

SISTEM ENERGI SURYA FOTOVOLTAIK (SESF) *GRID-TIED* DENGAN METODE NEURAL NETWORK

(*PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY SYSTEM GRID-TIED USING NEURAL NETWORK METHOD*)

Ghifery Indana, Azmi Saleh, Andi Setiawan
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember (UNEJ)
Jln. Kalimantan 37, Jember 68121
E-mail: givefree3@gmail.com

Abstrak

Sebagian besar pasokan listrik Perusahaan Listrik Negara (PLN) berasal dari energi fosil yang akan habis bila digunakan secara terus-menerus. Untuk sebisa mungkin mengurangi pemakaian energi listrik PLN pada jam beban puncak, dimanfaatkan energi terbarukan yang paling pesat perkembangannya yaitu Sistem Energi Surya Fotovoltaik (SESF) *Grid-Tied*. SESF *Grid-Tied* adalah sistem yang menghubungkan *solar array* dan baterai yang terhubung dengan beban dinamis serta *grid* PLN sebagai energi cadangan sistem. Penggunaan energi cadangan dikontrol dengan metode *neural network* pada saat diluar jam beban puncak yakni pada pukul 18.00 – 23.00 dengan memperhatikan nilai irradiansi, arus beban, dan SOC baterai. Berdasarkan hasil pembelajaran metode *neural network* dihasilkan nilai error sebesar 7.344%. Hasil metode kontrol ini digunakan pada SESF *Grid-Tied* yang lebih efektif terhadap penggunaan energy cadangan sistem.

Kata Kunci: SESF *Grid-Tied*, jam beban puncak, *solar array*, *grid* PLN, *neural network*.

Abstract

Most of the power supplies of the State Electricity Company (PLN) is derived from fossil fuels that will run out if used continuously. As much as possible to reduce the energy consumption of electricity at peak loads, utilized renewable energy is the fastest growing Photovoltaic Solar Energy Systems (PSES) Grid -Tied. PSES Grid -Tied is a system that connects the solar array and battery are connected with dynamic load as well as energy reserves PLN grid system. Use of energy reserves controlled by the method of neural network during peak loads ie outside at 6:00 p.m. to 11:00 p.m. with regard to the value irradiation, load current, and the battery SOC. Based on the results of the neural network learning method produced error value by 7,344 %. The results of this control method used in Grid -Tied SESF more effective to use a backup energy system.

Keywords: PSES *Grid -Tied*, peak loads, *solar array*, PLN grid, *neural network*.

PENDAHULUAN

Salah satu bidang energi terbarukan yang paling pesat perkembangannya adalah Sistem Energi Surya Fotovoltaik (SESF). Hal ini dikarenakan kemudahan pemanfaatannya dan cepatnya perkembangan teknologi dan bisnis produksi komponen dasarnya yaitu *solar cell photovoltaic* yang semakin hari semakin terjangkau harganya.

Sejalan dengan kenyataan tersebut, akhir-akhir ini aplikasi SESF, disamping sebagai energi alternatif untuk area yang tidak terjangkau listrik Perusahaan Listrik Negara (PLN), SESF juga banyak dikembangkan dengan maksud khusus yaitu kampanye energi hijau (*green campaign*). Untuk tujuan ini, SESF diaplikasikan sebagai sumber energi pada area yang sebenarnya bisa dicatu dari sumber listrik PLN. Pemanfaatan SESF hanya dimaksudkan untuk sebisa mungkin mengurangi pemakaian energi listrik PLN yang dianggap sebagai energi yang berasal dari bahan bakar fosil.

Selain itu, pada daerah tertentu di mana catu daya dari PLN mengalami permasalahan keterbatasan pada jam beban puncak, SESF dapat menjadi solusi untuk

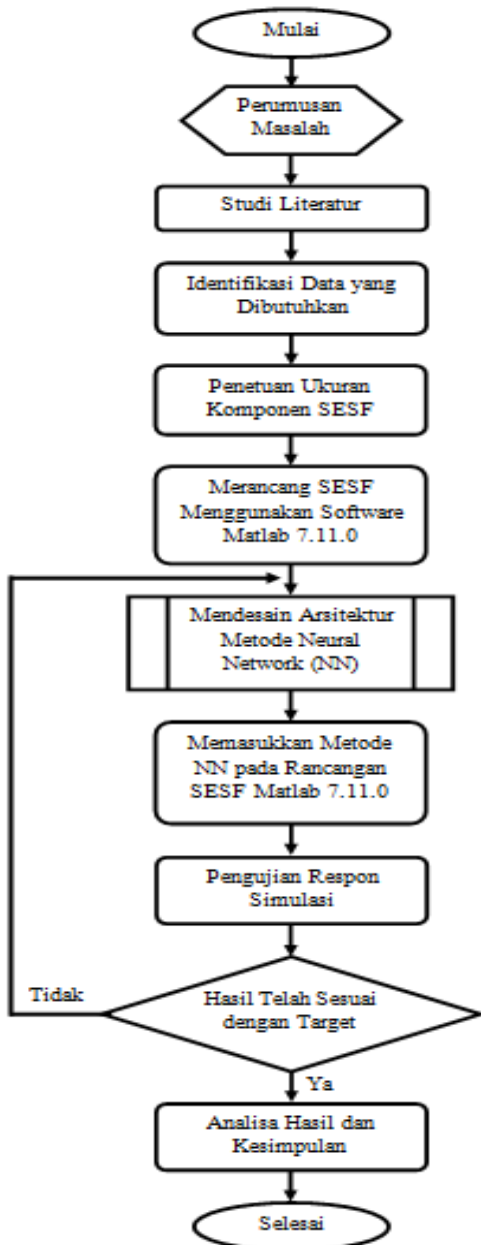
memperbaiki faktor beban, yaitu dengan melakukan penyimpanan energi pada jam beban dasar, yang kebanyakan terjadi pada siang hari di mana energi surya tersedia, dan memanfaatkan energi yang disimpan ini pada saat jam beban puncak.

Perancangan akan didasarkan pada pemilihan ukuran sistem yang akan mengakibatkan biaya investasi minimum dan memungkinkan diimplementasikannya penjadwalan catudaya yang akan menghasilkan pemanfaatan fraksi energi terbarukan semaksimal mungkin. Hal ini mencakup penentuan ukuran/spesifikasi komponen-komponen utama sistem SESF dan perhitungan biaya investasinya.

Mengacu pada permasalahan-permasalahan di atas, maka dalam penelitian ini akan dirancang sebuah SESF *grid-tied* yang dilengkapi dengan fitur pengaturan/penjadwalan catu daya antara SESF dan grid (PLN) menggunakan metode *Neural Network* algoritma *Backpropagation*. Algoritma ini dibuat berdasarkan nilai arus pada *solar cell photovoltaic*, baterai dan beban sehingga dihasilkan penjadwalan yang memaksimalkan fraksi energi terbarukan dan mencegah sistem beroperasi dengan menyerap daya dari PLN pada saat jam beban

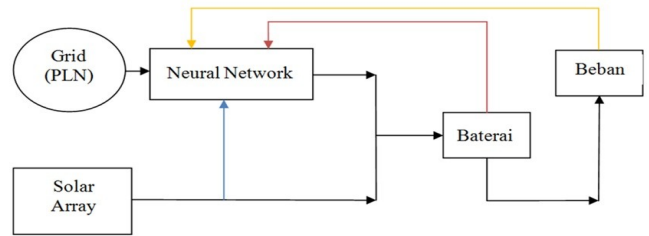
puncak tetapi juga bisa menjamin ketersediaan energi untuk sistem beban yang ada.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Flowchart penelitian

Pada Gambar 1 dijelaskan tentang diagram alur dari penelitian yang dilakukan. Dengan mengawalidari perumusan masalah, studi literatur hingga pengujian respon simulasi yang dapat mengubah desain arsitektur NN dan diakhiri dengan analisa hasil dan kesimpulan.



Gambar 2. Perencanaan sistem dan algoritma kontrol SOC pada SESF grid-tied

Perancangan sistem / blok diagram sistem pada Gambar 2 adalah rancangan secara keseluruhan dari penelitian yang dilakukan. Prinsip kerja blok diagram di atas adalah *Solar Array* dengan radiasi matahari yang berubah-ubah dihubungkan ke baterai dengan tegangan yang dianggap tetap. Namun karakteristik dan spesifikasi *Solar Array* dan baterai ditentukan terlebih dahulu dengan mempertimbangkan data beban. *Grid (PLN)* juga dihubungkan ke baterai dengan pemodelan sumber DC tanpa memasang *rectifier* untuk mengantisipasi rugi-rugi perubahan listrik AC menjadi DC yang diterima baterai. Kemudian dari baterai langsung dihubungkan ke beban tanpa menggunakan *inverter* yang mengubah listrik DC menjadi AC. Hal ini dilakukan karena beban yang digunakan adalah beban DC yang bertujuan untuk mengurangi rugi-rugi listrik AC yang cenderung lebih besar dibandingkan listrik DC. Penggunaan beban skala perumahan yang telah ditentukan akan diidealisasikan dengan penggunaan beban DC ini.

Diantara *grid (PLN)* dengan baterai terdapat sebuah saklar dengan kontrol *Neural Network* dengan masukan data dari sensor arus yang berada pada *Solar Array* (warna biru), beban (warna kuning) dan SOC baterai (warna merah). Ketiga masukan itu akan diolah dengan algoritma *Neural Network* dengan nilai bobot hasil pembelajaran neuron. Sistem pembelajaran dapat dimulai bila telah memasukkan nilai masukan yakni *Irradiation* pada *Solar Array* (warna biru), beban (warna kuning) dan nilai maksimum dan minimum pada SOC baterai (warna merah) serta memberi nilai target tertentu. Setelah pembelajaran dimulai terdapat error maka sistem akan mempelajarinya lagi dengan mengubah nilai bobot hingga mendapatkan nilai error terkecil. Setelah hasil output sesuai dengan target yang diinginkan maka algoritma itu akan dipakai untuk mengatur pensaklaran atau penjadwalan antara catu daya SESF dan *grid (PLN)*.

Ketika keadaan baterai dalam kondisi minimum dan pada siang hari maka *Solar Array* akan menyalurkan catu daya menuju baterai. Apabila pada siang hari terdapat mendung dan *Solar Array* tidak mencukupi untuk mengisi baterai maka saklar akan ditutup sehingga baterai menyerap daya dari *grid (PLN)*. Apabila baterai telah terisi penuh maka saklar akan dibuka. Pada malam hari ketika beban puncak baterai yang telah terisi penuh akan menggantikan peran PLN menyalurkan listrik ke beban. Hal ini dapat mengurangi pemakaian energi listrik PLN yang dianggap sebagai energi yang berasal dari bahan bakar fosil serta dapat memperbaiki faktor beban pada jam beban puncak [1].

Tabel 1. Data intensitas matahari di daerah patrang jember jawa timur

Jam (WIB)	Irradiasi (W/m ²)						
	Hari ke-						
	1	2	3	4	5	6	7
01.00	0	0	0	0	0	0	0
02.00	0	0	0	0	0	0	0
03.00	0	0	0	0	0	0	0
04.00	0	0	0	0	0	0	0
05.00	0	0	0	0	0	0	0
06.00	12.94	28.14	24.55	33.08	18.99	18.68	22.59
07.00	112.6	219.8	242.7	100.9	129.3	29.37	25.73
08.00	297.5	409.7	538.7	232.1	370.5	59.61	92.44
09.00	680.8	721.4	673.3	576.1	519.3	92.58	176.5
10.00	932.7	870.4	881.3	406.6	500.9	182.6	317.2
11.00	1052	859.1	1058	368.7	791.5	376.4	295.1
12.00	1082	1004	996.5	497.5	957.6	358.9	318.9
13.00	1078	1085	966.4	640.1	644.3	366.2	239.4
14.00	909.5	820.7	987.7	586.5	808.7	186.0	174.6
15.00	631.4	753.7	617.8	515.1	684.6	158.4	154.9
16.00	369.5	540.8	533.7	180.2	451.7	154.4	108.7
17.00	290.4	233.4	320.1	84.83	254.6	60.44	38.36
18.00	81.64	53.87	41.65	36.39	58.94	1.74	20.52
19.00	0	0	0	0	0	0	0
20.00	0	0	0	0	0	0	0
21.00	0	0	0	0	0	0	0
22.00	0	0	0	0	0	0	0
23.00	0	0	0	0	0	0	0
24.00	0	0	0	0	0	0	0

*NASA Tahun 1991 – 2005

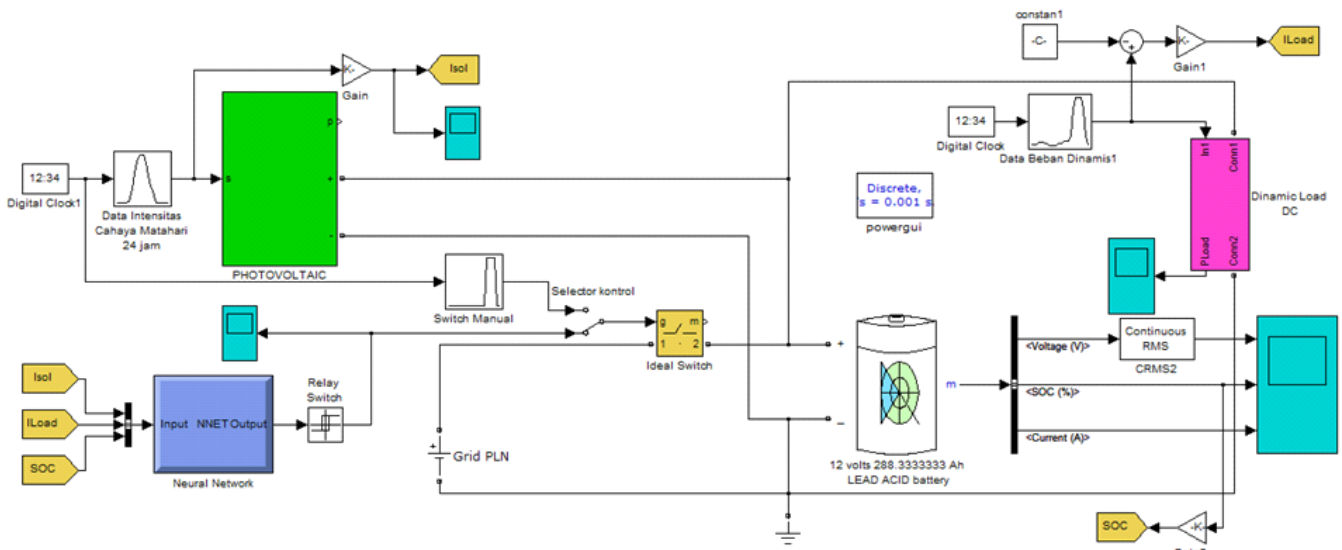
Data NASA pada Tabel 1 diambil dari software Homer Legacy (v2.68 beta) pada kotak dialog *Solar Resource Inputs* dengan memasukkan letak astronomis daerah patrang, jember Jawa Timur dan *time zone* GMT+07.00 [2].

Tabel 2. Data beban dinamis

Jam (WIB)	Daya Beban (W)						
	Hari ke-						
	1	2	3	4	5	6	7
01.00	60	60	60	60	60	60	60
02.00	60	60	60	60	60	60	60
03.00	60	60	60	60	60	60	60
04.00	80	80	80	80	80	80	80
05.00	80	80	80	80	80	80	80
06.00	70	70	70	70	70	70	70
07.00	70	70	70	70	70	70	70
08.00	50	50	50	50	50	50	50
09.00	50	50	50	50	50	50	50
10.00	50	50	50	50	50	50	50
11.00	50	50	50	50	50	50	50
12.00	70	70	70	70	70	70	70
13.00	70	70	70	70	70	70	70
14.00	90	90	90	90	90	90	90
15.00	90	90	90	90	90	90	90
16.00	90	90	90	90	90	90	90
17.00	130	130	130	130	130	130	130
18.00	350	350	350	350	350	350	350
19.00	450	450	450	450	450	450	450
20.00	450	450	450	450	450	450	450
21.00	450	450	450	450	450	450	450
22.00	350	350	350	350	350	350	350
23.00	130	130	130	130	130	130	130
24.00	60	60	60	60	60	60	60

Metode *Neural Network* yang digunakan adalah algoritma *backpropagation*. Simulasi kontrol SESF dengan metode *backpropagation* dilakukan dengan menggunakan program MATLAB 7.11.0 melalui langkah-langkah berikut ini :

1. Penentuan masukan algoritma. Terdapat tiga masukan dari algoritma ini yakni nilai arus solar array, SOC baterai dan arus beban. Dengan satu keluaran yakni saklar nyala atau mati.



Gambar 3. Pemodelan grid-tied SESF pada software Matlab 7.11.0.

2. Membuat Jaringan (Network). Dalam membuat jaringan ini, ada tiga langkah yang dilakukan yaitu :

a. Inisialisasi jaringan

Langkah pertama yang harus dilakukan untuk memprogram backpropagation dengan menggunakan MATLAB R2010b adalah membuat inisialisasi jaringan dengan 2 lapisan jaringan yakni lapisan tersembunyi (*hidden layer*) dan lapisan keluaran (*output layer*).

b. Inisialisasi bobot

Setiap kali membentuk jaringan backpropagation, nilai bobot dan bias awal dengan bilangan acak akan diberikan oleh matlab. Bobot dan bias ini akan berubah setiap kali jaringan dibentuk.

c. Penentuan fungsi aktivasi

Fungsi aktivasi merupakan fungsi yang digunakan untuk memberikan pola perubahan pada nilai bobot tiap lapisan. Fungsi aktivasi yang akan digunakan pada lapisan tersembunyi adalah fungsi aktivasi tansig sedangkan pada lapisan keluaran adalah fungsi purelin.

3. Melakukan Pembelajaran Jaringan. Selama melakukan pembelajaran, sistem terus merubah nilai bobot sampai nilai kesalahan (*error*) yang dihasilkan mendekati batas yang ditargetkan.

4. Jumlah unit lapisan tersembunyi ditentukan dengan cara *trial and error* dalam arti hasil pembelajaran yang tercepat dan terbaik itulah yang akan menentukan jumlah unit lapisan tersembunyi tersebut.

5. Melakukan simulasi pengujian jaringan dengan masukan yang berbeda sehingga dapat menghasilkan nilai keluaran yang sesuai dengan target yang telah ditentukan [3].

HASIL PENELITIAN

Setelah data beban ditentukan yang ditunjukkan pada Tabel 2, dapat dihitung energi yang dibutuhkan sistem selama sehari atau 24 jam sebesar $E_{load} = 3460 \text{ Wh}$. Dari jumlah energi beban, dapat dihitung kapasitas solar array yang akan digunakan pada sistem yakni dengan menggunakan persamaan

$$\begin{aligned} P_{array} &= E_{load} / 4.5 \\ &= 3460 / 4.5 \\ &= 768.889 \text{ Wp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah solar modul} &= P_{array} / P \text{ satu solar modul} \\ &= 768.889 / 50.168 \\ &= 15.326 \text{ buah} \end{aligned}$$

Selain itu, dapat diitung pula kapasitas baterai yang digunakan untuk menyimpan energi pada sistem yakni dengan menggunakan persamaan

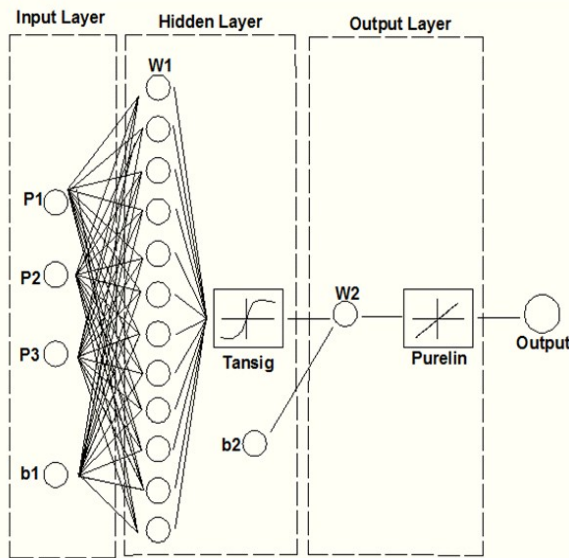
$$\begin{aligned} Ah_{bank} &= E_{load} / V_{sys} \\ &= 3460 / 12 \\ &= 288.333 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan penentuan ukuran komponen SESF, dilanjutkan dengan memodelkan pada software Matlab 7.11.0.

Pemodelan *grid-tied* SESF secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 3. Grid-Tied SESF adalah sistem energi surya yang tidak stand-alone, artinya sewaktu-waktu sistem ini bisa terhubung dengan grid (sistem jaringan listrik PLN) pada saat sistem internal membutuhkan daya atau energi. Baterai selalu terhubung dengan beban dan solar

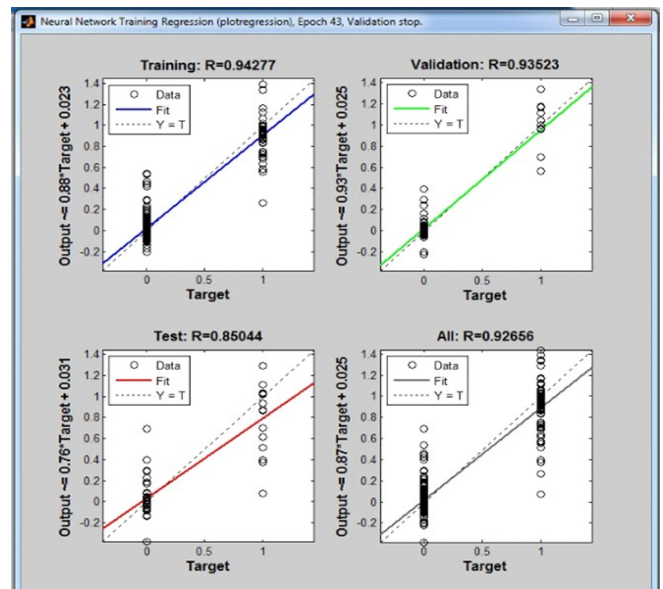
array. Terdapat saklar yang menghubungkan antara grid PLN dan baterai. Saklar tersebut dikontrol dengan metode *neural network (NN)*. Dengan mengolah tiga masukan yakni irradiasi, arus beban dan SOC baterai, metode *NN* dapat mengatur saklar untuk melakukan pengisian terhadap baterai. Terdapat *selector control* yang digunakan sebagai pemilihan pengontrolan pada saklar. Pada Gambar 3 *selector control* mengarah ke *NN* sehingga digunakan algoritma *NN* untuk mengatur saklar (*smart switch*). Apabila *selector control* mengarah ke *lookup table* dengan pengaturan yang telah ditentukan maka saklar diatur secara *manual (manual switch)*. *Manual switch* diatur bekerja pada pukul 18.00-23.00 WIB. Pemilihan pengaturan ini berdasarkan tidak adanya nilai irradiasi atau arus solar array yang mengisi baterai. Sistem ini dijalankan selama 2 hari atau 48 jam [4].

Saat pelatihan jaringan terdapat pengelompokan data berdasarkan 3 parameter yaitu training, validasi dan testing. Pengelompokan dilakukan secara acak dari total keseluruhan data masukan yaitu data ke 1 – 480 dengan perbandingan 70 % dari data digunakan sebagai training dan 15% digunakan sebagai validasi dan testing. Penentuan nilai bias dan bobot awal pada jaringan diberikan secara acak. Nilai learning rate dan epoch telah ditentukan secara default oleh matlab 2010b. Metode training yang digunakan adalah Levenberg-Marquardt (trainlm). Terdapat 2 lapisan pada jaringan yang akan dibentuk yakni 12 neuron pada lapisan tersembunyi dengan fungsi aktivasi tansig dan 1 neuron dengan fungsi aktivasi purelin pada lapisan output yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Arsitektur jaringan

Penentuan jumlah neuron pada *hidden layer* dilakukan dengan cara *trial and error* dalam arti hasil pembelajaran yang terbaik itulah yang akan menentukan jumlah neuron pada *hidden layer* tersebut. Hasil dari pelatihan *NN* terbaik ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil pelatihan jaringan

Dengan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 5 dengan nilai *regression* sebesar 0.927, didapat nilai bobot dan bias pada *hidden layer* dan nilai bobot dan bias pada *output layer* yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data bobot dan bias

	Bobot Lapisan Tersembunyi	Bias Lapisan Tersembunyi	Bobot Lapisan Output	Bias Lapisan Output
	1.052	-5.424	-1.816	-4.897
	1.273	-1.508	2.505	-3.146
	0.498	-0.583	3.408	2.138
	5.536	-5.080	0.443	0.782
	-1.343	5.922	1.764	5.494
	4.967	2.526	-0.536	7.620
	-4.891	3.837	-2.792	-0.098
	-3.839	5.388	0.679	-0.083
	4.261	-4.208	2.476	-0.218
	5.272	2.567	1.768	7.887
	-4.488	-4.771	-1.192	-8.604
	4.933	1.646	-1.406	-8.604
				-2.101
				-0.234
				-0.045
				-2.377
				-1.980
				7.793
				-1.348
				-3.449
				-2.263
				4.156
				3.851
				-6.145

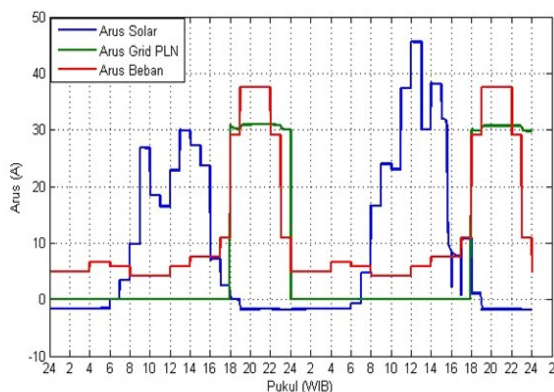
PEMBAHASAN

Pengujian pada *grid-tied SESF* dilakukan dengan mensimulasikannya pada hari berikutnya yang memiliki nilai irradiasi yang berbeda dengan memberikan nilai *SOC* awal sebesar 40%. Pengujian simulasi akan dilakukan selama 2

hari yakni pada hari keempat dan kelima dari data irradiansi pada Tabel 1. Untuk melakukan pengujian selama 2 hari diperlukan penambahan data pada irradiansi, arus beban dan *simulation stop time* pada matlab menjadi 48 yang sebelumnya adalah sebesar 24. Diagram blok simulasi irradiansi pada hari keempat dan kelima ditunjukkan pada gambar 4.33. Beban yang digunakan adalah tetap di berbagai hari.

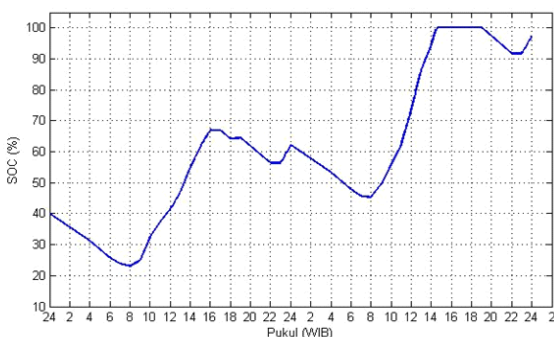
Terdapat dua kali pengujian simulasi yakni simulasi dengan menggunakan saklar manual dan saklar otomatis. Kedua keadaan ini akan membandingkan nilai efisiensi energi yang dihasilkan solar array atau energi yang digunakan untuk mengisi baterai sebagai sumber energi terhadap beban.

Pengujian Saklar Manual



Gambar 6. Grafik arus pengujian SESF dengan menggunakan saklar manual

Gambar 6 menunjukkan karakteristik arus pada baterai dengan menggunakan saklar manual. Arus yang mengisi baterai pada pukul 07.00 WIB adalah arus solar array. Sedangkan pada pukul 18.00 WIB baterai diisi oleh arus grid PLN dengan nilai arus konstan kurang lebih 30 A selama 5 jam. Pada saat yang bersamaan terdapat arus pada beban yang nilai tertingginya mencapai 37.5 A. Nilai arus ini diatas nilai arus grid PLN, maka untuk menyalurkan listrik menuju beban dibutuhkan energi dari baterai.

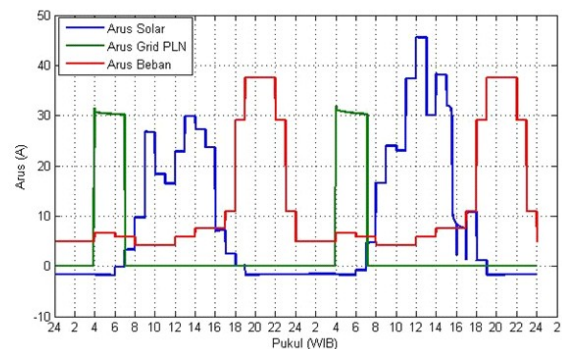


Gambar 7. Grafik SOC baterai pengujian SESF dengan menggunakan saklar manual

Gambar 7 menunjukkan karakteristik dari kapasitas atau SOC baterai dengan menggunakan saklar manual. Sebelum

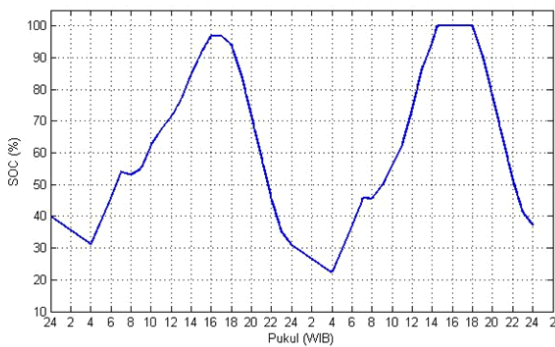
pukul 16.00 WIB, nilai SOC mengikuti dari nilai arus solar. Pada saat pukul 16.00 – 18.00 WIB tidak ada arus pengisian sehingga nilai SOC turun. Kemudian pada saat pukul 18.00 WIB SOC tetap menurun akibat adanya arus beban yang mengalir lebih besar dibandingkan dengan arus grid PLN untuk pengisian baterai. Pada hari berikutnya SOC awal yakni pada pukul 24.00 WIB sebesar 62%. Nilai ini turun hingga terdapat irradiansi yang mencukupi untuk mengalirkan arus pengisian baterai yakni pada pukul 08.00 WIB. SOC akan naik seiring dengan meningkatnya nilai irradiansi. Sehingga pada pukul 14.30 di hari kedua pengujian nilai SOC telah mencapai 100%. Nilai ini bertahan hingga pukul 19.00 WIB atau bertahan hingga 4.5 jam. Nilai SOC akhir dengan menggunakan saklar manual adalah 97.4%.

Pengujian Saklar Otomatis



Gambar 8. Grafik arus pengujian SESF dengan menggunakan saklar otomatis

Gambar 8 menunjukkan karakteristik arus pada baterai dengan menggunakan saklar otomatis. Arus yang mengisi baterai pada pukul 04.00 WIB adalah arus grid PLN. Kemudian pada pukul 07.00 WIB telah terdapat irradiansi matahari sehingga arus solar array yang akan mengisi baterai dan saklar otomatis akan bekerja untuk memutuskan arus grid PLN menuju baterai. Sedangkan pada pukul 18.00 WIB irradiansi matahari telah habis dan arus beban mulai naik. Sehingga pada saat ini baterai dalam keadaan pengosongan. Pengosongan akan berakhir hingga pukul 04.00 WIB pada hari berikutnya dengan menghubungkan arus grid PLN oleh saklar otomatis. Kemudian pada pukul 08.00 WIB nilai irradiansi mulai muncul sehingga baterai terisi oleh arus solar array dan secara otomatis arus grid PLN terputus oleh saklar otomatis. Pengisian ini akan berakhir pada pukul 18.00 WIB ketika nilai irradiansi matahari tidak ada atau pada saat malam hari. Ketika malam hari terdapat arus beban yang meningkat dan beban akan disupply oleh baterai artinya pada saat ini baterai dalam keadaan pengosongan.

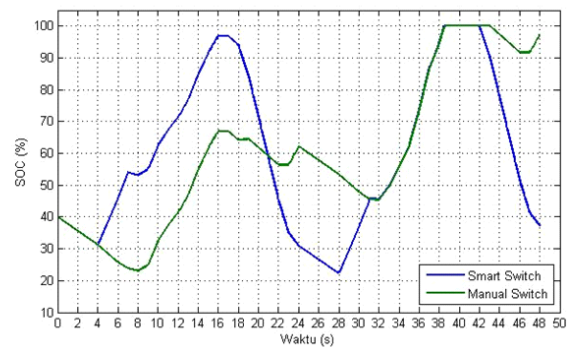


Gambar 9. Grafik SOC baterai pengujian SESF dengan menggunakan saklar otomatis

Gambar 9 menunjukkan karakteristik dari kapasitas atau SOC baterai dengan menggunakan saklar otomatis. Pada pukul 04.00 WIB nilai SOC naik drastis akibat adanya arus grid PLN mengisi baterai. Sedangkan pada pukul 07.00 WIB terdapat nilai irradiansi matahari sehingga baterai diisi oleh arus solar array dan arus grid PLN terputus oleh saklar otomatis. Pengisian ini mengikuti perubahan irradiansi matahari. Hingga pada pukul 16.00 WIB ketika irradiansi matahari menurun, nilai SOC juga ikut menurun dan dilanjutkan pada meningkatnya arus beban yang semakin menurunkan nilai SOC baterai, hingga pada pukul 04.00 WIB di hari berikutnya nilai SOC mencapai nilai terendah yakni 22% dan arus grid PLN mengisi baterai sehingga nilai SOC baterai naik. Kenaikan ini berlangsung hingga pada pukul 14.30 di hari kedua nilai SOC telah mencapai 100%. Nilai ini bertahan hingga pukul 18.00 WIB atau bertahan hingga 3.5 jam. Ketika malam hari kapasitas atau SOC baterai yang telah terisi pada siang hari akan digunakan untuk menyalurkan listrik menuju beban dimana pada saat malam hari beban cenderung tinggi. Nilai SOC akhir dengan menggunakan saklar otomatis adalah 37.2%.

Dari kedua kontrol pensaklaran baik manual maupun otomatis bertujuan menjaga keadaan kapasitas atau SOC baterai tetap di atas batas minimum yang telah ditentukan dari jenis baterai yakni 20%. Namun terdapat perbedaan penggunaan energi cadangan dalam penelitian ini adalah arus grid PLN yang digunakan pada saat beban puncak (malam hari) yakni pada saklar manual dan pada saat beban dan irradiansi matahari rendah yakni penggunaan saklar otomatis. Penggunaan saklar otomatis dapat mengurangi faktor beban pada saat jam beban puncak, sedangkan pada saklar manual faktor beban tidak dapat dikurangi.

Selain itu perbedaan penggunaan saklar baik manual maupun otomatis adalah dari segi kapasitas atau SOC baterai. Dengan memberikan nilai SOC awal baterai sebesar 40%, didapatkan nilai SOC akhir pada masing – masing pensaklaran ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik SOC baterai pengujian SESF

Gambar 10 menunjukkan bahwa penggunaan saklar manual pada hari pertama dengan SOC awal baterai sebesar 40% tersisa 62% pada akhir hari pertama yang akan dijadikan SOC awal pada hari kedua. Perubahan ini terjadi adanya saklar manual yang mengisi baterai dari arus grid PLN selama 5 jam. Kemudian pada hari kedua nilai SOC akhir yang didapat sebesar 97.4%.

Pada penggunaan saklar otomatis pada hari pertama dengan SOC awal baterai sebesar 40% tersisa 30% pada akhir hari pertama yang akan dijadikan SOC awal pada hari kedua. Perubahan ini terjadi adanya saklar otomatis yang mengisi baterai dari arus grid PLN selama 3 jam. Kemudian pada hari kedua nilai SOC akhir yang didapat sebesar 37.2%.

Energi matahari yang dapat diserap oleh baterai pada hari pertama pengujian adalah sebesar 132.289 Ah atau 45.88% dari kapasitas baterai. Sedangkan pada hari kedua pengujian energi matahari yang dapat diserap oleh baterai adalah 203.606 atau 70.61% dari kapasitas baterai.

Dari kedua data SOC baterai menggunakan saklar manual dan saklar otomatis terdapat perbedaan efektivitas pensaklaran penggunaan arus grid PLN. Pada saklar otomatis, nilai SOC pada akhir hari diusahakan bernilai kecil agar pada pagi hari dapat menerima dan menyimpan energi matahari secara penuh. Hal ini dibuktikan pada durasi keadaan baterai penuh yakni pada saklar manual selama 4.5 jam dan pada saklar otomatis selama 3.5 jam.

Selain itu, penggunaan energi cadangan yakni arus grid PLN yang berlebihan pada penggunaan saklar manual dibandingkan dengan penggunaan saklar otomatis yakni 5 jam pada saklar manual dan 3 jam pada saklar otomatis.

KESIMPULAN

Pemanfaatan SESF telah optimal dengan desain kapasitas Solar Array yang telah ditentukan dan penggunaan grid PLN secara efektif tanpa mengurangi faktor daya pada saat jam beban puncak. Pada total energi beban sebesar 3460 W dapat didesain baterai Lead-Acid 12Volt kapasitas 288.333 Ah dan Solar Array yang terhubung paralel sebanyak 15.326 buah dengan masing-masing daya sebesar 50.168 W. Pelatihan menggunakan *Neural Network* dihasilkan nilai error sebesar 0.073 dengan 43 iterasi menggunakan metode training Levenberg-Marquardt (*trainlm*). Penggunaan saklar otomatis (*smart switch*) lebih efektif dibandingkan

penggunaan saklar manual (*manual switch*) dilihat dari segi penggunaan arus grid PLN, kapasitas atau SOC baterai yang tersedia untuk penyimpanan energi matahari dan pengurangan faktor beban saat jam beban puncak.

Daftar Pustaka

- [1] Hisham Mahmood, Dennis Michaelson and Jin Jiang. *Control Strategy for a Standalone PV/Battery Hybrid System*. Canada : University of Western Ontario
- [2] <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
- [3] Susanti, A. P. & Aisjah, A. S. 2013. *Perancangan Sistem Prediktor Daya Pada Panel Phoovoltaic di Buoy Weather Station*. Surabaya : Teknik Fisika ITS.
- [4] Narendiran, S., Bansal, M., dan Sahoo, S. K. 2013. *Islanding Issues of Grid-Connected Systems*. India : VIT University.