

Desain Pengembangan *Hybrid Bidirectional Inverter* 1500 Watt Dengan Menggabungkan Energi Alternatif Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dan Energi Utilitas Untuk Aplikasi Rumah Tangga

Hendri, Amir Hamzah

Alumni Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: hendri_men_91@yahoo.co.id

ABSTRACT

Solar power plant (SPP) is an alternative energy which is currently undergoing development but the use of solar power utilization is not optimal due to the intensity of sunlight in Indonesia is only about 5 hours a day . To optimize the use of solar power is so in this paper will be discussed about the development of hybrid bidirectional inverter 1500 Watt design that combines alternative energy solar power plant (SPP) with the energy utilities. Hybrid bidirectional inverter can work both ways , namely as inveter and as a rectifier so as to make solar power as a primary energy and energy utilities as secondary energy . In this paper also discusses how much value the efficiency of electric power saving that can be given by this hybrid system in household applications.

Keywords : *Hybrid Bidirectional Inverter, Alternative Energy, PLTS, SPWM, Household Applications.*

I. LATAR BELAKANG

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) menggunakan *photovoltaic* mengalami perkembangan penggunaan yang sangat pesat, karena *photovoltaic* memiliki karakteristik yang baik, yaitu umur kegunaan yang panjang, perkembangan komponen semikonduktor yang tidak mengakibatkan getaran mekanik dan biaya perawatan rendah [P. Veena, V *et al*, 2013]. Perkembangan teknologi elektronika daya sebagai penunjang pengubah energi dalam konverter daya juga mengalami perkembangan yang pesat [M. Sasikumar *et al*, 2012].

PLTS merupakan salah satu pembangkit listrik terbaru yang menghasilkan energi listrik yang tidak dapat diprediksi, karena sumber energi bergantung pada kondisi cuaca. Oleh karena itu, sistem

penyimpanan energi membutuhkan sistem penyimpanan yaitu menggunakan baterai. Panel surya *photovoltaic* mengubah energi radiasi sinar matahari menjadi listrik searah (dc). Listrik searah yang dihasilkan panel surya kemudian disimpan ke dalam baterai [Do-Hyun Kim *et al*, 2013].

Energi listrik searah yang dihasilkan oleh panel surya dan energi yang telah tersimpan dalam baterai, diubah bentuknya menjadi energi listrik bolak-balik. Hal ini disebabkan oleh beban-beban listrik yang membutuhkan arus bolak-balik seperti tv, lampu dan lain-lain, masih banyak yang menggunakan suplai listrik bolak-balik. Untuk mengubah energi listrik searah menjadi bolak-balik digunakan *inverter* (konverter dc-ac).

Untuk menjaga keberlangsungan suplai daya listrik ke beban-beban listrik

yang digunakan, dibutuhkan penggabungan (*hybrid*) sistem PLTS sebagai sumber energi primer dengan sistem pembangkit energi lain sebagai cadangan (*secondary*). Sistem pembangkit listrik yang dapat digunakan dapat bersumber dari energi seperti pembangkit listrik tenaga angin, minihidro, genset ataupun dari jaringan utilitas yang telah ada.

Dalam penelitian tugas akhir ini akan di gunakan sumber energi dari jaringan utilitas yang ada sebagai energi cadangan untuk menjaga keberlangsungan suplai listrik. Jaringan utilitas menggunakan sistem listrik bolak-balik. Untuk dapat melakukan proses penyimpanan energi ke baterai, maka listrik bolak-balik terlebih dahulu di ubah menjadi listrik searah. Proses ini membutuhkan konverter ac-dc.

Dua sistem konverter, yaitu dc-ac dan ac-dc dapat dijadikan menjadi satu konverter, yaitu yang disebut konverter *bidirectional* ac-dc atau disebut juga *bidirectional inverter*. Berbagai topologi konverter *bidirectional* ac-dc telah ditemukan dan begitu juga dengan metode kontrolnya, untuk meningkatkan efisiensi dan kinerjanya. Pada penelitian tugas akhir ini akan di desain hybrid *bidirectional inverter* 1500 Watt menggunakan metode kontrol SPWM (*Sine Pulse Width Modulation*) dengan menggabungkan energi alternatif pembangkit listrik tenaga surya dan energi listrik utilitas untuk aplikasi rumah tangga.

II. LANDASAN TEORI

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

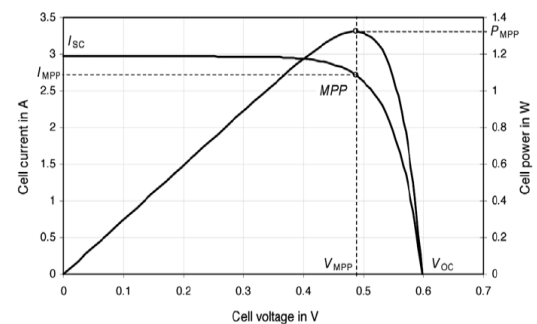
2.1.1. Modul Photovoltaic

Komponen utama pembangkit energi surya adalah modul photovoltaic (PV) yang berfungsi mengubah energi cahaya (foton) menjadi energi listrik. Listrik yang dihasilkan adalah listrik arus searah. Kapasitas daya modul surya diukur dalam satuan Watt-peak (Wp) dan merupakan spesifikasi modul surya yang menyatakan

besarnya daya yang bisa dihasilkan oleh modul surya pada saat insolasi surya yang diterima sebesar 1000 W/m^2 dan kondisi suhu lingkungan 25°C . Daya dan arus listrik yang dihasilkan modul surya berubah-ubah tergantung pada besar intensitas radiasi surya yang diterima. Daya keluaran modul surya juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan, bayangan, sudut kemiringan instalasi, dan kebersihan permukaan modul.

2.1.2. Karakteristik Sel Surya

Daya yang dikeluarkan oleh sel surya merupakan hasil perkalian antara tegangan (V) operasi dan arus (I) operasi. Kedua parameter ini dihasilkan ketika sel surya memperoleh penyinaran matahari. Berikut adalah kurva karakteristik antara arus dan tegangan dari sel surya :



Gambar 2.1 Kurva Karakteristik Sel Surya

Kurva diatas menunjukkan bahwa saat arus dan tegangan berada pada titik kerja maksimal (*maximum power Point*) maka akan menghasilkan daya keluaran maksimum (Pmmp). Tegangan di *Maximum power Point* (MPP) Vmmp, lebih kecil daripada tegangan rangkaian terbuka (Voc) dan arus saat MPP Impp, adalah lebih rendah dari arus short circuit (Isc)

- Short Circuit Current* (Isc) : terjadi pada suatu titik dimana tegangannya adalah nol, sehingga daya keluarannya adalah nol
- Open Circuit Voltage* (Voc) : terjadi pada suatu titik dimana arusnya adalah nol

nol, sehingga daya keluarannya juga bernilai nol

- c. *Maximum Power Point* (MPP) : adalah titik daya output maksimum yang mana kurva I-V sering disebut “*knee*”.

2.1.3. Cara Pemasangan Sel Surya

Untuk mendapatkan arus, tegangan, dan daya yang besar sesuai dengan yang dibutuhkan, maka beberapa sel surya harus dikombinasikan pemasangannya diantaranya :

1. Dengan cara pemasangan Seri,
2. Dengan cara pemasangan Paralel, dan
3. Dengan cara pemasangan secara seri dan paralel.

2.2. Baterai

Baterai adalah alat yang menyimpan daya yang dihasilkan oleh panel surya yang tidak segera digunakan oleh beban. Daya yang disimpan dapat digunakan saat periode radiasi matahari rendah atau pada malam hari. Komponen baterai kadang-kadang dinamakan akumulator (*accumulator*). Baterai menyimpan listrik dalam bentuk daya kimia. Baterai yang paling biasa digunakan dalam aplikasi surya adalah baterai yang bebas pemeliharaan bertimbal asam (*maintenance-free lead-acid batteries*), yang juga dinamakan baterai recombinant atau VRLA (klep pengatur asam timbal atau *valve regulated lead acid*).

Baterai memenuhi dua tujuan penting dalam sistem panel surya, yaitu untuk memberikan daya listrik kepada sistem ketika daya tidak disediakan oleh modul panel-panel surya, dan untuk menyimpan kelebihan daya yang ditimbulkan oleh panel-panel setiap kali daya itu melebihi beban. Baterai tersebut mengalami proses siklus menyimpan dan mengeluarkan, tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari. Selama waktu adanya matahari, modul panel surya menghasilkan daya listrik. Daya yang tidak digunakan dengan segera dipergunakan untuk mengisi baterai.

Selama waktu tidak adanya matahari, permintaan daya listrik disediakan oleh baterai, yang oleh karena itu akan mengeluarkannya.

Siklus menyimpan dan mengeluarkan ini terjadi setiap kali daya yang dihasilkan oleh panel tidak sama dengan daya yang dibutuhkan untuk mendukung beban. Kalau ada cukup matahari dan bebannya ringan, baterai akan menyimpan daya. Tentunya, baterai akan mengeluarkan daya pada malam hari setiap kali sejumlah daya diperlukan. Baterai juga akan mengeluarkan daya ketika penyinaran tidak cukup untuk menutupi kebutuhan beban (karena variasi alami kondisi keikliman, awan, debu, dan lain-lain).

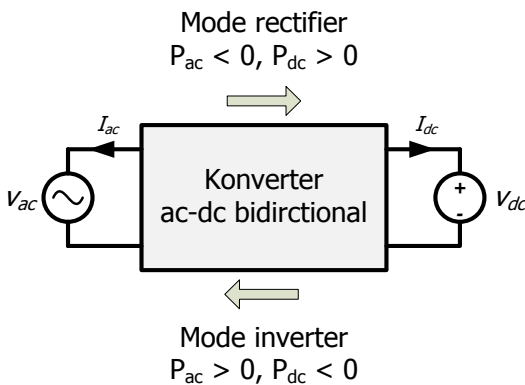
Ukuran kapasitas baterai dinyatakan dengan satuan *ampere-hours* (Ah). Baterai dengan kapasitas 100 Ah, tegangan 12 V dapat menyimpan energi sebesar 1,200 Wh (12 V x 100 Ah). Ukuran baterai yang digunakan pada sistem PV berbeda-beda, tergantung pada kebutuhan beban. Umumnya baterai memiliki efisiensi sekitar 80%.

2.3. Konverter AC-DC Bidirectional

Tegangan listrik bolak-balik dapat disearahkan dengan menggunakan konverter Dioda atau Thyristor. Penyearah (*rectifier*) ini dapat menimbulkan harmonisa arus bolak-balik pada sistem jaringan (*grid*). Konverter ac-dc dengan *Sine pulse width modulation* (SPWM) digunakan untuk meningkatkan faktor daya dan mengurangi harmonisa arus [Do-Hyun Kim *et al*, 2013; P. Veena *et al*, 2013; Ahmet Teke *et al*, 2014; Mohamed *et al*, 2014; M. Sasikumar *et al*, 2012, Mei Su *et al*, 2014].

Dalam sistem penyimpanan energi baterai, konverter ac-dc bidirectional dibutuhkan untuk mengirim energi antara baterai dan jaringan ac. Konverter bidirectional memiliki karakteristik dapat mengisi (*charging*) dan melepas (*discharging*) energi pada baterai. Diagram

blok konverter *bidirectional* seperti terlihat pada gambar 2, dengan P_{ac} adalah daya aktif di sisi penerima arus bolak-balik dan P_{dc} adalah daya di sisi penerima arus searah. Konverter bekerja sebagai penyearah bila daya dikirim dari jaringan arus bolak-balik ke sisi arus searah ($P_{ac} < 0$ dan $P_{dc} > 0$). Sebaliknya, konverter bekerja sebagai inverter bila daya dikirim dari sisi sumber arus searah ke jaringan ac ($P_{ac} > 0$ dan $P_{dc} < 0$).

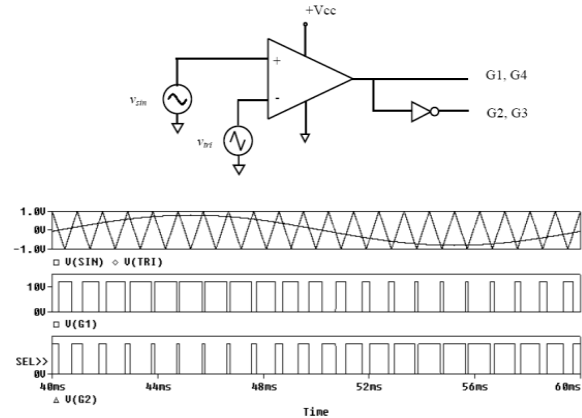


Gambar 2.2. Aliran Daya Dua Arah.

Komponen semikonduktor yang digunakan dalam konverter ac-dc *bidirectional* harus dapat mengalirkan arus dari dua arah. Biasanya, digunakan komponen semikonduktor *Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* (MOSFET) atau *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT) yang paralel dengan sebuah dioda.

2.4. Skema Modulasi

Sine Pulse Width Modulation (SPWM) merupakan teknik penyulutan *gate* IGBT pada *inverter* menggunakan sinyal sinus dan segitiga yang dikomparasikan [Sigit Prasetya, *et al*]. Prinsip kerja pembangkitan sinyal SPWM satu fasa adalah mengatur lebar pulsa mengikuti pola gelombang sinusoida. Frekuensi sinyal referensi menentukan frekuensi keluaran *inverter* [Sigit Prasetya, *et al*]. Gambar berikut merupakan teknik *switching* dengan metode SPWM.



Gambar 2.3. Sine Pulse Width Modulation (SPWM)

2.5. Battery Charge Regulator (BCR)

Alat pengatur merupakan perangkat elektronik yang mengatur aliran listrik dari modul surya ke baterai dan aliran listrik dari baterai ke peralatan listrik inverter. Pengontrol *Charge-Discharge* berfungsi melindungi baterai dari pengisian berlebihan dan melindungi dari pengiriman muatan arus berlebihan keinput terminal. BCR juga mempunyai beberapa indikator yang akan memberikan kemudahan kepada pengguna PLTS dengan memberikan informasi mengenai kondisi baterai sehingga pengguna PLTS dapat mengendalikan konsumsi energi menurut ketersediaan listrik yang terdapat didalam baterai. BCR sebagai pengatur sistem agar penggunaan listriknya aman dan efektif, sehingga semua komponen - komponen sistem aman dari bahaya perubahan level tegangan. BCR yang digunakan kapasitasnya tergantung dari kapasitas daya modul surya.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian desain pengembangan *hybrid bidirectional inverter* 1500 watt dengan menggabungkan energi alternatif pembangkit listrik tenaga surya dan energi utilitas untuk aplikasi rumah tangga ini dilakukan di Fakultas Teknik Universitas Riau yang telah dilakukan dari bulan November 2015 sampai bulan Juli 2016.

3.2. Metode Pengumpulan Data

Untuk mendapatkan data-data tersebut dilakukan beberapa metode pengumpulan data, yaitu:

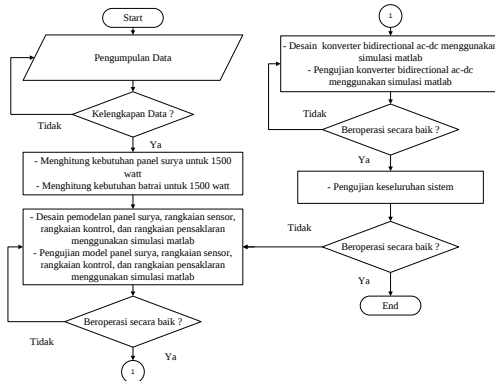
a. Metode Observasi

Metode *Observasi*, yaitu pengumpulan data dengan mengamati secara langsung terhadap Desain simulasi alat yang telah dibuat.

b. Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan dengan mengumpulkan data dari buku-buku referensi, jurnal-jurnal serta modul-modul yang relevan dengan permasalahan yang dibahas.

3.3. Flowchart Penelitian



Gambar 3. 1. Digram Alur Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Prakiraan Konsumsi Listrik Rumah Tangga

Berikut adalah tabel prakiraan konsumsi daya listrik untuk beban rumah tangga 900 VA dengan durasi 24 Jam.

Tabel 4.1 Prakiraan Konsumsi Daya Listrik Beban Rumah Tangga 900 VA

No	Beban	Jumlah (Unit)	Tegangan (Volt)	Cos ϕ	Daya (Watt)	Waktu Hidup (WIB)
1	Kulkas	1	220	0.56	90	00.00-23.59
2	Mesin Air	1	220	0.42	250	05.00-05.59 16.00-16.59
3	Mesin Cuci	1	220	0.99	330	08.00-08.59
4	Lampu Hemat Energi	7	220	0.99	18	18.00-05.59
5	TV 32"	1	220	0.99	90	18.00-23.59 06.00-06.59
6	Dispenser	1	220	0.97	330	06.00-10.59 12.00-15.59 18.00-21.59
7	Magic Com	1	220	0.97	400	11.00-11.59 17.00-17.59
8	Setrika	1	220	0.98	300	22.00-22.59

Dengan menggunakan rumus menghitung daya maka kita dapat menghitung daya semu masing-masing beban sebagai berikut :

Tabel 4.2 Prakiraan Daya Semu Beban Rumah Tangga 900 VA

No	Beban	Tegangan (Volt)	Cos ϕ	Daya (Watt)	Daya Semu (VA)
1	Kulkas	220	0.56	90	160.71429
2	Mesin Air	220	0.42	250	595.2381
3	Mesin Cuci	220	0.99	330	333.33333
4	Lampu Hemat Energi	220	0.99	18	18.181818
5	TV 32"	220	0.99	90	90.909091
6	Dispenser	220	0.97	330	340.20619
7	Magic Com	220	0.97	400	412.37113
8	Setrika	220	0.98	300	306.12245

Dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 kita dapat menghitung sebaran pemakaian daya yang terpakai dalam sehari sebagai berikut :

Tabel 4.3 Sebaran Pemakaian Daya Dalam Sehari

No	Waktu Hidup (WIB)	Total Daya (Watt)	Daya Semu Total (VA)	Cos ϕ Total	Arus Total (A)
1	00.00-04.59	216	287.98701	0.7500338	1.309031877
2	05.00-05.29	466	883.22511	0.5276118	4.014659583
3	06.00-06.59	510	591.82956	0.8617346	2.690134374
4	07.00-07.59	420	500.92047	0.8384564	2.276911233
5	08.00-08.59	750	834.2538	0.899007	3.792062748
6	09.00-10.59	420	500.92047	0.8384564	2.276911233
7	11.00-11.59	490	573.08542	0.8550209	2.604933726
8	12.00-15.59	420	500.92047	0.8384564	2.276911233
9	16.00-16.59	340	755.95238	0.4497638	3.436147186
10	17.00-17.59	490	573.08542	0.8550209	2.604933726
11	18.00-21.59	636	719.10229	0.8844361	3.26864677
12	22.00-23.59	606	685.01855	0.8846476	3.113720695

Dengan menggunakan Rumus,

$$V = Z \times I$$

$$Z = \frac{V}{I}$$

Dan,

$$\cos \phi = \frac{R}{Z}$$

$$R = Z \times \cos \phi$$

Dan,

$$Z = \sqrt{R^2 + XL^2}$$

$$XL = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

Serta,

$$XL = 2 \times \pi \times F \times L$$

$$L = \frac{XL}{2 \times \pi \times F}$$

Dimana,

V = Tegangan

I = Arus

Z = Impedansi

R = Resistansi

Cos ϕ = Sudut Fasa

XL = Reaktansi Induktif

L = Induktansi

Maka kita peroleh besaran Impedansi, Resistansi, Reaktansi Induktif dan Induktansi masing-masing beban sebagai berikut;

Tabel 4.4 Perhitungan Besar Beban Rumah Tangga 900 VA

No	Waktu Hidup (WIB)	Impedansi (Ω)	Resistansi (Ω)	Reaktansi Induktif (Ω)	Induktif (H)
1	00.00-04.59	168.06313	126.0530348	111.15687	0.3540028
2	05.00-05.29	54.799167	28.91268769	46.551103	0.1482519
3	06.00-06.59	81.780301	70.47291383	41.492001	0.1321401
4	07.00-07.59	96.622124	81.01344325	52.656024	0.1676943
5	08.00-08.59	58.015918	52.15671534	25.407159	0.0809145
6	09.00-10.59	96.622124	81.01344325	52.656024	0.1676943
7	11.00-11.59	84.455124	72.21089418	43.797884	0.1394837
8	12.00-15.59	96.622124	81.01344325	52.656024	0.1676943
9	16.00-16.59	64.025197	28.79621452	57.183948	0.1821145
10	17.00-17.59	84.455124	72.21089418	43.797884	0.1394837
11	18.00-21.59	67.306141	59.52797846	31.409177	0.1000292
12	22.00-23.59	70.655021	62.50479251	32.943631	0.104916

4.2 Analisis Kebutuhan Panel Surya dan Kebutuhan Baterai

4.2.1. Analisis Kebutuhan Panel Surya

Sebelum menghitung kebutuhan panel surya terlebih dahulu di hitung kebutuhan daya pada sistem, hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.1. selanjutnya di hitung kebutuhan Panel Surya dengan mempertimbangkan waktu operasi panel surya, dimana untuk daerah Indonesia panel surya hidup kurang lebih selama lima jam sehari. Dalam penelitian ini panel surya yang kita gunakan adalah panel surya yang memiliki spesifikasi 130 Wp, dengan demikian jumlah panel surya yang dibutuhkan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut;

Jumlah panel surya =

$$\frac{\text{Total Daya Beban}}{\text{Daya Panel} \times \text{Lama Panel Beroperasi}}$$

$$\text{Jumlah panel surya} = \frac{9802}{130 \times 5}$$

Jumlah panel surya = 15 Keping
(Pembulatan)

4.2.2. Analisis Kebutuhan Baterai

Baterai yang digunakan dalam sistem ini adalah baterai dengan tegangan 24 Vdc dan 75 AH. Dikarenakan tegangan sistem adalah 220 dan sistem tidak menggunakan trafo untuk menaikkan atau menurunkan tegangan maka 9 buah baterai akan dirangkai secara seri agar tegangannya mendekati 220 Vdc. Selanjutnya dengan tegangan baterai setelah diseri dan asumsi baterai hanya dapat digunakan 60% saja dari total kapasitas baterai maka kita dapat menentukan berapa jumlah baterai yang di butuhkan untuk mem-back-up sistem dengan persamaan berikut;

$$\text{Jumlah Baterai} = \frac{\text{Total Daya Beban} \times \text{NED}}{V \times I \times 60\%}$$

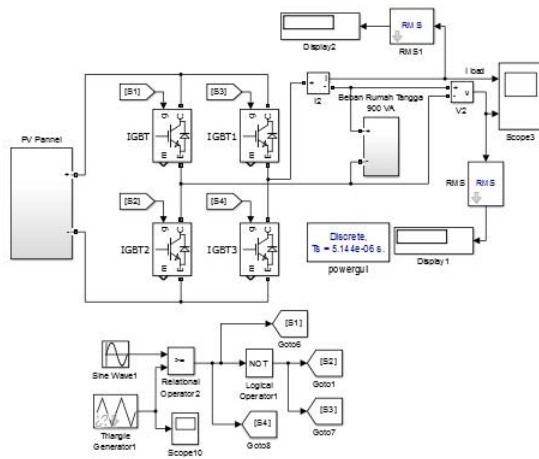
$$\text{Jumlah Baterai} = \frac{9802 \times 3}{216 \times 75 \times 60\%}$$

$$\text{Jumlah Baterai} = 3.025$$

4.3 Analisis Simulasi Bidirectional Inverter

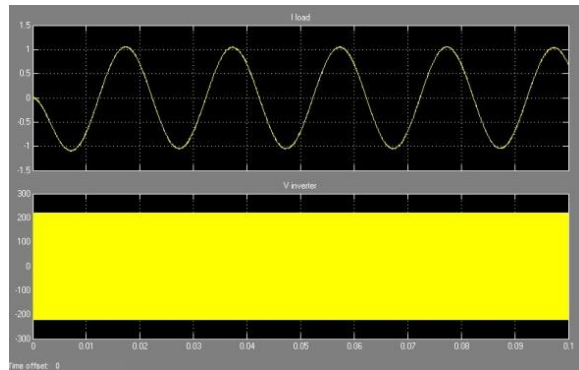
4.3.1. Analisis Simulasi Mode Inverter

Untuk menganalisa mode *Inverter* ini dilakukan analisa menggunakan simulasi mode *inverter* pada Simulink Matlab R2013b seperti terlihat pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1. Rangkaian *Bidirectional Inverter Mode Inverter* dengan Sumber Panel Surya

Pada mode ini, tegangan masukan DC akan diubah menjadi tegangan keluaran AC. Untuk memperoleh tegangan AC yang mendekati sinusoidal diperoleh dengan mengoperasikan IGBT secara bergantian yang dikendalikan dengan teknik SPWM yaitu membandingkan sinyal sinus dan sinyal segitiga. Berikut ini merupakan hasil keluaran dari dari rangkaian *bidirectional inverter mode inverter* ialah:



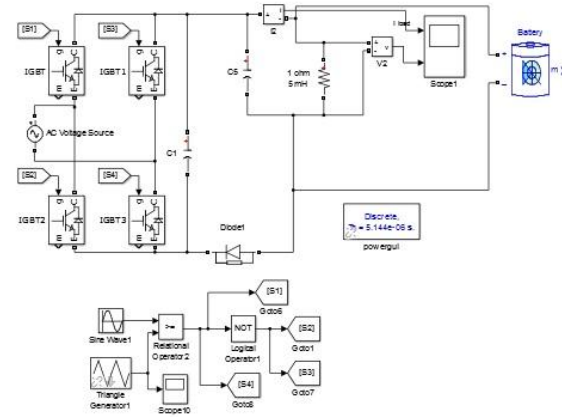
Gambar 4.2. Grafik Arus Dan Tegangan keluaran *Bidirectional Inverter Mode Inverter*

Gambar 4.2 menunjukkan hasil keluaran *bidirectional inverter* berupa arus dan tegangan AC yang mendekati sinusoidal dengan arus dan tegangan puncak masing-masing sebesar 1 amper dan 220 volt AC. Untuk mendapatkan gelombang arus dan

tegangan yang mendekati sinus ini digunakan teknik pensaklaran SPWM. Berikut ini merupakan kombinasi dari pensaklaran IGBT yang diatur oleh SPWM pada *inverter*.

4.3.2. Analisis Simulasi Mode Penyearah

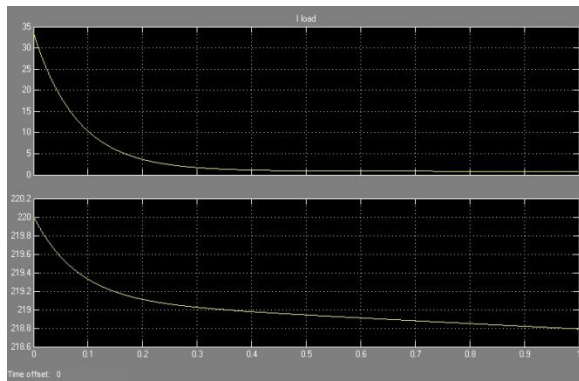
Pada analisa mode penyearah ini penulis menggunakan simulasi mode penyearah seperti pada gambar berikut.



Gambar 4.3. Rangkaian *Bidirectional Inverter Mode Penyearah*

Pada mode penyearah, tegangan masukan AC dari PLN dikonversikan menjadi tegangan keluaran DC. Pengkonversian tegangan AC menjadi tegangan DC bertujuan untuk mengisi baterai DC 220 Volt yang berfungsi sebagai sumber cadangan apabila tidak disuplai oleh panel surya. Pada mode penyearah ini, tegangan AC yang telah disearahkan menjadi tegangan DC dengan tegangan keluaran sebesar 220 Vdc dengan arus pengisian sebesar 2.8 Amper, sedangkan arus pengisian baterai dari PLTS adalah 6.4 Amper.

Berikut ini bentuk tegangan dan arus pengisian baterai DC 220 Volt seperti pada gambar 4.4.

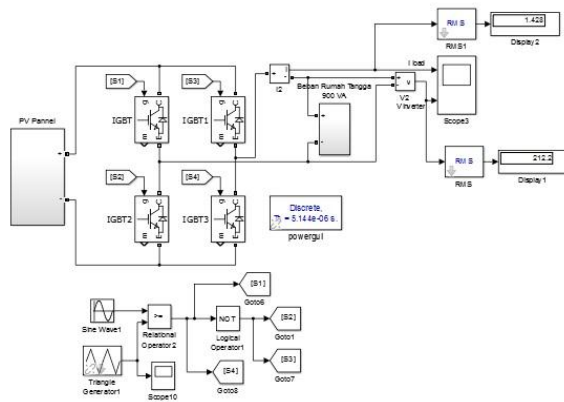


Gambar 4.4. Grafik Tegangan (bawah) Dan Arus (atas) Pengisian Baterai

4.4 Analisis Penggunaan daya dan Efisiensi Pemakaian Energi pengembangan Rangkaian Bidirectional Inverter

4.4.1. Analisis Penggunaan Daya

Sebelum menganalisa penggunaan daya, terlebih dahulu dilakukan pengukuran arus dan tegangan pada keluaran rangkaian pada waktu hidup setiap beban, seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 4.5. Rangkaian Pengukuran Arus Dan Tegangan Keluaran Bidirectional Inverter

Dari hasil pengukuran kita memperoleh nilai arus dan tegangan pada masing-masing beban pada waktu yang telah ditentukan sebagai berikut;

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Arus Dan Tegangan Beban Rumah Tangga 900 VA

No	Waktu Hidup (WIB)	Arus Terukur (Amper)	Tegangan Terukur (Volt)
1	00.00-04.59	0.7752	216.1
2	05.00-05.59	2.312	216.1
3	06.00-06.59	1.603	216.1
4	07.00-07.59	1.356	216.1
5	08.00-08.59	2.257	216.1
6	09.00-10.59	1.356	216.1
		1.266	213
7	11.00-11.59	1.428	212.2
8	12.00-15.59	1.266	213
		1.356	216.1
9	16.00-16.59	1.954	216.1
10	17.00-17.59	1.552	216.1
11	18.00-21.59	1.947	216.1
12	22.00-23.59	1.855	216.1

Setelah mendapatkan nilai arus dan tegangan hasil pengukuran selanjutnya dilakukan analisa pemakaian daya disetiap waktu hidup beban rumah tangga untuk mengetahui ketahanan sistem dengan cara mengurangkan kuat arus per jam (AH) sumber dengan kuat arus perjam (AH) yang dipakai beban, dengan perhitungan sebagai berikut;

$$\text{Ketahanan Daya} = \left[\left(\frac{\text{Arus Baterai}}{\text{Arus Beban}} \right) - \text{Waktu Hidup} \right] \times \text{Arus Beban}$$

Dengan melakukan perhitungan seperti diatas akan diperoleh besar penggunaan daya pada masing-masing beban seperti pada tabel dibawah ini;

Tabel 4.6 Pemakaian Arus Perjam (AH) Beban Rumah Tangga Pada Hari Pertama

No	Waktu Hidup (WIB)	Arus Baterai (AH)	Arus Panel Surya (A)	Arus PLN Terpakai (A)	Pengisian Baterai (AH)
1	00.00-04.59	221.124			
2	05.00-05.59	218.812			
3	06.00-06.59	217.209			
4	07.00-07.59	215.853			
5	08.00-08.59	213.596			
6	09.00-10.59	212.24	1.1976364		218.64
7	11.00-11.59		1.0356364		225
8	12.00-15.59	223.644	1.1976364		
9	16.00-16.59	221.69			
10	17.00-17.59	220.138			
11	18.00-21.59	212.35			
12	22.00-23.59	208.64			

Tabel 4.7 Pemakaian Arus Perjam (AH)
Beban Rumah Tangga Pada Hari Kedua

No	Hari Kedua				
	Waktu Hidup (WIB)	Arus Baterai (AH)	Arus Panel Surya (A)	Arus PLN Terpakai (A)	Pengisian Baterai (AH)
1	00.00-04.59	204.764			
2	05.00-05.59	202.452			
3	06.00-06.59	200.849			
4	07.00-07.59	199.493			
5	08.00-08.59	197.236			
6	09.00-10.59	195.88	1.1976364		202.28
7	11.00-11.59		1.0356364		208.68
8	12.00-15.59	223.644	1.1976364		225
9	16.00-16.59	221.69			
10	17.00-17.59	220.138			
11	18.00-21.59	212.35			
12	22.00-23.59	208.64			

Tabel 4.8 Pemakaian Arus Perjam (AH)
Beban Rumah Tangga Pada Saat *No Energy*
Day Hari Pertama

No	Hari Pertama				
	Waktu Hidup (WIB)	Arus Baterai (AH)	Arus Panel Surya (A)	Arus PLN Terpakai (A)	Pengisian Baterai (AH)
1	00.00-04.59	204.764			
2	05.00-05.59	202.452			
3	06.00-06.59	200.849			
4	07.00-07.59	199.493			
5	08.00-08.59	197.236			
6	09.00-10.59	194.524			
7	11.00-11.59	192.972			
8	12.00-15.59	187.548			
9	16.00-16.59	185.594			
10	17.00-17.59	184.042			
11	18.00-21.59	176.254			
12	22.00-23.59	172.544			

Tabel 4.9 Pemakaian Arus Perjam (AH)
Beban Rumah Tangga Pada Saat *No Energy*
Day Hari Kedua

No	Hari Kedua				
	Waktu Hidup (WIB)	Arus Baterai (AH)	Arus Panel Surya (A)	Arus PLN Terpakai (A)	Pengisian Baterai (AH)
1	00.00-04.59	168.668			
2	05.00-05.59	166.356			
3	06.00-06.59	164.753			
4	07.00-07.59	163.397			
5	08.00-08.59	161.14			
6	09.00-10.59	158.428			
7	11.00-11.59	156.876			
8	12.00-15.59	151.452			
9	16.00-16.59	149.498			
10	17.00-17.59	147.946			
11	18.00-21.59	140.158			
12	22.00-23.59	136.448			

Tabel 4.10 Pemakaian Arus Perjam (AH)
Beban Rumah Tangga Pada Saat *No Energy*
Day Hari Ketiga

No	Hari Ketiga				
	Waktu Hidup (WIB)	Arus Baterai (AH)	Arus Panel Surya (A)	Arus PLN Terpakai (A)	Pengisian Baterai (AH)
1	00.00-04.59	132.572			
2	05.00-05.59	130.26			
3	06.00-06.59	128.657			
4	07.00-07.59	127.301			
5	08.00-08.59	125.044			
6	09.00-10.59	122.332			
7	11.00-11.59	120.78			
8	12.00-15.59	115.356			
9	16.00-16.59	113.402			
10	17.00-17.59	111.85			
11	18.00-21.59	104.062			
12	22.00-23.59	100.352			

Tabel 4.11 Pemakaian Arus Perjam (AH)
Beban Rumah Tangga Setelah *No Energy*
Day Hari Pertama

No	Hari Pertama				
	Waktu Hidup (WIB)	Arus Baterai (AH)	Arus Panel Surya (A)	Arus PLN Terpakai (A)	Pengisian Baterai (AH)
1	00.00-04.59	96.476			
2	05.00-05.59	94.164			
3	06.00-06.59	92.561			
4	07.00-07.59	91.205			
5	08.00-08.59	88.948		3.852	92.8
6	09.00-10.59	91.444	1.1976364		103.444
7	11.00-11.59		1.0356364		110.844
8	12.00-15.59	122.088	1.1976364		133.044
9	16.00-16.59	120.134			
10	17.00-17.59	118.582			
11	18.00-21.59	110.794			
12	22.00-23.59	107.084			

Tabel 4.12 Pemakaian Arus Perjam (AH)
Beban Rumah Tangga Setelah *No Energy*
Day Hari Kedua

No	Hari Kedua				
	Waktu Hidup (WIB)	Baterai (AH)	Panel Surya (AH)	PLN (AH)	Pengisian Baterai (AH)
1	00.00-04.59	103.208			
2	05.00-05.59	100.896			
3	06.00-06.59	99.293			
4	07.00-07.59	97.937			
5	08.00-08.59	95.68			
6	09.00-10.59	94.324	0.1976364		100.724
7	11.00-11.59		0.0356364		107.124
8	12.00-15.59	124.968	0.1976364		126.324
9	16.00-16.59	123.014			
10	17.00-17.59	121.462			
11	18.00-21.59	113.674			
12	22.00-23.59	109.964			

Dari tabel Pemakaian Arus Perjam (AH) Beban Rumah Tangga dapat dilihat bahwa PLN hanya menyala pada saat setelah *No Energy Day* hari pertama. PLN hidup pada jam 08.00-08.59 selama 28 menit. Pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 dapat dilihat arus pada baterai setelah mensuplai beban pada pukul 22.00-23.59, pada Tabel 4.11 nilai arus baterai adalah 107.084 A dan pada Tabel 4.12 nilai arus baterai adalah 109.964 A. Dengan membandingkan kedua nilai maka dapat disimpulkan setelah *No Energy Day* setiap harinya baterai arus baterai akan bertambah sebesar 2.88 Amper sampai arus baterai terisi penuh kembali.

4.4.2. Analisis Efisiensi Pemakaian Energi Sistem Hybrid Bidirectional Inverter

Efisiensi pemakaian energi sistem *hybrid bidirectional inverter* ini dapat diketahui dengan cara membandingkan penggunaan daya yang di suplai oleh PLN dalam setahun sebelum menggunakan *hybrid* dengan penggunaan daya yang disuplai oleh PLN setelah menggunakan sistem *hybrid*. Semakin besar nilai efisiensi sistem maka semakin baik sistem ini untuk diterapkan dalam aplikasi rumah tangga. Untuk menentukan sistem ini layak diterapkan dalam aplikasi rumah tangga atau tidak, penulis telah menentukan nilai efisiensi minimum yang harus dimiliki sistem ini yaitu sebesar 90%. Nilai efisiensi sistem ini dapat kita hitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut;

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} \\ &= 100\% \\ &- \left(\frac{\text{KWh PLN per setahun}}{\text{KWh total Beban per tahun}} \times 100\% \right) \end{aligned}$$

Dari Tabel 4.6, Tabel 4.7, Tabel 4.8, Tabel 4.9, Tabel 4.10, Tabel 4.11, Tabel 4.12, dapat kita lihat bahwa arus yang terpakai dari sumber PLN adalah 8.452 selama 1 jam yaitu pada pukul 08.00 – 08.59 WIB, dan KWh Total beban adalah 7.83464

KW dalam sehari, sehingga kita dapat menghitung besar nilai efisiensi sistem *Hybrid* sebagai berikut;

$$\text{KWh PLN} = \frac{V \times I \times \text{Lama Hidup}}{1000}$$

$$\text{KWh PLN} = \frac{220 \times 3.852 \times \left(\frac{28}{60}\right)}{1000}$$

$$\text{KWh PLN} = 0.3955$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} \\ &= 100\% - \left(\frac{0.3955}{7.83464 \times 365} \times 100\% \right) \end{aligned}$$

$$\text{Efisiensi} = 99.9862 \%$$

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi *bidirectional inverter* 1500 watt, maka penulis dapat menyimpulkan bahwa sistem *hybrid bidirectional inverter* ini dapat diaplikasikan dalam rumah tangga karena memiliki nilai efisiensi pemakaian energi listrik utilitas cukup tinggi yaitu sebesar 99.9862 %.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan pengukuran langsung pada besar harmonisa arus dan tegangan keluaran *bidirectional inverter* dan membuat filter yang cocok untuk memperkecil nilai harmonisanya dan penelitian selanjutnya dapat melanjutkan penelitian ini dengan merancang dan menganalisa secara langsung *bidirectional inverter*nya, tidak lagi di analisa dalam model simulasi agar data yang diperoleh lebih valid.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmet Teke, Mohammad Barghi Latran, 2014, Review of Multifunctional

- Inverter Topologies and Control Schemes Used in Distributed Generation, *Journal of Power Electronics*, Vol. 14, No. 2, pp. 324-340.
- Amakye Dickson Ntoni, 2014, "Control of inverters to support bidirectional power Flow in grid connected systems" *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*.
- Ankit Varshney, Abu Tariq, 2014, "Simulink Model of Solar Array for Photovoltaic Power Generation System", *International Journal of Electronic and Electrical Engineering* ISSN 0974-2174, Volume 7, Number 2.
- Aulia Abi Yusuf, 2016, "Desain Dan Analisa *Bidirectional Inverter* Sebagai Penggerak Mesin Induksi Satu Fasa Dengan Sumber Baterai DC 36 Volt", Skripsi Sarjana Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau.
- Desni Novi, 2013, "Kajian Pasokan Energi Alternatif Pada Durasi Beban Puncak Untuk Rumah Tangga Sebagai Solusi Mengatasi Krisis Energi", Skripsi Sarjana Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau.
- Do-Hyun Kim, Yoon-Seok Lee, Byung-Moon Han, Ju-Yong Kim, Woo-Kyu Chae, 2013, "Grid-tied Power Converter for Battery Energy Storage Composed of 2-stage DC-DC Converter" *JEET*.2013.8.6.742.
<http://elektronikabersama.web.id/2015/03/mengukur-arus-beban-beban-listrik-rumah.html?m=1> (Akses 24 Juni 2016)
<http://pabriksolarpanel.indonetwork.co.id> (Akses 1 Juli 2016)
- Jitendra Bikaneria, Surya Prakash Joshi, , A.R Joshi, 2014, "Modeling and Simulation of PV Cell using One-diode model", *International Journal of Scientific and Research Publications*, Volume 3, Issue 10.
- M. Sasikumar, S. Chenthur Pandian, 2012, "Modified Bi-directional AC/DC Power Converter with Power Factor Correction", *IJE TRANSACTIONS B Applications* Vol. 25, No. 3.
- Md. Parvez Akter, Saad Mekhilef, Nadia Mei Lin Tan, and Hirofumi Akagi, 2015, "Model Predictive Control of Bidirectional AC-DC Converter for Energy Storage System", *J Electr Eng Technol.*;10(1): 165-175
<http://dx.doi.org/10.5370/JEET.2015.10.1.165>.
- Mei Su, Hua Li, Yao Sun, and Wenjing Xiong, 2014, "High-Efficiency Bidirectional AC/DC Topology or V2G Applications", *Journal of Power Electronics*, Vol. 14, No. 5.
- Mohamed, M. Elshaer, and O. Mohammed, "Bi-directional AC-DC/DC-AC converter for power sharing of hybrid AC/DC systems," in 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2011, pp. 1–8.
- P. Veena, V. Indragandhi, R. Jeyabharath, 2013, "An Interleaved Soft Switching Boost Converter with Bidirectional Full Bridge Inverter for Photo Voltaic Power Generation", *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 6(22): 4204-4210, 2013.
- Sigit Prasetya, M. Zaenal Efendi, Sutedjo, "Pemanfaatan Harmonisa pada Beban Non Linier Sebagai Sumber Energi Menggunakan Full Bridge DC-DC Converter dan Inverter", *Jurnal Teknik Elektro Industri PENS-ITS*