

## MANAJEMEN HYBRID PHOTOVOLTAIC SYSTEM DENGAN MEMANFAATKAN PERAMALAN BEBAN DAN PENYINARAN MATAHARI

Andi Setiawan<sup>1</sup>

**Abstract** – Sebuah pemodelan sistem pembangkit surya yang digabungkan pengoperasiannya dengan grid telah dimodelkan dan disimulasikan dengan skala ukuran laboratorium. Sistem ini direncanakan akan bekerja dengan pengaturan smart switch berbasis jaringan saraf tiruan (JST) dengan menggunakan data peramalan radiasi matahari dipadukan dengan pola beban dan data kondisi state of charge (SOC) baterai. Sampai laporan ini dibuat, model sistem telah diuji dan hasilnya sudah dianggap cukup memadai untuk kemudian nantinya dikembangkan menjadi mikrogrid dengan pengaturan smart switch JST. Langkah penelitian selanjutnya adalah menemukan cara untuk melatih JST dengan data-data pelatihan agar nantinya sistem dapat bekerja sesuai yang direncanakan.

**Keywords:** Microgrid, renewable energy, hybrid, neural network

### I. Pendahuluan

Untuk sistem energi surya fotovoltaik (SESF) yang dioperasikan secara hibrid atau dipadukan dengan sumber energi lain, khususnya jaringan listrik yang disediakan oleh penyedia tenaga listrik (*grid*), skenario *smart grid* (SG) dan *demand side management* (DMS) hampir merupakan sebuah keharusan karena hal ini akan sangat menjamin pengoperasian sistem yang lebih optimum.

Salah satu implementasi DMS pada SESF hibrida adalah melengkapi operasi sistem dengan proses otomatisasi, penyambungan dan pemutusan *grid* dari SESF dengan mempertimbangkan beberapa faktor. Switch yang didesain dengan sistem seperti ini umumnya diistilahkan dengan *smart switch*.

Pada *grid* yang menggunakan tarif blok atau pembagian tarif pada periode-periode yang sudah ditetapkan, keberadaan *smart switch* yang mempertimbangkan masalah ini menjadi lebih penting untuk menghindarkan SESF mengambil daya dari *grid* pada periode tarif tinggi. Pada akhirnya skenario ini akan menghasilkan tingkat pengembalian investasi sistem dengan cara menekan biaya operasional sistem secara keseluruhan.

Dalam penelitian yang ini dirancang sebuah *smart switch* berbasis peramalan pencahayaan matahari yang dipadukan dengan data kondisi riil state of charge (SOC) baterai dan data pola beban. Tujuan utama dari penerapan sistem ini adalah untuk menghindari penyerapan daya dari *grid* pada periode tarif tinggi.

### II. Tinjauan Pustaka

Penelitian ini dilakukan dengan membangun sistem simulasi dengan dari serangkaian model-model

komponen sistem yang sudah dibangun dengan menggunakan MATLAB.

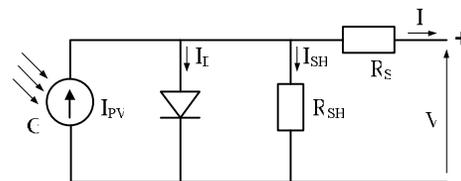
Diasumsikan bahwa *grid* menerapkan pembagian tarif pada beberapa periode dengan ketat dan dilengkapi dengan meter pengukur energi dan biayanya pada setiap periode waktu. Di samping itu, diasumsikan juga bahwa sistem memiliki penghitung SOC baterai untuk mengetahui kondisi SOC pada setiap saat.

Peramalan dilakukan dengan menggunakan algoritma jaringan saraf tiruan (JST) dengan beberapa skenario *learning* (pembelajaran) yang berbeda untuk mendapatkan peramalan terbaiknya.

Pengujian akan dilakukan dengan cara membandingkan penghematan biaya energi dari *grid* pada setiap skenario yang diterapkan.

#### 2.1 Model PV Array

Model larik surya (PV array) dalam penelitian ini menggunakan model modul PV yang dikembangkan oleh (Villalva dkk., 2009) seperti yang ditunjukkan dalam Gbr. 1.



Gbr. 1. Model PV Module/Array Single Diode

Model matematik untuk modul PV dengan satu diode dan dua resistansi ini sebagaimana ditunjukkan dalam Pers. 1 dan Pers. 2.

$$I = I_{PV} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{V + I \cdot R_S}{A \cdot V_T}\right) - 1 \right] - \left(\frac{V + I \cdot R_S}{R_{SH}}\right) \dots\dots\dots \text{Pers. 1}$$

Dengan:

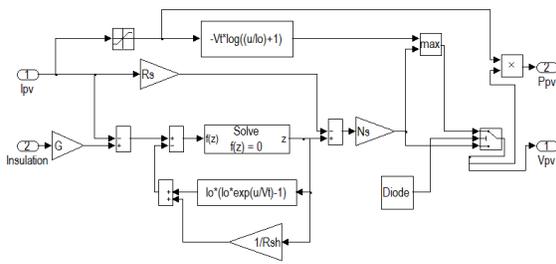
- A : Ideality factor
- I : Arus yang dihasilkan PV
- I<sub>0</sub> : Arus bias balik diode pada saat terjadi saturasi adalah arus yang dibangkitkan oleh modul PV karena pencahayaan matahari.
- I<sub>PV</sub> : Tegangan terminal PV
- V : adalah tegangan yang dipengaruhi oleh suhu modul PV
- V<sub>T</sub> : Model resistansi seri
- R<sub>S</sub> : Model resistansi paralel
- R<sub>SH</sub> :

$$V_T = \frac{N_S \cdot k \cdot T}{q} \dots\dots\dots \text{Pers.2}$$

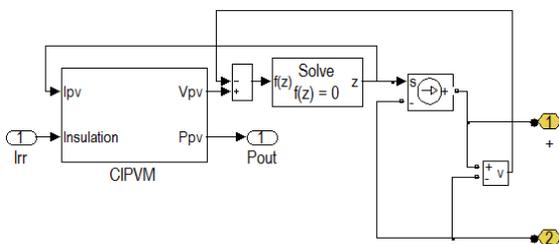
Dengan:

- T : Temperatur modul
- N<sub>S</sub> : Jumlah sel seri dalam modul
- k : Konstanta Boltzman
- q : Muatan elektron

Model ini diimplementasikan dalam MATLAB Simulink oleh (Gobi, 2010), seperti terlihat dalam Gbr 2, dan dimodifikasi untuk dapat dirangkaikan dengan komponen *simpowersystem* oleh (Setiawan A., 2014) sebagaimana ditunjukkan dalam Gbr. 3.



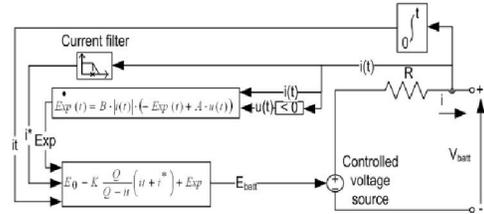
Gbr. 2. Implementasi Model PV Module Single Diode ke dalam Matlab Simulink



Gbr. 3. Modifikasi Model PV ke Simpowersystems Model.

## 2.2 Model Batere

Model batere yang digunakan dalam pemodelan sistem ini adalah model yang dikembangkan oleh (O. Tremblay dan L.A. Dessaint, 2009) dan sudah diimplementasikan dalam SimPowersystems model dalam MATLAB, sebagaimana diperlihatkan dalam Gbr. 4.



Gbr. 4. Rangkaian Ekivalen Model Tremblay dalam MATLAB

$$V_{batt} = E_0 - K \frac{Q}{it - 0.1Q} i^* - K \frac{Q}{Q - it} it + Exp(t) \dots\dots\dots \text{Pers.3}$$

$$V_{batt} = E_0 - Ri - K \frac{Q}{Q - it} (it + i^*) + Exp(t) \dots\dots\dots \text{Pers.4}$$

Dengan:

- V<sub>batt</sub> : Tegangan batere (V)
- E<sub>0</sub> : Tegangan konstan batere (V)
- K : Konstanta polarisasi (V/Ah) atau resistansi polarisasi (Ω)
- Q : Kapasitas batere (Ah)
- it = ∫ i dt : Muatan batere aktual (Ah)
- A : Amplitude zona eksponensial (V)
- B : Konstanta waktu zona eksponensial (Ah<sup>-1</sup>)
- R : Resistansi internal (Ω)
- i : Arus batere (A)
- i\* : Arus terfilter (A)

## 2.3 Model Jaringan Saraf Tiruan

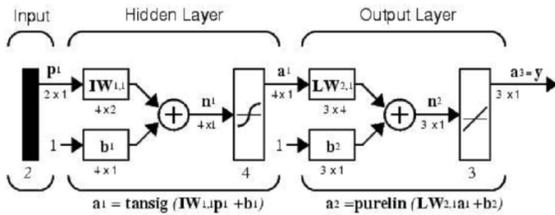
Jaringan saraf tiruan (JST) adalah salah satu model fungsi kecerdasan buatan yang dapat digunakan untuk pengenalan pola dan memprediksi output sebuah sistem.

Kegiatan pengembangan model dengan menggunakan JST dilakukan dengan beberapa tahap (langkah) yaitu (Mark Hudson dkk., 2014):

- Pengumpulan data
- Membangun jaringan (network)
- Konfigurasi jaringan
- Inisialisasi pembobot dan bias

Pelatihan jaringan  
Validasi jaringan  
Penggunaan jaringan

Salah satu model JST yang sudah disediakan dalam MATLAB ToolBox adalah model *multilayer network* seperti yang terlihat dalam Gbr. 5.



Gbr. 5. Multilayer Network Model dalam MATLAB

Model ini dapat digunakan sebagai general function estimator dengan cara memberikan jumlah neurons yang sesuai pada *hidden layer*.

Sebelum memulai proses perancangan JST, kegiatan yang penting adalah pengumpulan dan penyiapan data sample karena JST hanya dapat bekerja akurat dengan data pelatihan yang baik. Hal ini menjadi penting JST akan dapat dilatih untuk menjeneralisasi dalam range data yang sudah dilatihkan. JST tidak memiliki kemampuan ekstrapolasi yang akurat di luar range sehingga sangat penting untuk memastikan bahwa JST dilatih dengan data full range (Mark Hudson dkk., 2014).

Pemilihan fungsi pengolahan input-ouput juga penting untuk menjamin agar JST bekerja dengan efisien.

Sebagai contoh, dalam sebuah JST multilayer, fungsi transfer sigmoid umumnya digunakan pada hidden layer. Fungsi ini bisa menjadi jenuh jika inputnya lebih besar dari 3 ( $\exp(3) \cong 0.05$ ). Jikalau ini terjadi pada awal proses pelatihan (training) gradiennya akan sangat kecil dan pelatihan akan sangat lambat. Pada layer pertama dari JST, input adalah hasil perkalian dari input dengan pembobot ditambah dengan bias. Jika input sangat besar, pembobot harus sangat kecil untuk mencegah fungsi transfer menjadi jenuh. Dalam praktiknya, input biasanya dinormalisasi sebelum dimasukkan ke jaringan. (Mark Hudson dkk., 2014).

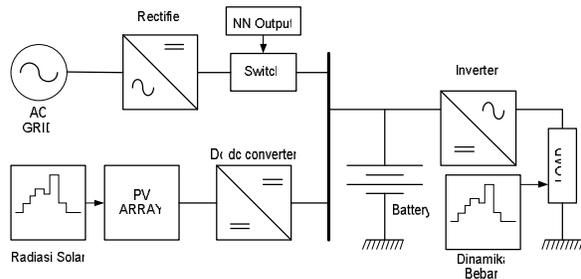
### III. Metodologi

Karena tujuan utama dari penelitian ini adalah membuat sebuah model mikrogrid atau sistem PV hibrid dengan grid yang menggunakan kontroller untuk mengatur switch yang menghubungkan sistem PV ke grid untuk menghindari biaya tinggi yang diakibatkan oleh penyerapan daya grid pada saat tarif

tinggi maka langkah pertama dalam penelitian ini adalah membangun model sistem.

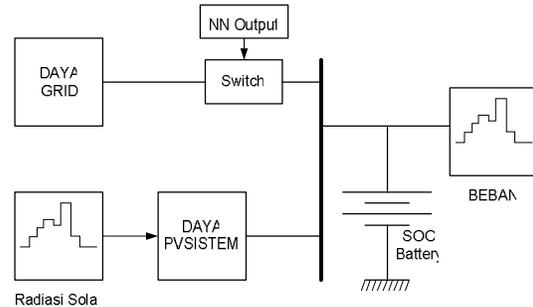
### 3.1 Pemodelan dan Konfigurasi Mikrogrid

Secara detail, sistem mikrogrid yang akan disimulasikan dalam penelitian ini adalah sebagaimana terlihat dalam Gbr. 6.



Gbr. 6. Blok Diagram Mikrogrid

Untuk menyederhanakan pemodelan dan menitikberatkan pada tujuan penelitian ini, maka blok diagram dari sistem dalam Gbr. 6 disederhanakan menjadi seperti terlihat dalam Gbr.7.



Gbr. 7. Penyederhanaan Blok Diagram Gbr.6.

Dalam Gbr. 7, blok sumber AC grid dan rectifier dijadikan satu blok sehingga grid dimodelkan menjadi sebuah blok sumber DC dengan tegangan yang disesuaikan dengan tegangan bus DC keluaran dari sistem PV. Antara grid dengan bus DC dipisahkan dengan sebuah switch yang diatur dengan kontroller JST.

Daya PV sistem adalah daya keluaran dari PV array yang besarnya tergantung pada pencahayaan matahari yang dalam blok di atas digambarkan dengan blok Radiasi Solar. Daya keluaran PV array adalah daya DC dengan tegangan yang disesuaikan dengan tegangan bus DC.

Blok batere adalah model batere yang sudah diimplementasikan dalam model Simpowersystem dalam MATLAB dengan parameter yang disesuaikan dengan asumsi dan hasil perhitungan ukuran sistem.

Beban dalam blok diagram Gbr. 6 digambarkan dengan beban-beban yang terhubung pada output dari inverter sehingga dalam Gbr. 7 beban-beban ini digambarkan dengan nilai variasi daya dari sebuah blok beban DC.

### 3.2 Perhitungan Ukuran Sistem

Perhitungan ukuran sistem dimulai dengan terlebih dahulu mengasumsikan variasi daya beban yang mungkin terjadi pada sistem mikrogrid.

Diasumsikan bahwa mikrogrid mencatu beban yang merupakan sebuah utilitas yang memiliki beban-beban yang hanya menyala siang hari pada hari-hari tertentu dan menyala pada siang dan malam hari pada hari yang lain. Sistem beban ini juga memiliki beban-beban yang hanya menyala pada malam hari saja. Untuk lebih menyederhanakan permasalahan, diasumsikan bahwa mikrogrid adalah sistem yang mencatu sebuah perkantoran dan beban-beban dikelompokkan menjadi empat kelompok pola beban harian sebagaimana terlihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Asumsi Beban (Skala Lab)

Rentang Waktu		Daya Rata-rata (W)		
		Hari Kerja Biasa	Hari Kerja Akhir Bulan	Hari Libur
0:00	1:00	8.4	8.4	8.4
1:00	2:00	8.4	8.4	8.4
2:00	3:00	8.4	8.4	8.4
3:00	4:00	8.4	8.4	8.4
4:00	5:00	8.4	8.4	8.4
5:00	6:00	4.2	4.2	4.2
6:00	7:00	4.2	4.2	4.2
7:00	8:00	19.2	20.2	4.2
8:00	9:00	19.2	20.2	4.2
9:00	10:00	19.2	20.2	4.2
10:00	11:00	19.2	22.2	4.2
11:00	12:00	20.4	22.2	4.2
12:00	13:00	20.4	22.2	4.2
13:00	14:00	20.4	22.2	4.2
14:00	15:00	20.4	28.6	4.2
15:00	16:00	28.6	28.6	4.2
16:00	17:00	28.6	28.6	4.2
17:00	18:00	28.6	28.6	4.2
18:00	19:00	12.8	28.6	8.4
19:00	20:00	8.4	28.6	8.4
20:00	21:00	8.4	28.6	8.4
21:00	22:00	8.4	28.6	8.4
22:00	23:00	8.4	8.4	8.4
23:00	0:00	8.4	8.4	8.4
Energi per Hari (Wh)		349.4	445.4	147

Dalam Tabel 1 juga diperlihatkan asumsi kebutuhan energi untuk tiga pola hari yang berbeda tersebut. Terlihat bahwa kebutuhan energi terbesar adalah pada hari kerja akhir bulan yaitu sebesar 445.4Wh.

Perhitungan ukuran sistem yang akan digunakan untuk membangun PV sistem dan daya sumber grid didasarkan pada asumsi kebutuhan energi ini.

Daya watt-peak yang dibutuhkan untuk membangun PV array dihitung sebagai;

$$WP_{Array} = \frac{E_{Load}}{4.5} \text{ (watt - peak)} \dots\dots\dots \text{Pers.5}$$

Dengan:

- $WP_{Array}$  : Daya puncak (watt-peak) dari PV array
- $E_{Load}$  : Kebutuhan energi beban dalam satu hari
- 4.5 : Asumsi jam penyinaran efektif matahari

Kapasitas batere (Ah) dihitung dengan menggunakan Pers. 6.

$$Ah_{Batt} = \frac{E_{Load}}{12} \text{ (Ah)} \dots\dots\dots \text{Pers.6}$$

Dengan:

- $Ah_{Batt}$  : Daya puncak (watt-peak) dari PV array
- 12 : Tegangan bus DC pada sistem yang direncanakan yaitu 12V

Dalam penelitian ini digunakan parameter modul PV IS110P (Setiawan A., 2014) dan betere SGL100 (Setiawan A., 2013) sebagai modul penyusun sistem.

### 3.3 Data Peramalan

Sebagai data radiasi matahari digunakan data sebagaimana terlihat dalam Tabel 2. yang merupakan data peramalan penyinaran matahari pada lokasi 113°42' Lintang Selatan dan 8°10' Bujur Timur yang merupakan lokasi Kabupaten Jember (NASA, 2013).

Tabel 2. Data Radiasi Matahari NASA

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m <sup>2</sup> /d)
January	0.475	5.14
February	0.486	5.27
March	0.534	5.61
April	0.578	5.62
May	0.61	5.39
June	0.593	4.95
July	0.602	5.14
August	0.616	5.73
September	0.618	6.27
October	0.575	6.13
November	0.529	5.7
December	0.513	5.52
Average Daily Radiation		5.539

Data dalam Tabel 2 ini yang akan digunakan untuk memprediksi perolehan energi dari PV array pada siang hari dan akan ditambahkan dengan sisa energi yang tersimpan dalam batere (SOC) dan

dibandingkan dengan kebutuhan energi beban pada hari dengan pola beban seperti terlihat dalam Tabel 1.

Data-data ini kan dijadikan data pelatihan pada kontroler JST dan akan digunakan untuk memutuskan seberapa banyak jumlah energi yang akan diambil pada waktu di luar tarif beban puncak (tarif tinggi).

### 3.4 Pengujian Sistem

Pengujian akan dilakukan pada setiap tahapan pekerjaan penelitian. Pengujian pertama yang akan dilakukan adalah setelah sistem simulasi yang berisi rangkaian komponen sistem dibuat.

Pengujian ini dimaksudkan untuk melihat apakah sistem sudah bekerja sesuai dengan yang diharapkan dan siap digunakan untuk menghasilkan data yang diperlukan untuk melatih kontroler JST yang akan dibuat.

Pengujian sistem pada tahap selanjutnya adalah setelah kontroler JST berhasil dibuat dan digabungkan dengan sistem. Pengujian ini untuk melihat unjuk kerja kontroler JST melakukan kerja pengaturan switch dan menghitung penghematan biaya yang dilakukan dengan variasi tarif blok yang diterapkan.

## IV. Hasil dan Diskusi

Sampai laporan ini dibuat, tahapan pekerjaan penelitian sudah sampai pada pembuatan simulasi sistem dengan menggunakan data asumsi beban dan hasil perhitungan ukuran sistem yang diperlukan.

### 4.1 Model PV Array

Hasil perhitungan kebutuhan PV array untuk sistem dengan asumsi beban seperti dalam Tabel 1 adalah sebagai berikut:

$$WP_{Array} = \frac{445.4 Wh}{4.5} \cong 100 \text{ watt - peak} \quad \dots\dots \text{Pers.7}$$

Tabel 3. Parameter Modul PV IS110P

Model Parameter	Nilai
Voltage at Pmax	16.93 V
Open Circuit Voltage	20.9 V
Current at Pmax	6.05 A
Short Circuit Current	6.53 A

Karena dalam pemodelan ini akan digunakan parameter modul IS110P dengan tegangan nominal 12V dan daya nominal 110 watt-peak yang sudah diverifikasi dalam penelitian sebelumnya (Setiawan A., 2014), dan menghasilkan parameter sebagaimana terlihat dalam data Tabel 3, maka untuk memenuhi kebutuhan ukuran sistem parameter PV array dihitung sebagai berikut:

$$Jumlah \ Modul = \frac{100}{(16.93)(6.05)} \cong 1 \text{ modul} \quad \dots \text{Pers.8}$$

### 4.2 Model Bank Batere

Ah batere yang dibutuhkan untuk penyimpanan adalah:

$$Ah_{Batt} = \frac{445.4 Wh}{12} \cong 37 Ah \quad \dots\dots\dots \text{Pers.9}$$

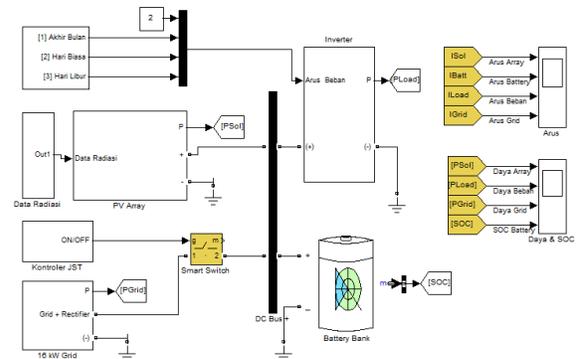
Parameter batere bank yang akan digunakan dalam simulasi skala laboratorium ini adalah sebagaimana terlihat dalam Tabel 4.

Tabel 4. Parameter Blok Batere

Block Parameters	Value
Battery Type	Lead Acid
Nominal Voltage (V)	12
Rated Capacity (Ah)	37
Initial State of Charge (%)	40
Maximum Capacity (Ah)	38.2
Fully Charge Voltage (V)	13.06
Nominal Discharge Current (A)	7.4
Internal Resistance (ohm)	0.00324
Capacity (Ah) @ Nominal Voltage	11.4803
Exponential Zone Voltage (V)	12.217
Capacity (Ah) @ Exponential Zone	0.12333

### 4.3 Model Sistem

Secara keseluruhan, model sistem yang direncanakan adalah sebagaimana terlihat dalam Gbr 8.



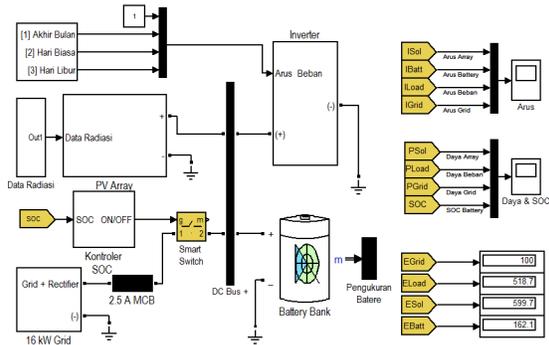
Gbr. 8. Model Sistem yang Direncanakan

Sampai tulisan ini dibuat, pengujian yang dilakukan adalah pada tahap menguji rangkaian PV array dan Model Grid yang diuji dengan menggunakan beban dinamis selama satu hari dengan input data radiasi selama satu hari. Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah model sudah bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Dengan kata lain

apakah model sudah bekerja mewakili sistem yang sebenarnya.

#### 4.4 Hasil Pengujian Model Mikrogrid

Untuk menguji model mikrogrid ini dilakukan dengan mengganti kontroler JST dengan kontroler yang bekerja berdasarkan SOC baterai. Gbr. 9 menunjukkan rangkaian pengujian mikrogrid.

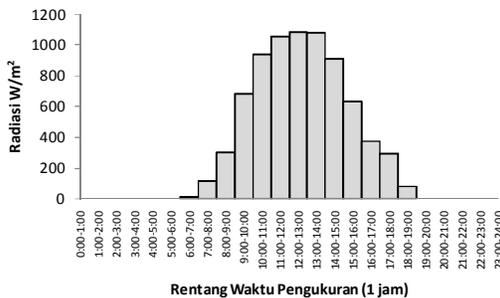


Gbr. 9. Rangkaian Pengujian Mikrogrid

Algoritma *switch* dibuat agar ON ketika SOC baterai kurang dari 70% dan kembali OFF ketika SOC baterai lebih dari 70%. Dengan demikian, sistem akan terhubung dengan grid jika SOC kurang dari 70%.

Dalam Gbr. 9 terlihat bahwa arus grid dibatasi pada sisi keluaran dari rectifier dengan nilai arus maksimum sebesar 2.5 A sesuai dengan prediksi daya maksimum yang dibutuhkan oleh beban (inverter).

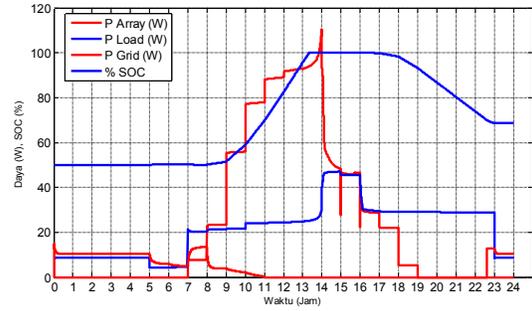
Data radiasi menggunakan data radiasi satu hari sebagaimana ditunjukkan dalam Gbr.10.



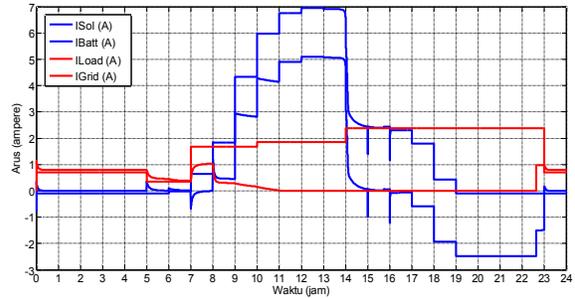
Gbr. 10. Data Radiasi Solar untuk Pengujian

Gbr. 11 menunjukkan hasil simulasi daya sistem mikrogrid dengan data beban Hari Libur. Dari gambar terlihat bahwa Grid hanya ON ketika % SOC kurang dari 70%.

Dalam Gbr. 11 tidak terlihat peranan energi yang terdapat di dalam baterai ketika mencatu beban. Hal ini terlihat jelas dengan menampilkan semua arus pada sistem mikrogrid.



Gbr. 11. Hasil Simulasi Daya Mikrogrid



Gbr. 12. Hasil Simulasi Arus Mikrogrid

Dalam Gbr. 12 terlihat bahwa sebelum PV array menghasilkan daya sekitar pukul 6:00-7:00 maka beban dicatu dari energi yang tersimpan dalam baterai dan dari grid. Hal ini dikarenakan pada jam-jam tersebut % SOC baterai masih di bawah 70%.

Pada waktu-waktu setelah pukul 17:00 ketika daya dari array tidak ada, maka baterai kembali mengeluarkan energinya untuk mencatu beban. Hal ini ditunjukkan dengan nilai arus baterai (IBatt) yang negatif.

#### V. Kesimpulan Sementara

Sistem mikrogrid dengan PV array, baterai dan grid untuk keperluan mensimulasikan manajemen sistem PV hybrid dengan pengaturan smart switch telah selesai dibangun dan diuji. Hasil pengujian menunjukkan kinerja sistem yang sudah sesuai untuk mewakili sistem skala laboratorium.

Dalam pengujian, smart switch yang nantinya direncanakan berkerja dengan kontroler JST sementara digantikan dengan switch otomatis yang akan menyambungkan sistem PV ke grid jika SOC baterai kurang dari 70%.

Langkah selanjutnya dari penelitian ini adalah membangun kontroler JST dan merancang data untuk pelatihan dan pengujianya agar didapatkan kerja sistem sesuai dengan yang direncanakan.

## VI. Daftar Pustaka

- Gobi, A. (2010). *"Modeling and Simulation of Photovoltaic Components of a Solar Power System"*. New York: Parsons Brickerhoff Power.
- M.G. Villalva, J.R. Gazoli E.R. Filho. (2009). "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Array". *IEEE Trans on Power Electronics*, Vol. 24 (no. 5), pp. 1198-1208.
- Mark Hudson Beale, Martin T. Hagan, Howard B. Demuth. (2014). *Neural Network Toolbox™ User's Guide R2014a*. The MathWorks, Inc.
- O. Tremblay, L.A. Dessaint, A.I. Dekkiche. (2007). "A Generic Battery Model for the Dynamic A Generic Battery Model for the Dynamic". *Vehicle Power and Propulsion Conference*. IEEE.
- O. Tremblay, L.A. Dessaint. (2009). "Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications". *World Electric Vehicle Journal*, Vol. 3 - ISSN 2032-6653.
- Paul W. Stackhouse Jr., John M. Kusterer. (2013, November 18). Surface meteorology and Solar Energy, A renewable energy resource web site (release 6.0).
- Setiawan, A. (2013). "Penentuan Parameter Tremblay Battery Model untuk Pemodelan Karakteristik Discharge Battery Gel Lead Acid Sgl100". *Rekayasa-Jurnal Teknik Universitas Mataram*, vol. 14 no. 1, 31-35.
- Setiawan, A. (2014). *Penentuan Parameter Modul Fotovoltaik Istar Solar Is110p dalam Pemodelan Modul Fotovoltaik*. Laporan Penelitian Mandiri, Fakultas Teknik. Jember: Universitas Jember.

## Biodata Penulis

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Kampus Bumi Tegal Boto, Jalan Kalimantan 37, Jember-Indonesia.



Andi Setiawan, lahir di Pamekasan, Indonesia, tanggal 10 Oktober 1969.

Riwayat Pendidikan:

S1 diselesaikan di Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang Indonesia (1996).

S2 diselesaikan di Teknik Elektro ITS, Surabaya Indonesia (2000).

Penulis memiliki beberapa pengalaman membangun SESF terutama untuk powering sistem telekomunikasi seluler di remote area di Indonesia.

Penulis juga pernah terlibat dalam kegiatan desain produksi perakitan PV modul dan solar battery.