

# Desain Konverter Pada Sistem Hybrid PV-Grid Berbasis Mikrokontroler PIC16F877

Tarmizi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. T. Syech Andurrauf No.7, Darussalam, Banda Aceh

Email: tarmizi\_ee@yahoo.com

**Abstrak**—Hybrid PV-Grid menggabungkan dua sumber energi listrik yaitu grid (PLN) dan PV (*Photovoltaics*). Tegangan dari sumber PV sebesar 48 volt dc dinaikan dan diubah ke tegangan ac 280 volt dengan menggunakan konverter. Sedangkan sumber dari grid dijadikan sebagai *infinite bus*. Konverter terdiri dari konverter dc ke dc jenis forward konverter *full-bridge* dan inverter jenis SPWM. Sinyal SPWM dihasilkan dengan metode pembandingan, frekuensi switching 50kHz, sedangkan sinyal PWM untuk konverter dc ke dc dan sistem kontroler menggunakan mikrokontroler PIC 16F877. Keluaran inverter terhubung ke busbar ac menghasilkan gelombang sinusoidal dengan frekuensi 50Hz dan arus maksimum 1,33A, sedangkan tegangannya mengikuti tegangan grid. Bila beban menyerap arus melebihi dari 1,33A maka kekurangannya akan disuplai dari grid.

**Kata Kunci.** *Hybrid, Konverter dc ke dc, Inverter, SPWM, PV, Mikrokontroler PIC 16F877.*

## I. PENDAHULUAN

Jurnal Sampai dengan akhir tahun 2009 kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik di Indonesia mencapai 30.915,35 MW (PLN 25.466,16 MW dan Non PLN 5.449,19 MW) [1]. Dari 25.466,16 MW kapasitas PLN yang terpasang, sebesar 72,85% dihasilkan dari bahan bakar fosil (bakar gas 28,58, minyak bumi 25,28% dan batu bara 18,99%). Sisanya tenaga air 11,96%, panas bumi sebesar 1,51% dan lain-lain. Harga BBM yang mencapai antara 60 – 70 US dollar per barel berdampak terhadap semakin mahal biaya penyediaan tenaga listrik nasional [2].

Mengatasi hal tersebut diatas, sekarang sudah mulai digalakkan energi terbarukan seperti energi surya, angin, mikro hidro, geothermal. Walaupun demikian saat ini hanya 4,4 % energi terbarukan digunakan dari total kebutuhan energi listrik di Indonesia [3].

Energi surya adalah energi terbarukan yang paling melimpah di Indonesia. Pemanfaatan energi surya melalui sistem photovoltaic baru di tingkat pendesaan dan kepulauan dengan pola pemukiman yang menyebar dan tidak terjangkau PLN. Energi surya tak bisa dimanfaatkan secara optimal karena investasinya sangat mahal dibandingkan dengan menggunakan energi listrik dari PLN [4].

Sehubungan dengan hal diatas, dalam penelitian ini didesain sebuah prototipe konverter untuk sistem hybrid PV-Grid. Pada sistem ini, PV difungsikan sebagai penyuplai daya utama ke beban dan kekurang daya beban di ambil secukupnya dari grid (PLN). Sistem ini untuk digunakan pada konsumen rumah tangga, mengingat dari 62.893,78 MVA daya tersambung PLN pada tahun 2009, 30.700 MVA adalah sektor rumah tangga dengan 37.099.830 pelanggan dari total 40.117.685 pelanggan. Dengan demikian, apabila setiap rumah dapat menggunakan sistem sistem hybrid PV-Grid maka dapat mengurangi kapasitas pembangkit PLN terutama dari bahan bakar fosil. [3].

## II. TEKNOLOGI VP

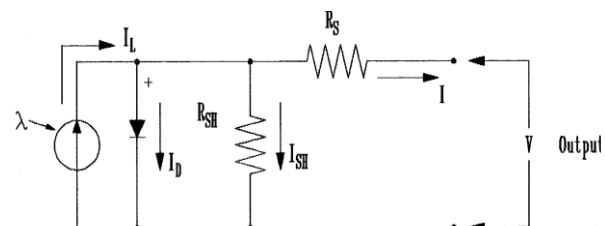
Sebuah sel PV dapat direpresentasikan dengan rangkaian ekuivalen seperti pada Gambar 1. Arus  $I_L$  pada terminal output adalah sama dengan arus yang dibangkitkan cahaya  $I_L$ . Arus dioda  $I_D$  dan arus kebocoran paralel  $I_{sh}$  bernilai kecil. Resistansi seri  $R_s$  merepresentasikan resistansi internal aliran arus. Resistansi paralel  $R_{sh}$  dihubungkan untuk membalik arus bocor ke *ground*. Dari rangkaian ekuivalen, terlihat arus disampaikan ke beban eksternal samabesar dengan  $I_L$  lebih kecil dari arus  $I_D$  dan  $I_{sh}$ .

Tegangan open circuit  $V_{oc}$  dari panel PV yang diperoleh ketika arus beban bernilai nol dinyatakan dengan persamaan [5] :

$$V_{oc} = V + IR_{sh} \quad (1)$$

Dan arus dioda dinyatakan dengan persamaan [5]:

$$I_d = I_D \left[ e^{\frac{QV_{oc}}{AKT}} - 1 \right] \quad (2)$$



Gambar 1. Rangkaian ekuivalen sel PV [5]

dimana:  $I_D$  = arus saturasi dari dioda

$Q$  = Muatan,  $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$

$A$  = Konstanta kurva

$k$  = konstanta Boltzman,  $1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$

$T$  = Temperatur ( $^{\circ}\text{K}$ )

Dan arus beban dinyatakan dengan persamaan [5]:

$$I = I_{Lo} - I_D \left[ e^{\frac{QV_{oc}}{AKT}} - 1 \right] - \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \quad (3)$$

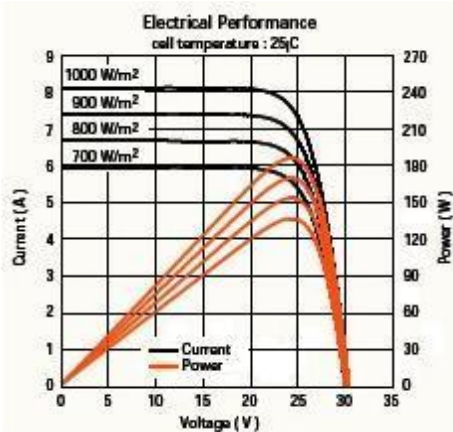
Panel PV dalam keadaan ideal memiliki nilai parameter input  $R_s = 0$  dan  $R_{sh} = \infty$ . Efisiensi konversi panel PV sensitif terhadap perubahan variasi nilai  $R_s$  tetapi tidak sensitif terhadap perubahan nilai dari  $R_{sh}$ . Sedikit peningkatan pada  $R_s$  akan mengurangi daya output dari panel PV dengan begitu signifikan [5].

Intensitas cahaya yang mampu diserap panel PV merupakan faktor penting yang menentukan besar daya yang dihasilkan sistem. Dari gambar 2 dibawah dapat dilihat bahwa makin besar intensitas cahaya matahari, maka akan didapat nilai arus dan tegangan yang semakin besar pula, sehingga akan mendapatkan daya yang maksimum dari panel PV yang dihasilkan.

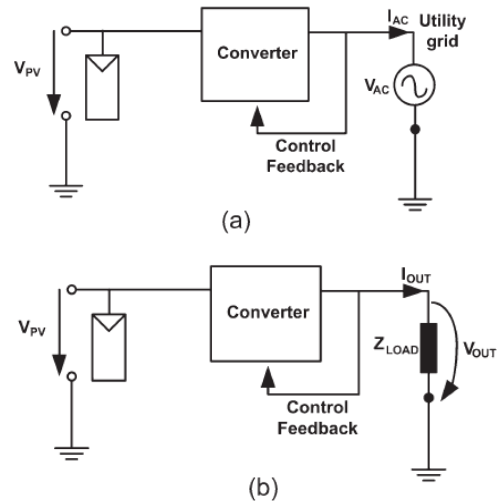
Pada umumnya, sel-sel PV dapat dihubungkan ke grid (grid connected), dan sebagai sistem terisolasi (off-grid/stand-alone). Kedua aplikasi tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 3 [7].

Konverter pada sistem PV pada umumnya terdiri inverter, dc ke dc konverter dan MPPT (Maximum power point tracking). Pada sistem off-grid menggunakan baterai untuk menyimpan daya, sedangkan sistem grid-connected daya yang dihasilkan PV disalurkan ke grid. Oleh karena itu pada sistem grid-connected, control feedback harus mampu mensinkronkan frekuensi, sudut fasa dan tegangan antara PV dan grid.

Konverter pada sistem PV ada dua kategori utama yaitu menggunakan isolasi antara inverter dan tanpa menggunakan isolasi. Isolasi yang digunakan menggunakan transformator yang dapat ditempatkan di kedua grid atau lowfrequency (LF) sisi atau di sisi HF. Penggunaan transformator mengarah ke isolasi yang diperlukan (Persyaratan di AS), dan konverter modern cenderung menggunakan HF transformator. Pada penggunaan HF transformator biasanya menggunakan konverter jembatan penuh terutama pada tingkat daya di atas 750 W.



Gambar 2. Karakteristik I-V sel PV [6]



Gambar 3. Aplikasi sisyem sel PV [5] (a) grid-connected (b). Off-grid

Konverter tanpa isolasi untuk sistem PV biasanya diimplementasikan di beberapa negara di mana grid isolasi tidak wajib [7].

### III. KONVERTER

Konverter adalah pengubah dari suatu bentuk atau level tegangan ke bentuk atau level tegangan lain. Dikenal ada 4 konverter yaitu konverter ac ke dc (*rectifier*), konverter ac ke ac, konverter dc ke dc (*dc converter*) dan konverter dc ke ac (*inverter*). penelitian dituliskan ke dalam beberapa bagian. Bagian pertama adalah *Introduksi*. Bagian kedua dan ketiga masing-masing *Latar Belakang* dan *Metode Usulan*. Bagian keempat dan kelima adalah *Eksperimen* dan *Kesimpulan*. Naskah berupa *review* literatur seharusnya memiliki aliran ide yang logis, menggunakan daftar bacaan terbaru dibidang yang di-review dan menyajikan penelitian sebelumnya secara lugas dan komprehensif.

#### A. DC Converter

DC converter ialah peralatan yang mengubah level tegangan dc dari suatu level tegangan ke level lain (step down atau step up) dengan menggunakan teknik switching. DC converter dapat dibedakan atas buck converter, boost converter, buck-boost converter, SEPIC converter, Cuk converter, playback converter dan forward converter. Untuk menaikkan tegangan DC di atas 10 kali lipat, forward konverter lebih baik karena lebih kecil kehilangan daya. Rangkaian forward konverter full bridge diperlihatkan pada Gambar 4.

Mosfet diswitching berpasangan  $Q_1, Q_2$  dan  $Q_3, Q_4$  dengan sinyal PWM (Pulse With Modulation). Tegangan keluaran  $v_o$  adalah DC, besarnya level tegangan tergantung dari duty cycle sinyal PWM dan perbandingan belitan trasformator, dalam bentuk persamaan dapat ditulis [8]:

$$v_o = \frac{n_2}{n_1} \frac{V_s}{2(-D)} \quad (4)$$

dimana:

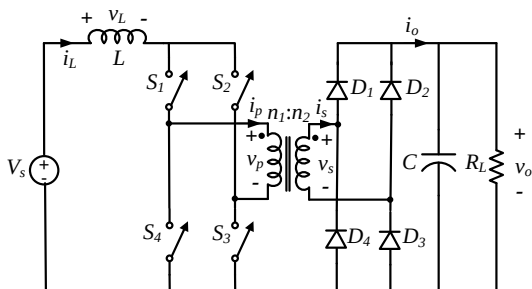
$v_o$  = tegangan output

$n_1$  = belitan transformator sisi primner

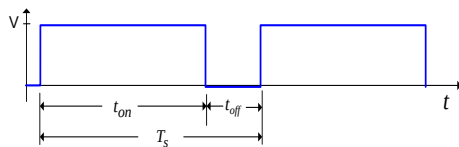
$n_2$  = belitan transformator sisi skunder

$D$  = duty cycle

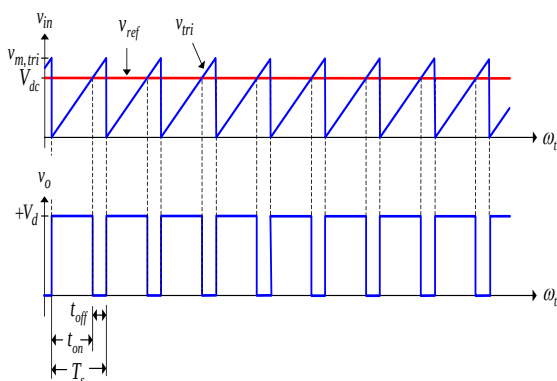
$V_s$  = tegangan sumber



Gambar 4. Rangkaian Forward Konverter full bridge [8]



Gambar 5. Bentuk sinyal PWM [9]



Gambar 6. Proses pembentukan sinyal PWM[9]

PWM adalah sebuah sinyal modulasi dimana perioda  $T$  dijaga konstan, sedangkan waktu on dan waktu off divariasikan, bentuk sinyal PWM seperti pada Gambar 5.

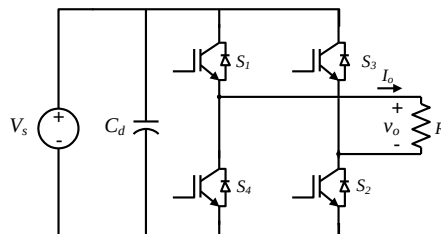
Sinyal PWM dibentuk dari hasil perbandingan antara gelombang segitiga ( $V_{sw}$ ) dengan dc yang variable seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

### B. Inverter

Inverter adalah suatu peralatan yang mengubah sumber dc menjadi ac dan disebut juga dengan *konverter dc ke ac*. Rangkaian inverter satu fasa diperlihatkan pada gambar 7.

Tegangan output inverter merupakan tegangan ac yang tetap atau berubah pada frekuensi yang tetap atau berubah. Tegangan output yang berubah dapat diperoleh dengan merubah tegangan input dc dan mempertahankan gain inverter tetap konstan. Jika tegangan input tetap konstan, tegangan output yang berubah diperoleh dengan merubah gain inverter yaitu dengan pengontrolan PWM (Pulse Width Modulation). Gain inverter didefinisikan sebagai rasio tegangan output ac terhadap tegangan input dc. Sedangkan frekuensi output dapat diubah dengan mengubah frekuensi sinyal referensi [10].

Setiap switch (S) dapat diswitching dengan sinyal segi empat, namun bentuk gelombang tegangan output inverter mengandung harmonisa dengan THD (*Total Harmonic Distortion*) tertentu. Dengan tersedianya komponen power semikonduktor berkecepatan tinggi/frekuensi tinggi, THD dapat diperkecil dengan berbagai macam metode switching seperti PWM sinusoidal.



Gambar 7. Rangkaian inverter satu fasa [9]

Inverter satu fasa bekerja pada kondisi  $S_1, S_2$  on (hidup) dan  $S_3, S_4$  off (mati) begitu juga sebaliknya.  $S_1, S_3$  dan  $S_2, S_4$  tidak boleh dihidupkan pada waktu yang bersamaan yang akan menyebabkan hubungan singkat pada tegangan sumber dc. Tegangan output RMS adalah [10] :

$$v_o = \left( \frac{2}{T_o} \int_0^{T_o/2} \frac{V_s^2}{4} dt \right)^{1/2} = \frac{V_s}{2} \quad (5)$$

Tegangan output instantenous dalam komponen-komponen harmonik adalah [10]:

$$v_o = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi} \sin n\omega t \quad (6)$$

Teknik switching dengan sinyal PWM sinusoidal dapat mereduksi arus harmonisa dan dapat dihasilkan gelombang output mendekati sinusoidal. Pada PWM sinusoidal, sinyal referensi  $V_{ref}$  adalah gelombang sinusoidal dan sinyal switching  $V_{tri}$  adalah segi tiga. Output modulasi adalah deretan pulsa dengan lebar bervariasi tergantung pada tegangan referensi sesaat  $V_{ref}(t)$ . Bentuk PWM sinusoidal seperti pada Gambar 8, edges pulsa PWM dihasilkan oleh penyilangan dua  $V_{in}$  ( $V_{ref}$  dan  $V_{tri}$ ).

Perbandingan sinyal referensi dan sinyal switching disebut dengan indek modulasi ( $m_a$ ), dan indek modulasi frekuensi ( $m_f$ ) dinyatakan dalam persamaan [10].

$$m_a = \frac{V_{m,ref}}{V_{m,tri}} \quad \text{dan} \quad m_f = \frac{f_{tri}}{f_{ref}} \quad (7)$$

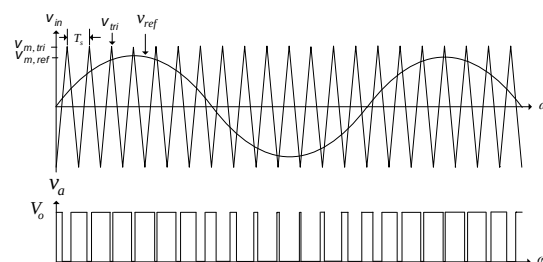
dimana :

$m_a$  = indek modulasi amplitudo

$m_f$  = indek modulasi frekuensi

$V_{m,ref}$  = tegangan referensi maksimum

$V_{m,tri}$  = tegangan switching (segi tiga) maksimum



Gambar 8. PWM sinusoidal [9]

$f_{ref}$  = frekuensi sinyal referensi

$f_{tri}$  = frekuensi sinyal switching (segi tiga)

#### IV. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui 2 tahapan yaitu simulasi dan eksperimen. Simulasi menggunakan software PSIM versi 9.0.

Dalam eksperimen laboratorium ini, penentuan nilai variable dari komponen berdasarkan rangkian simulasi dan dilakukan sedikit perubahan untuk mendapatkan hasil sesuai dengan hasil simulasi. Pada saat pengukuran dilaboratorium, sumber dari konverter menggunakan power suplai dc 35,7V dan 9,8A. Power suplai ini menggantikan 2 buah panel PV yang dihubungkan paralel, dengan asumsi intensitas cahaya konstan pada 1000W/m<sup>2</sup> dan suhu pada 25 °C. Karakteristik panel PV tersebut seperti pada Tabel 1. Beban rumah dimodelkan dengan sebuah tahanan variable. Daya beban diatur dari 10VA-900VA dengan mengatur nilai tahanan dari 50Ω-5kΩ. Tegangan grid dibuat konstan pada 220 volt.

##### A. Diagram Blok Sistem

Sistem hybrid PV-grid menggabungkan sumber energi listrik dari PV dan grid seperti pada Gambar 9. PV menghasilkan arus dc bertegangan rendah sedangkan grid bertegangan ac 220 volt. Tegangan dari PV kemudian oleh konverter dc dinaikkan menjadi lebih tinggi dari grid. Inverter mengubah tegangan dc menjadi tegangan ac sinusoidal dan frekuensi sama dengan frekuensi grid. Arus keluaran inverter dan arus dari sumber grid ini digabungkan dalam busbar ac.

Tegangan keluaran inverter lebih tinggi dari pada grid, hal ini dimaksud agar sistem PV dijadikan sebagai pensuplai arus utama ke beban dan sisanya disuplai dari grid.

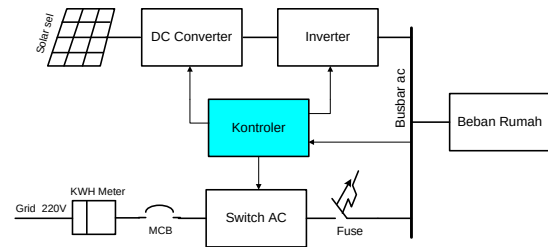
Tegangan pada busbar ac diumpankan (*feedback*) ke kontroler melalui sensor tegangan. Kontroler berguna untuk mengatur konverter agar tegangan pada busbar atau pada beban rumah konstan pada 220 volt bila suplai dari grid terputus. Bila suplai dari PV ada, kontroler akan mengatur konverter agar PV sebagai pensuplai arus utama ke busbar atau pada beban rumah.

##### B. Rangkaian Simulasi

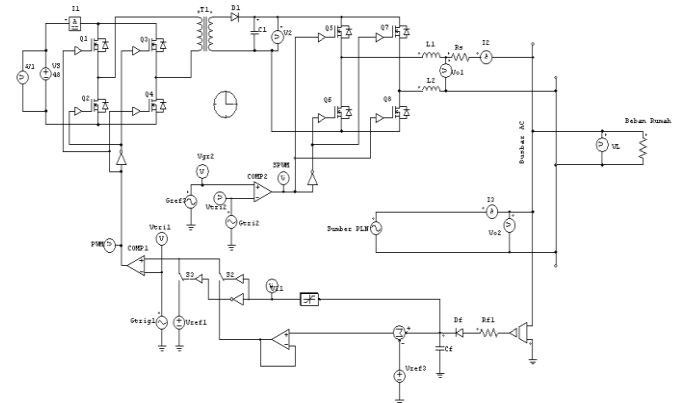
Rangkaian simulasi konverter untuk sistem hybrid PV dengan grid seperti pada Gambar 10.

TABEL 1. KARAKTERISTIK PANEL PV

|                                                       |                   |
|-------------------------------------------------------|-------------------|
| Maximum power ( $P_{max}$ )                           | 175W              |
| Voltage at Pmax ( $V_{mp}$ )                          | 35.7V             |
| Current at Pmax ( $I_{mp}$ )                          | 4.9A              |
| Warranted minimum $P_{max}$                           | 166.5W            |
| Short-circuit current ( $I_{sc}$ )                    | 5.4A              |
| Open-circuit voltage ( $V_{oc}$ )                     | 44.0V             |
| Temperature coefficient of $I_{sc}$                   | (0.065±0.015)%/°C |
| Temperature coefficient of $V_{oc}$                   | -(160±10)mV/°C    |
| Temperature coefficient of power                      | -(0.5±0.05)%/°C   |
| NOCT (Air 20°C; Sun 0.8kW/m <sup>2</sup> ; wind 1m/s) | 47±2°C            |



Gambar 9. Blok diagram rangkaian konverter untuk sistem hybrid



Gambar 10. Rangkaian simulasi

Sumber tegangan vs 48 volt merupakan pemisalan dari PV, kemudian tegangan ini dinaikkan oleh dc ke dc konverter menjadi 220 volt - 400 volt tergantung pengaturan pada  $V_{ref1}$  dan  $V_{ref2}$ . Konverter ini terdiri dari  $Q_1$ - $Q_4$ ,  $T_1$ ,  $D_1$  dan  $C_1$ . Sinyal penggerak konverter adalah gelombang PWM yang dibangkitkan oleh modulator PWM yang terdiri dari  $Comp_1$ ,  $G_{tri1}$  dan  $V_{ref1}$  dan  $V_{ref2}$ .  $V_{ref1}$  di-on-kan oleh switch  $S_3$  bila tegangan pada busbar nol, sedangkan  $V_{ref2}$  di-on-kan oleh switch  $S_2$  bila tegangan pada busbar tidak nol.

##### C. Rangkaian eksperimen

Implementasi rangkaian konverter dan kontroler untuk sistem hybrid PV dengan grid seperti diperlihatkan pada Gambar 11. Topologi rangkaian daya yaitu dc ke dc konverter dan inverter sama seperti pada rangkaian simulasi. Mosfet  $Q_1$ - $Q_8$  adalah jenis sama yaitu IR740, dapat dioperasikan pada tegangan maksimum 400 volt, arus maksimum 7A dan frekuensi swtching hingga 100kHz. Drive untuk mosfet-mosfet tersebut menggunakan IC IR2101, dimana ic ini mempunyai keluaran high side (HO) dan low side (LO). Keluran HO dihubungkan ke rangkaian mosfet ground *floating* sedangkan LO dihubungkan ke rangkaian mosfet ground comon negatif atau netral. Rangkaian mosfet ground floating untuk konverter adalah  $Q_1$  dan  $Q_3$ , sedangkan untuk inverter  $Q_5$  dan  $Q_7$ .

Pembangkit gelombang PWM dan kontroler menggunakan mikrokontroler PIC 16F877. Mikrokontroler ini dapat diprogram dengan menggunakan bahasa Basic Pro.

Pembangkit gelombang SPWM menggunakan metode pembanding yang menggunakan op-amp TL084. Rangkaian modulator SPWM ini terdiri dari generator gelombang segi tiga ( $A_1$ ,  $A_2$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $C_5$ ,  $VR_1$  &  $VR_2$ ), pembanding ( $A_3$ ), low pass filter ( $A_4$ ,  $R_{Lf}$  &  $C_{Lf}$ ) dan generator gelombang segi empat (mikrokontroler PIC 16F877).

Frekuensi switching (gelombang segi tiga) ditentukan oleh nilai  $VR_1$  dan  $C_5$ , dalam bentuk persamaan dapat ditulis :

$$f_{sw} = \frac{1}{2\pi\sqrt{RC}} \quad (8)$$

Frekuensi sinyal referensi ditentukan oleh mikrokontroler PIC 16F877. Low pass filter yang terdiri dari op-amp A4 TL084,  $R_{LF}$  dan  $C_{LF}$  berguna untuk memfilter gelombang segi empat yang dibangkitkan oleh mikrokontroler sehingga diperoleh gelombang sinusoidal dengan frekuensi 50 Hz.

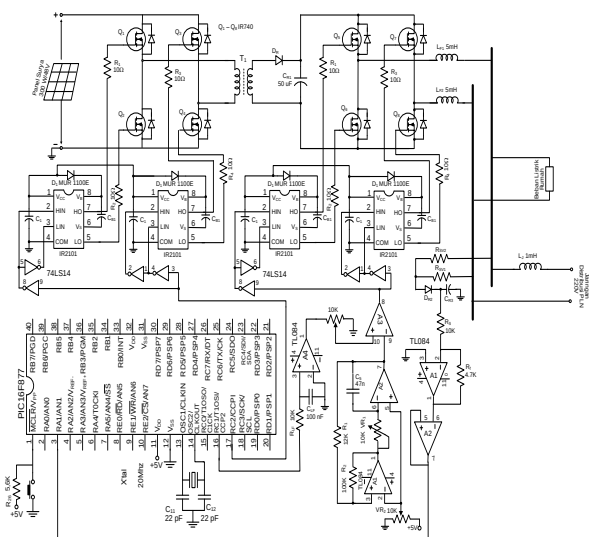
Rangkaian sensor tegangan menggunakan dua buah resistor pembagi tegangan ( $R_{SV1}$  dan  $R_{SV2}$ ). Tegangan yang dihasilkan oleh sensor tegangan disearahkan oleh  $D_{R2}$  dan  $C_{R3}$ , tegangan ini kemudian di umpankan ke mikrokontroler PIC 16F877 melalui antarmuka op-amp A1&A2 TL084.

## V. HASIL DAN PEMBAHASAN

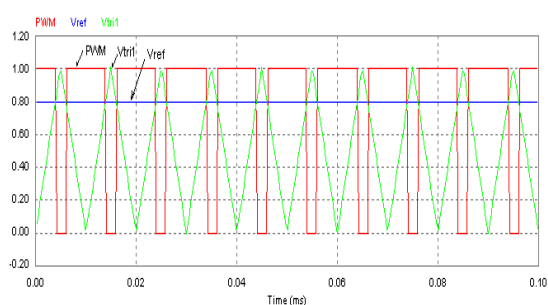
Bentuk gelombang pada modulator PWM dari rangkaian simulasi Gambar 9 diperlihatkan pada Gambar 12.

Tegangan sumber 48 volt dc yang dihasilkan PV dinaikkan menjadi 380 volt dc oleh konverter dc ke dc, tegangan sumber dan tegangan pada output konverter dc ke dc diperlihatkan pada Gambar 13.

Gelombang pada generator SPWM ini seperti diperlihatkan pada Gambar 14, sedangkan gelombang keluaran inverter diperlihatkan pada Gambar 15.



Gambar 11. Rangkaian konverter pada sistem hybrid PV-Grid

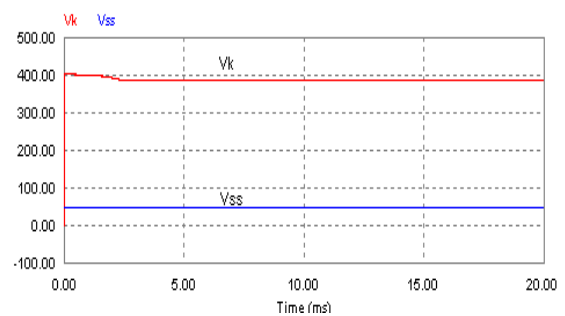


Gambar 12. Gelombang pada modulator PWM

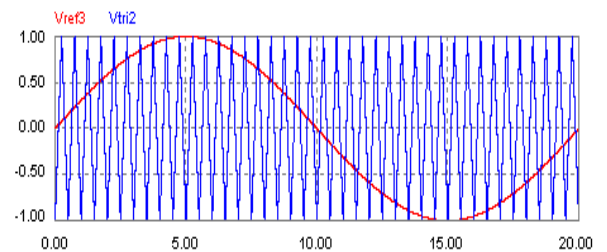
Pada output inverter dipasang induktor  $L_1$  dan  $L_2$  yang berfungsi sebagai filter, bentuk gelombang keluaran inverter seperti diperlihatkan pada Gambar 14.

Tegangan keluaran inverter ini mencapai 380 volt, ini dimaksud untuk dapat mensuplai arus lebih besar ke beban dari yang disuplai grid. Tegangan pada beban rumah VL sama dengan tegangan pada grid, bentuk gelombang diperlihatkan pada Gambar 16.

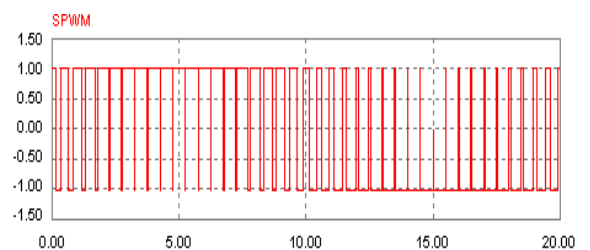
Gelombang arus pada beban rumah, keluaran inverter dan dari grid seperti diperlihatkan pada Gambar 17. Arus yang diserap beban rumah adalah penjumlahan dari arus yang dihasilkan solar sel dengan arus dari grid. Pada Gambar 17a, arus beban rumah  $I_L$  3.1 A (mak), sedangkan arus dari PV  $I_2$  1.91A (mak) dan arus dari grid  $I_3$  1.19 A (mak). Pada Gambar 17b terlihat bahwa arus beban bertambah, diikuti dengan pertambahan arus dari grid, sedangkan arus dari solar sel tetap pada 1.91 A(mak).



Gambar 13. Tegangan pada input dan output dc konverter

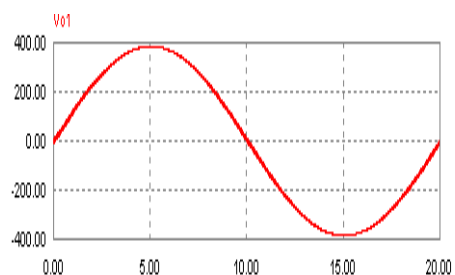


(a)

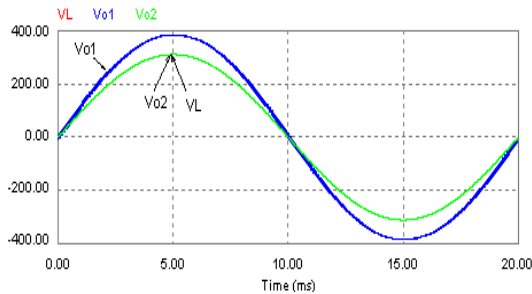


(b)

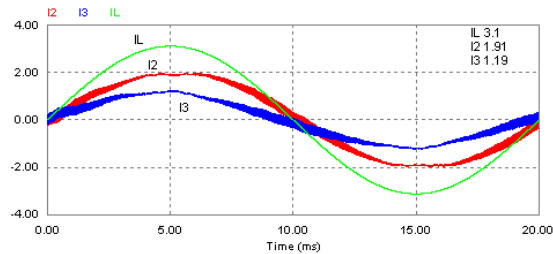
Gambar 14. Gelombang modulator SPWM (a). Gelombang referensi dan gelombang switching (b). Gelombang SPWM



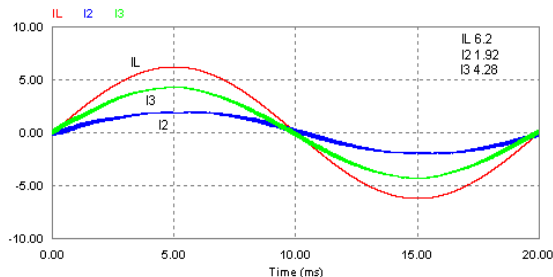
Gambar 15. Gelombang keluaran inverter



Gambar 16. Tegangan pada beban VL, grid dan keluaran inverter



(a)



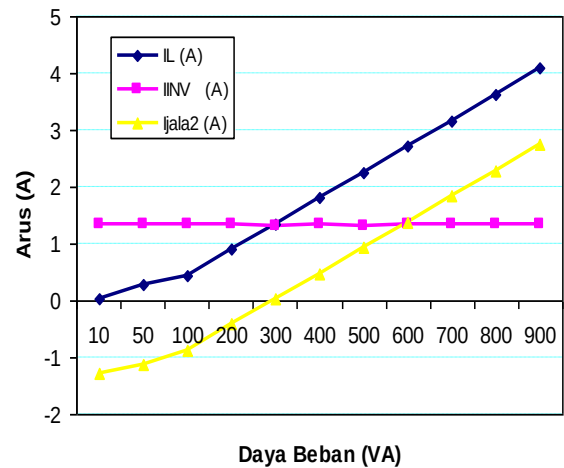
(b)

Gambar 17. Arus pada beban (busbar ac), inverter dan grid (a). Daya beban 428 Watt (b). Daya beban 964 Watt

Data pengukuran pada rangkaian sistem hybrid seperti pada Gambar 13, yang meliputi output inverter, busbar ac, grid dan pada beban perumahan diperlihatkan pada Tabel 2. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa tegangan beban  $V_L$ , tegangan keluaran inverter  $V_{INV}$ , dan tegangan pada grid stabil walaupun daya beban berbeda-beda. Tegangan keluaran inverter lebih tinggi 53.6 volt dari tegangan grid dan arus dari sistem solar sel konstan pada 1,33 A.

TABEL 2. DATA PENGUJIAN RANGKAIAN SISTEM HYBRID PV - GRID

| Daya Beban $P_L$ (VA) | $I_L$ (A) | $I_{INV}$ (A) | $I_{jala2}$ (A) |
|-----------------------|-----------|---------------|-----------------|
| 900                   | 4.09      | 1.34          | 2.75            |
| 800                   | 3.62      | 1.33          | 2.28            |
| 700                   | 3.17      | 1.33          | 1.84            |
| 600                   | 2.72      | 1.34          | 1.37            |
| 500                   | 2.26      | 1.32          | 0.93            |
| 400                   | 1.81      | 1.33          | 0.47            |
| 300                   | 1.35      | 1.32          | 0.03            |
| 200                   | 0.90      | 1.33          | -0.42           |
| 100                   | 0.45      | 1.34          | -0.89           |
| 50                    | 0.266     | 1.34          | -1.11           |
| 10                    | 0.045     | 1.34          | -1.28           |



Gambar 18. Grafik hubungan daya beban terhadap arus beban, arus PV dan grid

Bila daya beban kurang dari 300VA dan arus beban kurang dari 1.35A sedangkan arus yang dihasilkan PV konstan 1.32A sesuai dengan persamaan 3 arus dari grid akan negatif. Arus ini negatif bermakna busbar ac mensuplai arus ke grid karena arus yang dihasilkan sistem solar sel lebih besar dari arus yang diserap beban dan tegangan sistem solar sel lebih tinggi dari grid. hubungan daya beban terhadap arus beban, arus PV dan arus grid dapat dilihat pada grafik Gambar 18.

## VI. KESIMPULAN

Dari pembahasan yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Konverter dc ke dc jenis forward full bridge yang digunakan dalam penelitian ini dapat menaikkan tegangan dc dari 48volt menjadi 280 volt dan inverter dapat menghasilkan gelombang sinusoidal dengan frekuensi 50HZ, dengan demikian konverter ini dapat digunakan untuk sistem hybrid PV dengan grid.
2. Sistem hybrid bekerja baik baik untuk daya pada beban rumah di atas 300VA, bila beban dibawah 300VA jala-jala PLN tidak lagi mensuplai beban bahkan menyerap arus dari sistem PV.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] \_\_\_\_\_, "Statistik Ketenagalistrikan dan Energi Tahun 2009," Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2010
- [2] Waluyo Joko, "Kebijakan Energi untuk Penyediaan Tenaga Listrik," [online], Tersedia dalam: <<http://www.alpensteel.com/article/51-113-energi-lain-lain/2334-kebijakan-energi-untuk-penyediaan-tenaga-listrik.pdf>> [Diakses 8 September 2011]
- [3] IATMI SMUI, "Visi Energi Baru dan Terbarukan Indonesia," [online], Tersedia dalam: <<http://www.iatmi-smui.org/news/65-visi-energi-baru-dan-terbarukan-indonesia>> [Diakses 8 September 2011]
- [4] Indonesia Finance Today, "Pengembangan Energi Surya Terkendala Investasi yang Masih Mahal," [online], Tersedia dalam: <<http://www.indonesiainancetoday.com/read/3864/Pengembangan-Energi-Surya-Terkendala-Investasi-yang-Masih-Mahal>> [Diakses 10 September 2011].

- [5] Patel, Mukund R. "Wind and Solar Power Sistem". U.S merchant Marine Academy, New York, USA, 2006
- [6] \_\_\_\_\_, "Solar Panel: Facts and Information," [online], Tersedia dalam: <<http://www.factsaboutsolarenergy.us/home-panels.html>> [Diakses 18 September 2011].
- [7] Juan Manuel Carrasco, Jan T. Bialasiewicz, Ramón C. Portillo Guisado and José Ignacio León, "Power-Electronic Systems for the Grid Integration of Renewable Energy Sources: A Survey," IEEE Transactions on Industrial Electronics., vol. 53, No. 4, pp. 1002–1016, August. 2006.
- [8] Issa Batarseh, "Power Electronic Circuit," John Wiley & Sons, United States of America, 2004.
- [9] Tarmizi, "Design of A Static Converter for Three Phase Induction Motor Speed Drive Base On Microcontroller,". Master Thesis, University Sains Malaysia, 2008.
- [10] Muhammad H Rashid, "Power Electronics, Third Edition," Prentice Hall, United States of America, 2004.