

DESAIN SISTEM HIBRID PHOTOVOLTAIC-BATERAI MENGGUNAKAN BI-DIRECTIONAL SWITCH UNTUK CATU DAYA KELISTRIKAN RUMAH TANGGA 900VA, 220 VOLT, 50 Hz

Soedibyo^{1*}, Dwiana Hendrawati²

¹Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

²Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. Sudarto, SH, Semarang 50275

*Email: dibyosoe@gmail.com

Abstrak

Penyebaran penduduk di berbagai daerah di Indonesia menyebabkan rasio elektrifikasi baru mencapai 87 % pada tahun 2015 (data Kementerian ESDM, 2015). Daerah terpencil yang tidak dapat diakses oleh saluran transmisi atau distribusi membutuhkan sistem kelistrikan yang berdiri sendiri (*stand alone*). Energi terbarukan seperti; matahari, air, angin dapat menjadi salah satu pilihan untuk mengatasi ini. Energi matahari dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan media photovoltaic (PV). Sistem PV yang dirancang dimulai dari panel PV yang menghasilkan listrik arus searah, kemudian dinaikkan menggunakan dc boost converter. Tegangan dari boost converter disesuaikan dengan tegangan input inverter, sehingga tegangan pada beban adalah 220 volt. PV hanya dapat bekerja pada saat ada radiasi matahari. Untuk memenuhi kebutuhan energi saat malam hari dipasang storage energy berupa baterai yang pengaturan charge-discharge nya menggunakan bi-directional switch. Baterai juga dapat menyuplai energi di siang hari saat daya yang dihasilkan PV berada di bawah daya yang dibutuhkan oleh beban. Sistem hibrida PV-Baterai ini di desain untuk sistem kelistrikan rumah tangga 900 VA, 220 V, 50 Hz. yang tidak mendapat suplai dari daya listrik lain. Sehingga masyarakat di daerah terpencil ini, akan lebih mandiri dalam hal pemenuhan energi listrik dengan kualitas daya listrik yang tinggi.

Kata Kunci : baterai, dc-converter, energi terbarukan, photovoltaic, switching

1 PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat, akan diikuti dengan permintaan energi yang juga terus meningkat. Energi listrik salah satunya, menjadi energi dasar yang harus dimiliki di jaman modern ini. Setiap aktivitas rumah tangga yang dilakukan manusia hampir selalu membutuhkan energi listrik.

Indonesia sebagai negara dengan tingkat penduduk yang tinggi membutuhkan banyak energi listrik yang harus dipenuhi. Rasio elektrifikasi di Indonesia mencapai 87 % pada tahun 2015. Hal ini disebabkan ketersediaan pembangkit listrik yang tidak menyebar di seluruh daerah. Selain itu, bahan bakar fosil yang sampai sekarang masih digunakan pada pembangkit listrik mengalami penurunan ketersediaannya. Pemerintah juga telah menerbitkan pp no 79 tahun 2014 mengenai pengelolaan energi, baik energi fosil maupun energi terbarukan (*renewable energy*), baik dari pemerintah maupun dari masyarakat.

Energi terbarukan seperti matahari, air dan angin bisa menjadi alternatif untuk pembangkit listrik. Pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi listrik dapat dilakukan menggunakan sistem photovoltaic (Masters & M 2004). PV mengubah energi dari matahari menjadi energi listrik arus searah, selanjutnya di ubah menjadi arus bolak balik yang dapat digunakan untuk menjalankan peralatan listrik. Oleh karena itu PV dapat menjadi sumber energi listrik alternatif bagi rumah tangga dengan menambahkan *converter, baterai dan inverter*.

Konverter yang digunakan jenis *boost converter* yang terhubung ke bus DC. Daya dari PV akan disimpan oleh baterai dan akan digunakan saat malam hari saat PV tidak mendapat radiasi matahari, atau saat daya dari PV lebih rendah dari daya beban.

Penelitian ini membahas sistem *photovoltaic* yang dapat diaplikasikan untuk rumah tangga tanpa sumber energi listrik lain (*stand-alone*). Sistem *stand-alone* menyebabkan setiap rumah dengan PV tidak perlu menambahkan saluran transmisi atau distribusi. Hal ini diharapkan akan

meningkatkan program pemerintah untuk menaikkan rasio elektrifikasi dan masyarakat dapat lebih mandiri dalam hal pemenuhan energi listrik.

2 SISTEM KELISTRIKAN DENGAN *PHOTOVOLTAIC*

2.1 Photovoltaic

Sebuah perangkat yang mampu mengkonversi energi yang terkandung dalam *foton* cahaya menjadi tegangan listrik dan arus yaitu *photovoltaic* (PV). Sebuah *foton* dengan panjang gelombang yang cukup pendek dan energi yang cukup tinggi dapat menyebabkan elektron dalam bahan PV untuk membebaskan atom. Jika di dekatnya terdapat medan listrik, elektron dapat bergerak ke arah kontak logam dan dapat terbangkit sebagai arus listrik. Energi pendorong untuk PV berasal dari matahari.

Setiap sel PV hanya menghasilkan tegangan senilai 0,5 Volt. Sel ini di susun secara seri untuk meningkatkan tegangan dan secara paralel untuk meningkatkan arus. Sel – sel yang telah disusun seri maupun paralel ini di sebut sebagai modul PV yang sudah umum beredar di masyarakat. Hal penting dalam desain sistem PV adalah memutuskan berapa banyak modul harus dihubungkan secara seri dan berapa banyak yang dihubungkan secara paralel untuk mendapatkan energi yang diperlukan, kombinasi modul ini yang disebut sebagai array. Sistem yang akan dirancang menggunakan PV dengan data sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi PV

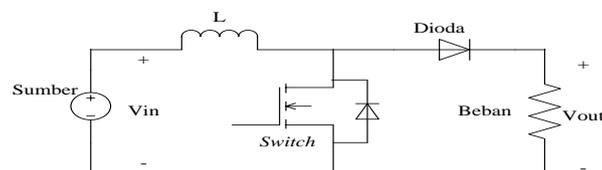
tegangan maksimum PV	17 Volt
arus maksimum PV	3,5 A
daya maksimum PV	50 W-p
jumlah PV seri	6 unit
jumlah PV paralel	4 unit
daya total PV	1,3 kW
jumlah PV	24 unit

2.2 Boost Converter

Konverter *boost* termasuk ke dalam *DC Chopper* yang dapat mengubah suatu level tegangan DC ke level tegangan yang lebih rendah atau lebih tinggi. Pada konverter *boost* tegangan di ubah ke level tegangan yang lebih tinggi. Converter ini menyimpan energi masukan sementara dan kemudian mengeluarkan dalam level tegangan yang berbeda. Media penyimpanan berupa medan magnet (induktor) atau medan listrik (kapasitor). Rangkaian konverter *boost* dapat dilihat pada gambar 1.

Konverter *boost* diatur melalui *switching* pada transistor. *Switching* ini akan mempengaruhi *duty cycle* atau rasio waktu *on/off*, yang dirumuskan (Rashid & Harunur 2007):

$$\frac{V_{in}}{V_{out}} = \frac{1}{1-D} \quad (1)$$



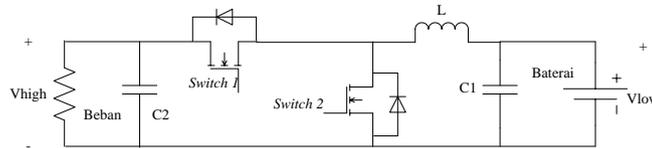
Gambar 1. Konverter Boost

Konverter *boost* ini diatur menggunakan MPPT *Hill Climbing* untuk menghasilkan daya maksimal dari panel surya (Rashid & Harunur 2007). MPPT mencari titik daya maksimum dari kurva karakteristik daya tegangan panel surya agar dapat menentukan *duty cycle*. Metode ini dimulai dari pengujian keadaan awal, jika merupakan tujuan maka berhenti. Tetapi jika tidak maka sistem akan mencari operator baru yang belum pernah digunakan. Operator ini akan digunakan

untuk mendapatkan keadaan baru. Jika telah mencapai tujuan maka berhenti. Jika tidak tetapi nilainya lebih baik dari keadaan sebelumnya, maka keadaan baru ini akan menjadi keadaan awal. Iterasi akan terus dilakukan sampai di dapat keadaan optimal atau didapat daya maksimal.

2.3 Bi-directional switch

Bi-directional switch yang digunakan ialah konverter *buck-boost* (Zhiling & Xinbo 2008) Konverter tipe ini dapat menaikkan atau menurunkan tegangan tergantung pada pengaturan *duty cycle*. Berikut rangkaian converter *buck-boost*:



Gambar 2. Rangkaian Konverter *Buck Boost*

Duty cycle saat mode *boost* sama seperti konverter *boost* sebelumnya. Untuk mode *buck*, perhitungan *duty cycle* (Rashid & Harunur 2007):

$$D = \frac{V_{low}}{V_{high}} \tag{2}$$

Nilai dari kapasitor dan induktor di dapat :

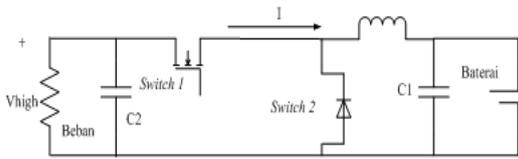
$$L = \frac{V_{in} \times D}{\Delta I_L \times f} \tag{3}$$

$$C1 = \frac{D}{R \times \left(\frac{V_{low}}{V_{high}}\right) \times f} \tag{4}$$

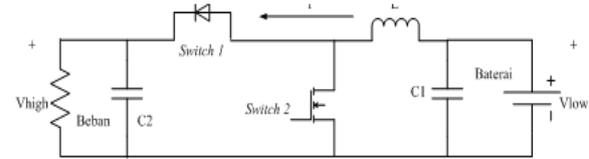
$$C2 = \frac{D}{8 \times L \times \left(\frac{\Delta V_{low}}{V_{low}}\right) \times f^2} \tag{5}$$

$$R = \frac{V_{high}^2}{P} \tag{6}$$

Ketika baterai dalam kondisi *charge*, *bi-directional* akan berfungsi sebagai konverter *buck*, dan ketika baterai dalam kondisi *discharge*, *bi-directional* akan berfungsi sebagai konverter *boost*. Aliran daya saat baterai *charge* atau *discharge* diperlihatkan oleh Gambar 3 dan Gambar 4.



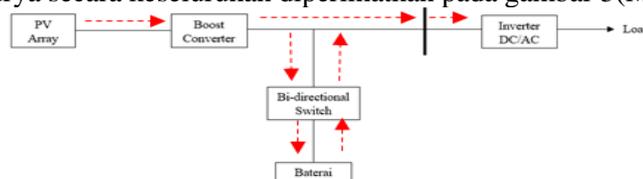
Gambar 3. Bi-directional mode buck.



Gambar 4. Bi-directional mode boost

3. DESAIN SISTEM KELISTRIKAN DENGAN PV

Sistem panel surya secara keseluruhan diperlihatkan pada gambar 5 (Marra et al. 2014).



Gambar 5. Sistem Kelistrikan dengan *Photovoltaic*

Tegangan yang dihasilkan oleh panel surya sebesar 100 volt akan dinaikkan oleh konverter *boost* menjadi 360 volt. Konverter *boost* dilengkapi dengan MPPT yang bertugas mencari daya maksimum. Tegangan keluaran dari konverter *boost* ini akan disalurkan ke *DC bus*. Beban pada *DC bus* ialah inverter yang akan dihubungkan dengan beban rumah tangga.

Bi-directional switch berfungsi mengatur aliran daya yang masuk dan keluar dari baterai. Baterai yang digunakan bertegangan 96 Volt. Rangkaian *bi-directional* (Zhiling & Xinbo 2008) bekerja berdasarkan daya yang dihasilkan oleh panel surya dengan ketentuan sebagai berikut:

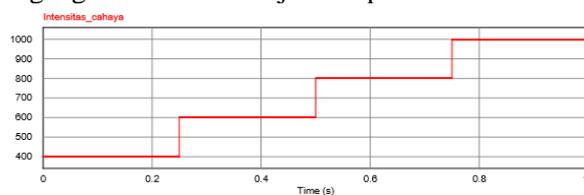
- Jika daya yang dihasilkan panel surya berada di atas daya beban, maka kelebihan daya akan digunakan untuk mengisi baterai sehingga *bi-directional* bekerja dalam mode *buck*.
- Jika daya yang dihasilkan panel surya sama dengan beban, baterai tidak menyuplai daya ke beban maupun di isi oleh PV sehingga *bi-directional* tidak bekerja.
- Jika daya yang dihasilkan panel surya di bawah daya beban, maka kekurangan daya akan disuplai oleh baterai dan *bi-directional* bekerja dalam mode *boost*.

3.1 Simulasi Dan Analisis

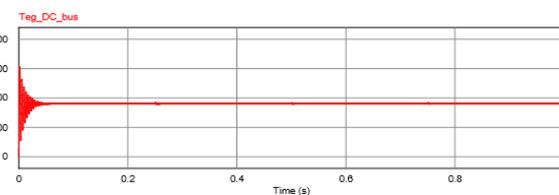
Simulasi dilakukan dengan software PSIM, dengan mensimulasikan PV 17 volt disusun 6 secara seri dan 4 secara paralel. Sedangkan untuk baterai, digunakan baterai 48 V kapasitas 40 Ah, dengan disusun 2 secara seri sehingga menghasilkan tegangan baterai 96 V.

3.2 Pengujian Tegangan Boost Converter

Dengan hasil keluaran PV yang berubah ubah sesuai intensitas cahaya, tegangan pada DC bus stabil pada nilai 360V. Nilai tegangan DC bus dengan perubahan *irradiance* ditunjukkan pada Table 2. *Irradiance* yang berubah ubah terhadap waktu ditunjukkan pada Gambar 6, sedangkan tegangan DC bus ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Perubahan *irradiance*

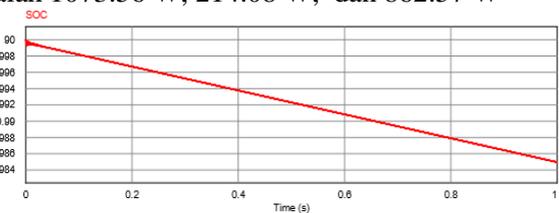
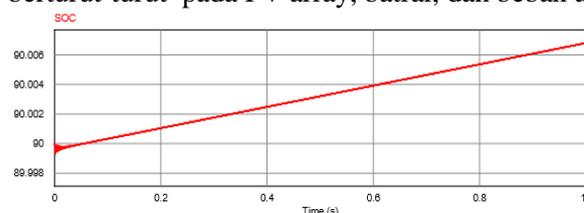


Gambar 7. Tegangan DC bus

3.3 Pengujian Bi-directional Switch

Untuk mengetahui kinerja sistem, dibuat tiga kondisi yaitu saat : $P_{beban} > P_{pv}$, $P_{beban} < P_{pv}$, dan saat $P_{beban} = P_{pv}$. PV akan mengalirkan kelebihan daya ke baterai sebesar $P_{pv} - P_{beban}$ dan ketika daya yang dibutuhkan oleh beban melebihi daya yang dihasilkan PV maka baterai akan menyuplai kekurangan beban. Sehingga $P_{beban} = P_{pv} + P_{baterai}$. Saat daya yang dibutuhkan oleh beban sama dengan daya yang dihasilkan PV, maka PV hanya akan mengalirkan daya menuju beban dan tidak ada aliran daya dari baterai menuju beban.

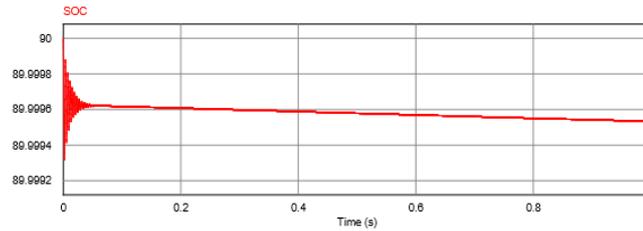
Dengan beban yang sama, dilakukan simulasi dengan *irradiance* yang berbeda beda sehingga mendapatkan daya PV yang berbeda beda. Simulasi pertama dilakukan untuk kondisi $P_{beban} < P_{pv}$ menggunakan *irradiance* matahari sebesar 1000 W/m^2 . diperoleh daya, secara berturut-turut pada PV array, batrai, dan beban adalah 1073.56 W, 214.08 W, dan 862.57 W



Gambar 11. SOC baterai *irradiance* PV 1000 W/m^2 Gambar 12. SOC baterai *irradiance* PV 400 W/m^2

Pada gambar 11, SOC baterai mengalami kenaikan yang menandakan baterai dalam kondisi *charging*. Simulasi kedua yaitu untuk kondisi $P_{beban} > P_{pv}$ dengan *irradiance* matahari sebesar 400 W/m^2 . Hasil pegujian memperlihatkan daya yang dihasilkan pada PV array = 445.25 W, Baterai =

403.38 W, dan beban = 862.61 W. Pada gambar 12, SOC baterai mengalami penurunan yang menandakan baterai dalam kondisi *discharging*. Simulasi ketiga untuk kondisi $P_{beban} = P_{pv}$ dengan *irradiance* matahari sebesar 800 W/m^2 . Hasil pengujian diperoleh daya pada PV array = 877.63, baterai = 2.85, dan beban 861.52 W.

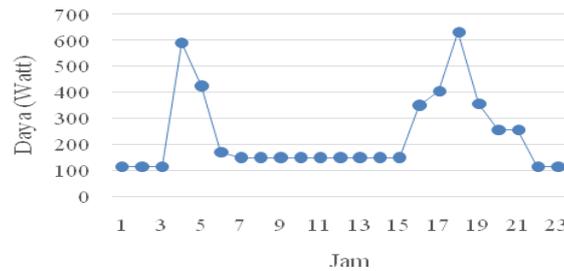


Gambar 13. State of charge (SOC) baterai *irradiance* PV 800 W/m^2

Baterai menyuplai daya sebesar 2.85 watt atau 0.32% daya beban, sehingga dapat dikatakan beban disuplai oleh daya yang dihasilkan oleh PV. Pada gambar 13, SOC baterai mengalami penurunan yang tidak signifikan sehingga dapat dikatakan baterai tidak dalam kondisi *charging* maupun *discharging*.

3.5 Pengujian Berdasarkan Waktu

Simulasi dilakukan dengan beban rumah tangga 900VA selama 24 jam, dengan kurva beban harian pada gambar 14. Beban mulai naik pukul 04.00 dan turun pada pukul 06.00. Dan beban puncak yaitu pada pukul 18.00 sebesar 630 watt.

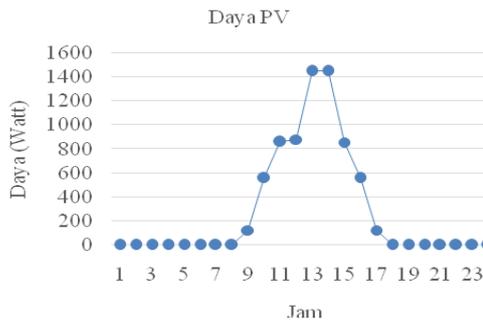


Gambar 14. Kurva beban harian rumah tangga 900 VA

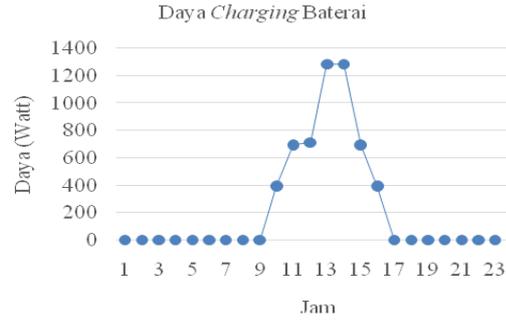
Dengan sistem *stand alone* yang telah dirancang, kebutuhan beban rumah tangga dapat disuplai dengan PV dan baterai seperti pada Tabel 6, berikut.

Tabel 6. Hasil pengujian beban rumah tangga

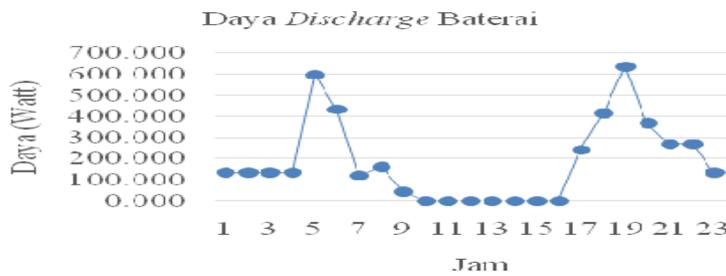
Jam	Daya Beban (Watt)	Daya PV (Watt)	Daya Baterai (Watt)	
			Discharge	Charge
12:00 AM	115.969	0	134.766	0
1:00 AM	115.969	0	134.766	0
2:00 AM	115.969	0	134.766	0
3:00 AM	115.969	0	134.766	0
4:00 AM	591.843	0	596.722	0
5:00 AM	427.004	0	435.086	0
6:00 AM	121.009	0	121.009	0
7:00 AM	150.587	0	160.682	0
8:00 AM	150.750	123.369	-41.084	0
9:00 AM	151.374	556.439	0	392.175
10:00 AM	151.806	858.262	0	693.637
11:00 AM	151.844	880.891	0	710.275
12:00 PM	152.632	1446.588	0	1280.953
1:00 PM	152.632	1446.588	0	1280.953
2:00 PM	151.803	856.360	0	691.632
3:00 PM	151.379	556.864	0	392.677
4:00 PM	351.399	123.923	241.122	0
5:00 PM	407.080	0	415.587	0
6:00 PM	631.744	0	635.907	0
7:00 PM	357.095	0	366.740	0
8:00 PM	256.870	0	269.186	0
9:00 PM	256.870	0	269.186	0
10:00 PM	115.969	0	134.766	0
11:00 PM	115.969	0	134.766	0



Gambar 15. Daya output PV selama 24 jam



Gambar 16. Daya charge baterai selama 24 jam



Gambar 17. Daya discharge baterai selama 24 jam

Pada gambar 15, menunjukkan daya keluaran maksimal PV selama 24 jam. PV mulai bekerja pada pukul 08.00 sampai pukul 17.00 dan menghasilkan daya paling tinggi dari pukul 12.00 hingga pukul 14.00. Gambar 16 dan 17 menunjukkan daya *charge* dan *discharge* baterai. Kedua mode operasi ini bekerja secara bergantian. Baterai akan *charging* pada pukul 10.00 hingga pukul 17.00 dan akan *discharge* untuk menyuplai beban pada sore hingga pagi hari.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan simulasi dan analisa, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Photovoltaic dan baterai dapat menjadi sumber energi listrik untuk rumah tangga 900 VA, 220 volt kualitas daya listrik yang memenuhi standard.
2. *Bi-directional switch* dapat mengatur aliran daya saat baterai *charge* maupun *discharge*, sehingga kontinuitas daya listrik bisa handal.
3. Penggunaan ukuran baterai yang tepat dapat menanggung beban saat PV tidak membangkitkan daya listrik.
4. Tegangan DC bus berada pada nilai 360 V, sehingga output inverter konstan 220 volt dengan frekuensi 50 Hz.

DAFTAR PUSTAKA

- Marra, F. et al., 2014. A Decentralized storage strategy for residential feeders with photovoltaics. *IEEE Trans. Smart Grid*, 5(2).
- Masters & M, G., 2004. Renewable and Efficient Electric Power Systems. In Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Rashid & Harunur, M., 2007. Power Electronics: Circuit, Devices, and Applications. In New Jersey: Prentice Hall.
- Zhiling, L. & Xinbo, R., 2008. Control Strategy of Bi-directional DC/DC Converter for a Novel Stand-alone Photovoltaic Power System. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*.