan prototipe PV-HPS merupakan sistem modular yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dengan sumber energi yang diperoleh dari penggabungan dua sumber energi atau lebih, seperti ditunjukkan pada Gambar.4. Skenario pengujian PV-HPS didasarkan pada profil beban yang menunjukkan perkiraan konsumsi energi listrik harian yang dirancang 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.5.

Penentuan ukuran PV-HPS yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan energi listrik sangat berkaitan dengan ukuran komponen yang digunakan dan biaya investasi yang harus dikeluarkan, terutama modul PV dan baterai.



**Gambar 4.** Prototipe PV-HPS dan komponennya

Berdasarkan profil beban kebutuhan energi skala kecil dan komponen biaya yang harus dikeluarkan, maka penentuan ukuran PV-HPS difokuskan jumlah PV dan baterai yang ditentukan menggunakan prosedur. [7].



**Gambar 5.** Profil beban pada pengujian PV-HPS

#### Penentuan ukuran dan jumlah modul PV (BP Solar 350J)

Total energi yang dibutuhkan untuk mensuplai beban sekitar 742 Wh, jika digunakan diesel generator 1.8 kW yang dioperasikan sekitar 20 % dari jangkauan daya nominalnya selama 1 jam diperoleh sekitar 360 Wh, maka energi yang harus disuplai oleh modul PV sekitar 382 Wh. Penentuan ukuran dan jumlah modul PV secara empiris didasarkan pada persamaan keseimbangan energi dinyatakan sebagai [6]:

$$P_{PV} = \frac{P_{TL} \cdot SF}{PSH} \tag{1}$$

dengan  $P_{TL}$  total daya yang digunakan beban (kWh) selama periode 24 jam, SF (*safety factor*) sekitar 1.5 untuk cuaca berawan, PSH (*peak sun hours*) energi Matahari yang diterima dalam satu hari bernilai sekitar 6.1 kWh/hari (Wilayah Samarinda Kalimantan Timur).

Sedangkan jumlah modul PV yang harus diinstalasikan dalam PV-HPS dinyatakan dengan persamaan:

$$N = \frac{P_{PV}}{P_{STC}} \tag{2}$$

dimana  $P_{STC}$  daya modul pada kondisi standar (STC, *standard test conditions*).

Berdasarkan kebutuhan energi harian yang harus disuplai oleh PV, maka berdasarkan hasil estimasi menggunakan persamaan (1) dan (2) untuk modul PV BP Solar 350 J dengan jangkauan daya nominal 50 W<sub>P</sub> diperoleh jumlah modul PV yang harus diinstalasikan, seperti ditunjukkan pada Tabel.2.

**Tabel.2** Jumlah modul PV standar pada aplikasi PV-HPS

Energi beban (Wh)	Jumlah modul PV 50 $W_P$
300	2
450	3
900	5
1200	6

#### Penentuan ukuran dan jumlah baterai

Baterai berfungsi dalam PV-HPS berfungsi untuk mensuplai energi listrik pada saat kondisi udara mendung (penyinaran Matahari rendah) berdasarkan hari autonomi sekitar dua atau tiga hari. Penentuan kapasitas dan jumlah baterai yang diperlukan untuk mensuplai energi listrik harian dinyatakan dengan Ah [6]:

$$Ah = \frac{P_{TL}}{(12V * SOC)} \quad (3)$$

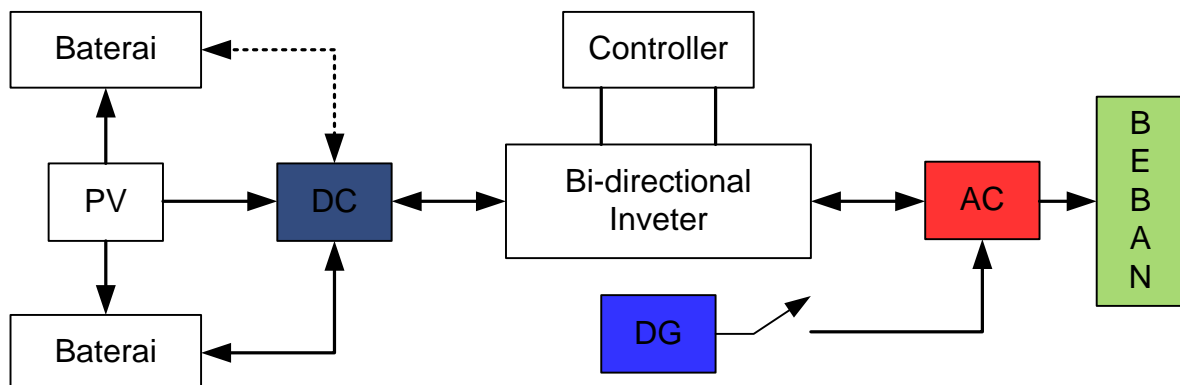
dengan SOC (*state of charge*) baterai diasumsikan sekitar 30 %, maka desain ukuran baterai untuk aplikasi PV-HPS untuk berbagai profil beban dinyatakan pada Tabel.3

**Tabel 3.** Kapasitas baterai pada aplikasi PV-HPS

Energi beban (Wh)	Kapasitas baterai (Ah)
300 - 450	150 Ah
900	250 Ah
1200	300 Ah

Dengan menggunakan hasil perkiraan ukuran modul PV dan baterai dalam aplikasi PV-HPS, maka desain sistem berdasarkan profil beban yang diberikan diperoleh bahwa untuk sistem dengan kebutuhan energi harian sekitar 742 Wh disuplai dari diesel generator sekitar 360 Wh, sedangkan sisanya disuplai dari tiga modul PV BP Solar 350 J yang disusun secara seri. Jika hari autonomi (hari tanpa penyinaran Matahari) sekitar dua hari, maka jumlah baterai yang diperlukan sekitar 2 x 150 Ah dengan kapasitas baterai @ 50 Ah-12V.

Skema mode siang hari pada pengujian unjuk kerja PV-HPS bertumpu pada suplai energi yang dihasilkan oleh modul PV, dimana berdasarkan hasil monitoring menunjukkan bahwa radiasi Matahari maksimum pada pukul 12.30, sehingga sistem bekerja menggunakan mode inverter yang akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi siang hari dan kelebihan energi yang disuplai modul PV digunakan mengisi baterai dan diesel generator berada dalam keadaan off, seperti ditunjukkan pada gambar 5. Pemakaian energi pada waktu siang hari relatif kecil, sehingga energi yang dihasilkan hanya untuk mengisi baterai yang digunakan untuk *back-up* energi pada saat beban puncak.

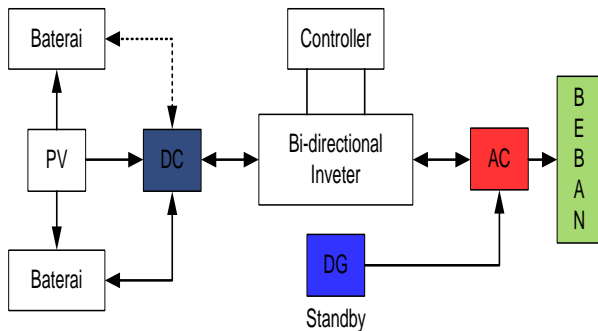


**Gambar 6.** Skema mode siang hari

Beban puncak terjadi antara pukul 18.00 – 22.00 Wita, dimana hampir semua pemakaian digunakan (Tabel.1), sehingga hampir sekitar 677 Wh energi yang dibutuhkan. Skema untuk simulasi malam hari menggunakan baterai yang diisi pada saat pengoperasian

mode siang hari untuk beban normal dan *back-up* generator set sekitar 360 Wh yang dioperasikan pada saat beban puncak, seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Inverter pada simulasi ini dioperasikan pada *charge mode*,

dimana selain digunakan untuk mensuplai energi listrik, genset digunakan untuk mengisi baterai yang digunakan untuk pemakaian sampai pagi hari.



**Gambar 7.** Skema mode malam hari.

#### 4 KESIMPULAN

Penerapan sistem hibrid dengan memadukan sumber energi konvensional (*diesel generator*) dan sumber energi terbarukan *photovoltaic* PV dapat dijadikan sebagai solusi masalah elektrifikasi di daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik. Terdapat beberapa keuntungan yakni peningkatan daya keluaran yang dihasilkan, penurunan biaya bahan bakar dan memperpanjang masa operasi komponennya. Dengan melakukan identifikasi terhadap profil beban yang digunakan, maka desain *Photovoltaic hybrid power system* (PV-HPS) yang bertumpu pada ukuran komponen dapat diperkirakan, terutama pada komponen PV dan baterai. Pengujian prototipe PV-HPS dengan menggunakan mode siang hari dan malam hari dilakukan untuk menguji kesinergian komponen sistem dalam menghasilkan daya listrik dalam mensuplai beban.

#### 5 DAFTAR RUJUKAN

- [1] Ketjoy, Nipon (2004). *Performance of PV-Diesel Hybrid System at the School of Renewable energy Technology*, Technical Digest of the International PVSEC-14, Bangkok Thailand.
- [2] Hesami, Mir-Akbar, (2006). *Designing a Hybrid Wind and Solar Energy Supply System for a Rural Residential Building*, International Journal of Low Carbon Technologies Australia.
- [3] Swingler, Andrew and Edmunds, Mark (2007). *PV/Genset/Battery Hybrid Power. For The Remote Home : Cost Sensitivities*

and *The Demonstration at Xenigwet'in*. <http://www.cetc-varennas.nrcar.ca/fichier.php/codetec2007/>

- [4] Muselli, M, Notton, G and Louche, A (1999). *Design of Hybrid-Photovoltaic Power Generator, With Optimization of Energy Management*, J.Sol.Energy, 65, pp 143-157.
- [5] Strauss, P, et al (2000). Stand-alone AC PV Systems and Micro Grids with New Standard Power Components, First Results of Two European Joule Projects PV – MODE and MORE, 16th EPVSEC, Glasgow, UK, pp.2613-2617
- [6] Singh, S N. and Singh, A K. (2010). Optimal Design of A Cost Effective Solar Home Power System – An Alternative Solution to DG for Grid Deprived Rural India, Int. J. Of Research and Reviews in Applied Sciences, Vol.2, Issue 1, ISSN 2076-734X
- [7] Series in Renewable Energy Systems Technology Solar Power (CREST). Unit 7 :*Photovoltaic Systems*, <http://helios.teiath.gr/patheogk/PVSYSTEMS.pdf>, 2000, p.36.
- [8] Messenger, R A. and Ventre, J. (2005). *Photovoltaic Systems Engineering*, Second Edition, CRC Press LLC Boca Raton.