

RANCANG BANGUN DAN IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI GRID CONNECTED PADA SUMBER LISTRIK SATU FASA

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF CONTROL SYSTEM GRID CONNECTED ON SINGLE PHASE POWER SOURCE

Muhamad Irpan¹, Erwin Susanto, ST, MT, PhD², Budi Setiadi, ST, MT³
Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom^{1,2,3}

Jl. Telekomunikasi, Dayeuh Kolot Bandung 40257 Indonesia

muhammad.irpan13@gmail.com¹, erwin.susanto@telkomuniversity.ac.id², budi_kontrol@yahoo.co.id³

Abstrak

Kebutuhan terhadap daya listrik terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi semakin pesat. PLN (Perusahaan Listrik Negara) merupakan perusahaan yang menjadi pemasok listrik utama di Indonesia akan terbebani dengan kebutuhan daya listrik yang terus meningkat. Sebuah sistem yang digunakan untuk melakukan sinkronisasi antara sumber tegangan PLN stepdown 6V dengan tegangan inverter berasal dari sumber listrik sekunder. Sistem ini menggunakan teknik *zero crossing* sebagai parameter frekuensi dan fasa. Nilai dari *zero crossing* akan menjadi pemicu untuk mengaktifkan PWM dari mikrokontroler dan pensaklaran MPWM untuk inverter bekerja.

Pengujian tugas akhir ini dilihat dari keluaran arus dari inverter, arus PLN yang telah diturunkan dengan trafo *stepdown*, dan keluaran arus ketika kedua sumber diparalelkan (sinkronisasi). Dalam pengujian tersebut, penulis menggunakan beban resistor sebesar 1,2Ω 50watt. Pada pengujian kali ini didapat arus yang keluar dari trafo stepdown 6V 1A sebesar 2,28 A, Inverter sebesar 2.74 A, dan hasil dari sinkronisasi adalah 3,45 A. Dari data tersebut ketika terjadi sinkronisasi arus pada beban meningkat, artinya proses sinkronisasi telah berhasil walaupun belum maksimal.

Kata kunci : Sinkronisasi, Inverter, Zero crossing, MPWM, Mikrokontroler

Abstract

The need for electric power continues to increase along with the rapid technological developments. PLN (State Electricity Company) is a company that is a major electricity supplier in Indonesia will be burdened with the need for electric power continues to increase. A system used to synchronize between PLN stepdown voltage source inverter voltage from 6V to the secondary power source. This system uses zero crossing technique as frequency and phase parameters. The value of the zero crossing will be a trigger for activating PWM from microcontroller and switching inverter MPWM for work.

Testing this thesis viewed from the output current of the inverter, the current foreign policy that has been lowered by a stepdown transformer, and the output current when the source parallelized (synchronization). In these tests, the authors use of 1,2Ω 50watt resistor load. In these testing times obtained flow out of the stepdown transformer 6V 1A of 2.28 A, Inverters by 2.74 A, and the result of synchronization is 3.45 A. From these data when synchronizing the load current increases, meaning that the process has been successful sinkronisasi although not maximal.

Keywords : Synchronization, Inverter, Zero crossing, MPWM, Microcontroller

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Pada zaman sekarang, kebutuhan terhadap daya listrik terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi semakin pesat. PLN (Perusahaan Listrik Negara) merupakan perusahaan yang menjadi pemasok listrik utama di Indonesia akan terbebani dengan kebutuhan daya listrik yang terus meningkat, oleh karena itu, diperlukan sumber listrik sekunder yang dapat menopang beban listrik yang diterima PLN, misalnya : *Photovoltaic* (PV). Namun, untuk menambahkan daya ke jaringan PLN, maka diperlukan sistem kendali *grid connected*. [3]

Sistem kendali *grid connected* merupakan sistem untuk dapat melakukan sinkronisasi hasil keluaran inverter dengan jaringan PLN. Inverter merupakan peralatan sangat penting dalam sistem *grid connected* yang berfungsi sebagai pengkonversi tegangan DC menjadi tegangan AC. Di dalam sistem kendali *grid connected* dibutuhkan inverter yang memiliki hasil keluaran tegangan, frekuensi dan fasa yang sama dengan PLN. [5] Inverter yang digunakan adalah inverter dengan topologi *full bridge* dengan pola pensaklaran berupa *Multiple pulse width modulation* (MPWM).

Pada penelitian ini, teknik Persilangan titik nol (*Zero Crossing*) diimplementasikan kedalam sistem ini untuk menentukan titik nol tegangan PLN. Keluaran *Zero crossing* menjadi pemicu untuk mengaktifkan PWM

dari mikrokontroler sebagai pensaklaran inverter. Pemicu ini yang membentuk frekuensi dan urutan fasa sama antara inverter dan PLN.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penulisan dari tugas akhir ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem kendali *Grid Connected* pada sumber listrik satu fasa dengan teknik *zero crossing* sebagai pemicu MPWM untuk pensaklaran inverter.

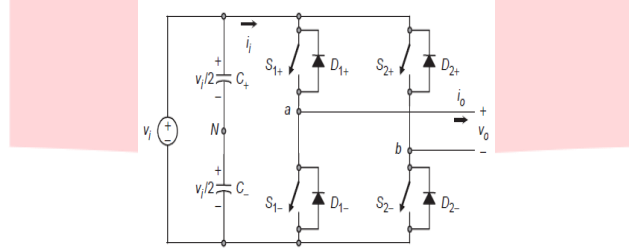
2. Dasar Teori

2.1 Full Bridge Inverter

Full bridge inverter mempunyai pasangan saklar (S_1, S_2) dan (S_3, S_4). Gambar 2.2 merupakan rangkaian dasar inverter jembatan satu-fasa dengan beban resistif dan bentuk gelombangnya. Nilai V_{rms} dari inverter dapat dicari dengan menggunakan rumus dibawah ini.[1]

$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{T_o/2} V_s^2 dt \right)^{1/2} = V_s \dots\dots\dots(2.1)$$

$$V_{eff} = \frac{4V_s}{\sqrt{2\pi}} = 0.90 V_s \dots\dots\dots(2.2)$$

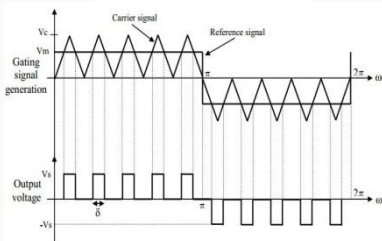


Gambar 2.1 Full Bridge Inverter

2.2 Multiple Pulse Width Modulation

MPWM (*Multiple Pulse Width Modulation*) merupakan salah satu teknik pensaklaran inverter yang banyak *cycle* dalam setengah gelombang. Untuk membangkitkan sinyal tersebut dengan cara membandingkan sinyal kotak sebagai referensi dengan sinyal segitiga sebagai pembawa. Frekuensi sinyal referensi dijadikan sebagai frekuensi sinyal keluaran (f_o) dan frekuensi sinyal pembawa (f_c) menentukan jumlah pulsa pada setiap setengah siklus.[1]

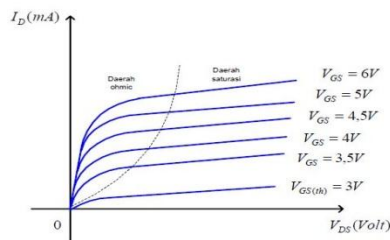
$$p = \frac{f_c}{2f_o} \dots\dots\dots(2.3)$$



Gambar 2.2 Multiple Pulse Width Modulation

2.3 MOSFET Enhancement Mode[7]

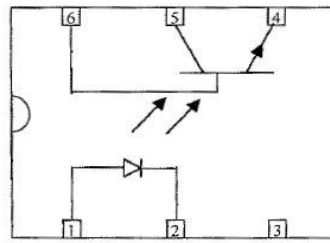
Transistor ini memiliki kaki *Gate* terbuat dari metal aluminium dan terisolasi oleh lapisan SiO_2 . Perbedaan struktur yang mendasar dari MOSFET *Depletion Mode* adalah substrat dibuat sampai menyentuh *Gate*. Jika tegangan V_{GS} dibuat negatif, arus elektron tidak dapat mengalir. Juga saat $V_{GS} = 0$ ternyata arus belum mengalir karena tidak ada deplesi maupun celah yang bisa dialiri elektron. Satu-satunya jalan adalah dengan memberi tegangan V_{GS} positif, karena substrat terhubung dengan *Source*, maka tegangan *Gate* lebih positif terhadap tegangan substrat.



Gambar 2.3 Kurva Karakteristik MOSFET Enhancement Mode

2.4 OPTOCOUPLER

Optocoupler berfungsi sebagai isolasi pemecuan antara rangkaian kontrol dengan rangkaian daya, agar rangkaian tidak berhubungan secara langsung antara rangkaian kontrol dengan rangkaian daya. *Optocoupler* ini memiliki 2 komponen, yaitu *infra red emitting dioda* dan *photo transistor*. Komponen ini bekerja apabila *dioda* dialiri arus listrik, maka akan timbul cahaya yang akan menyinari *photo transistor*, sehingga *photo transistor* tersebut jika dipasang catu daya akan mengalirkan arus dari *colector* ke *emitor*. [6] Gambar 2.4 adalah struktur komponen optocoupler 4N28 :



Gambar 2.4 Struktur Optocoupler

2.5 Zero Crossing Detector

Zero Crossing Detector Adalah rangkaian yang digunakan untuk mendeteksi gelombang sinus saat melewati titik tegangan nol. Seberangan titik nol yang dideteksi adalah peralihan dari positif menuju negatif dan peralihan dari negatif menuju positif. [11] Teknik ini berfungsi untuk menentukan frekuensi suatu gelombang dengan cara mendeteksi banyaknya zero point pada suatu rentang waktu. *Zero crossing detector* berfungsi untuk mendeteksi perpotongan gelombang sinus pada tegangan AC dengan *zero point* tegangan AC tersebut, sehingga dapat memberikan sinyal acuan saat dimulainya pemecuan sinyal PWM. Persilangan titik nol yang terdeteksi adalah pada saat peralihan dari siklus positif menuju siklus negatif dan peralihan dari siklus negatif menuju siklus positif.

2.6 Mikrokontroler Atmega 8535[2]

Atmega 8535 merupakan salah satu jenis mikrokontroler AVR. Mirkokontroler AVR standar memiliki arsitektur 8 bit, dimana semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit, dan sebagian besar intruksi dieksekusi dalam 1(satu) siklus clock. AVR berteknologi RISC (Reduced Instruction Set Computing), sedangkan MCS51 berteknologi CISC (Complex Intruction Set Computing). AVR dapat dikelompokkan menjadi empat kelas, yaitu keluarga Attiny, keluarga AT902xx, keluarga Atmega, dan keluarga AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, peripheral, dan fungsinya.

2.7 Power Flow

Dalam menghubungkan inverter dalam suatu jaringan distribusi yang perlu diperhatikan adalah pergeseran sudut fasa tegangan PLN dan inverter, serta amplitudo tegangan inverter dan PLN. Daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) yang dibawa oleh PLN dapat dihitung melalui persamaan (2.8) dan (2.9). [9,10]

$$P = \frac{V_i V_s}{2\pi f LC} \sin \phi = P_{max} \sin \phi \dots \dots \dots (2.4)$$

$$Q = \frac{V_i^2}{2\pi f LC} \sin \phi - \frac{V_i V_s}{2\pi f LC} \cos \phi \dots \dots \dots (2.5)$$

V_i = tegangan inverter

V_s = tegangan PLN

f = frekuensi sistem

LC = induktansi kopling

Dari persamaan (2.8) dan (2.9) dapat disimpulkan bahwa besar daya aktif dan daya reaktif untuk komponen fundamental dari arus keluaran, tergantung pada parameter berikut :

- Amplitudo dari V_i .
- Perbedaan fasa antara tegangan keluaran inverter dengan tegangan grid (ϕ).

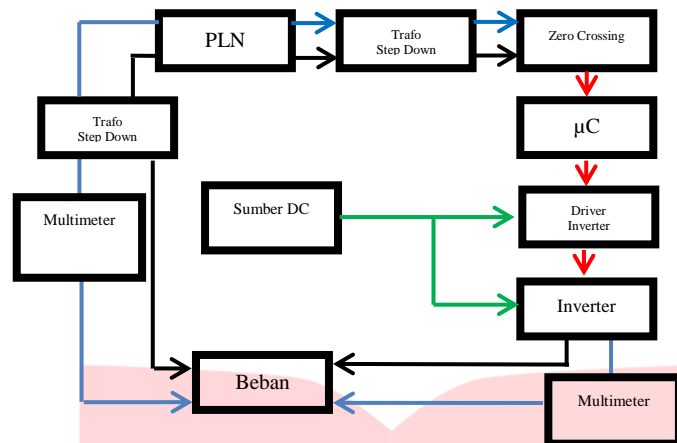
Jika $V_i > V_s$ dan $\phi_i = \phi_s$, maka inverter menyuplai daya reaktif ke PLN dan Jika $V_i < V_s$ dan $\phi_i = \phi_s$, maka inverter menyerap daya reaktif dari PLN. Jika sudut fasa V_i *lagging* terhadap sudut fasa PLN dan amplitudo keduanya sama, maka inverter menyerap daya aktif/sebagai beban dan jika Jika sudut fasa V_i *leading* terhadap sudut fasa PLN dan amplitudo keduanya sama, maka inverter menyuplai daya aktif ke PLN. [9,10]

3. Perancangan dan Implementasi Sistem

3.1 Gambaran Sistem Umum

Rancang bangun dari sistem *grid connected* ini dibagi kedalam 2 bagian besar yaitu *hardware* dan *software*. Bagian *hardware* berupa *full bridge* inverter, rangkaian *driver* inverter, *Zero Crossing Detector*, dan

sistem minimum Atmega 8535 sedangkan *software* berupa *code* yang ditanamkan pada mikrokontroler. Disertakan pula diagram blok dan diagram alir dari sistem tersebut.

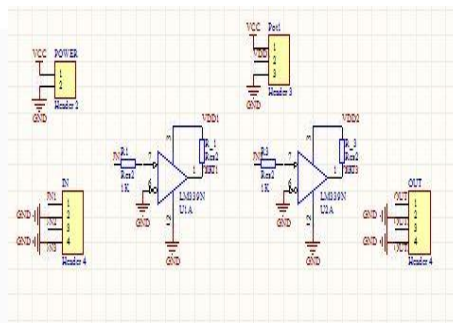


Gambar 3.1 Blok diagram sistem

Berdasarkan gambar 2.1 Tegangan PLN diturunkan menggunakan trafo stepdown, lalu masuk ke *zero crossing* agar mendapatkan titik nol tegangan sinusoidal. Titik nol ini akan menjadi parameter dalam pensaklaran inverter. Multimeter digunakan untuk melihat hasil arus ketika tegangan kedua sumber listrik PLN dengan tegangan inverter dipararelkan.

3.2 Perancangan Zero Crossing Detector

Rangkaian ini menggunakan 2 buah IC komparator, yaitu LM339 dan komponen resistor. Berikut skematik rangkaian *Zero Crossing Detector* :

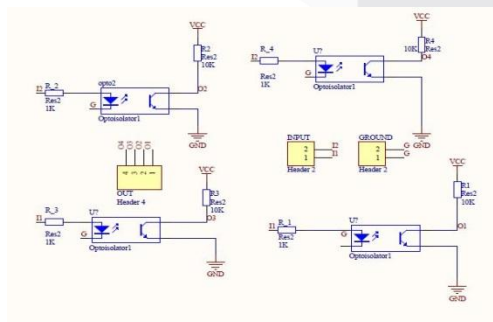


Gambar 3.2 Zero Crossing Detector

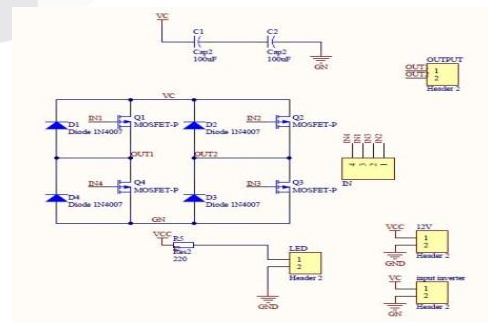
Agar dapat melihat titik nol pada sumber listrik PLN, maka tegangan PLN harus diturunkan terlebih dahulu dengan menggunakan trafo *stepdown*. Tegangan yang telah diturunkan akan menjadi masukan ke IC LM339.

3.3 Driver Inverter dan Inverter

Rangkaian ini mempunyai sumber tegangan +12 V dan 0 V sehingga amplitudo keluaran akan disesuaikan dengan tegangan offset. Gambar rangkaian sebuah driver terdiri dari piranti *optocoupler* 4N28 diperlihatkan pada gambar 3.3a. Komponen yang digunakan inverter adalah MOSFET IRFP450 dan dioda, Berikut ini rangkaian *driver* inverter dan inverter :



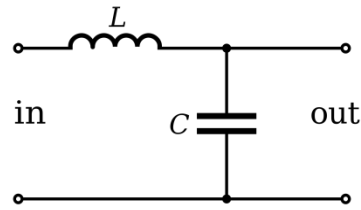
Gambar 3.3a Driver Inverter



Gambar 3.3b Full Bridge Inverter

3.4 Filter pasif LC

Filter Pasif LC tersusun dari komponen kapasitor dan induktor dengan satu frekuensi yang diatur pada frekuensi tegangan harmonisa dan ripple tegangan yang akan dihilangkan. Gambar 3.4 merupakan rangkaian filter pasif LC



Gambar 3.4 rangkaian filter LC

$$Fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Fr = Frekuensi setting

L = Induktasnsi

C = Kapasitansi

$$X_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \dots\dots\dots(2.7)$$

X₀ = Impedansi Filter

L = 12,5 mH = 12,5x10⁻³ H

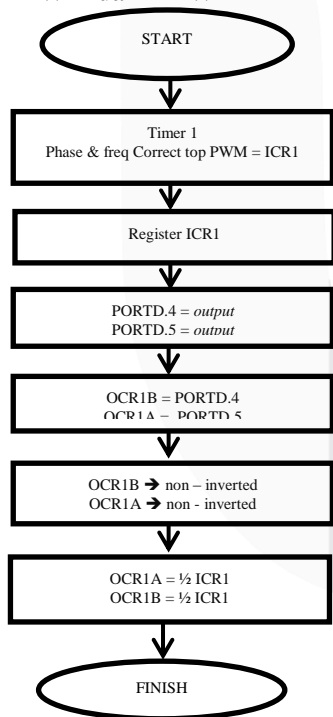
C = 1000µF = 1x10⁻³ H

$$X_0 = \sqrt{\frac{12,5 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-3}}} = \sqrt{12,5} = 3,53\Omega$$

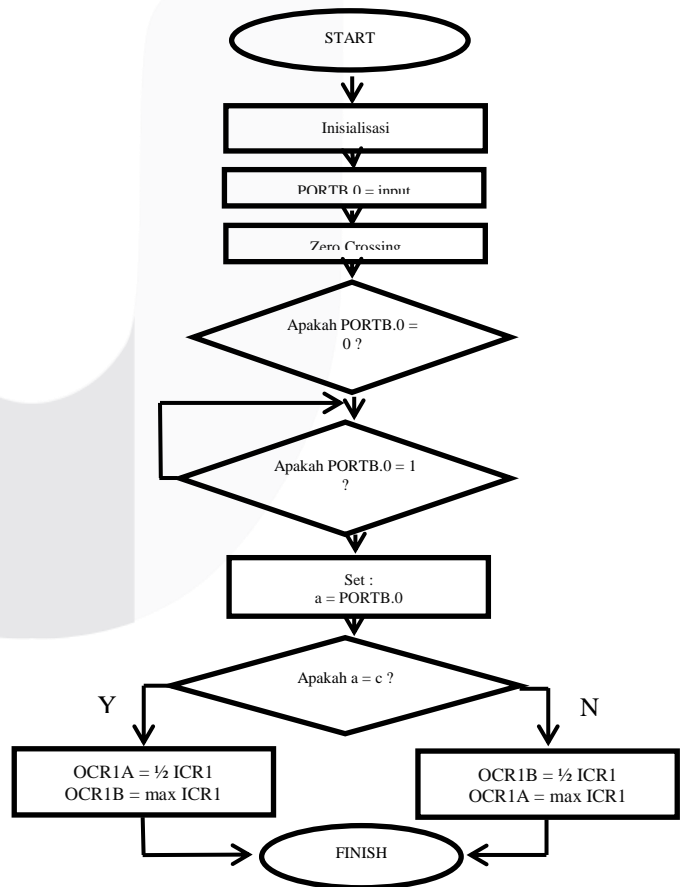
3.5 Sistem Minimum Atmega 8535

Sistem Minimum Atmega 8535 merupakan *board* untuk menempatkan mikrokontroler Atmega 8535 beserta komponen utamanya, seperti : catu daya, rangkaian osilator dan rangkaian *reset*. Selain komponen utama ada juga komponen pendukungnya, seperti : *Header* untuk port I/O, *Header* untuk port LCD dan *Header* untuk *downloader*.

3.6 Perancangan PWM dan MPWM



Gambar 3.5a Flowchart Pembangkit PWM

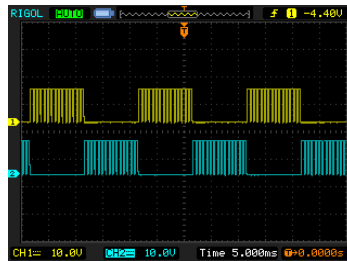


Gambar 3.5b Flowchart Pembangkit MPWM

4 Pengujian dan Analisa

4.1 Pembangkit MPWM

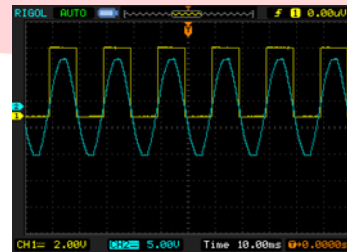
Sebelum pengujian pensaklaran MPWM, penulis membangkitkan sinyal PWM dengan frekuensi 1,5KHz terlebih dahulu, lalu sinyal dari *Zero Crossing Detector* akan menjadi masukan mikrokontroler untuk menjadi *set point* sebagai tanda PWM diaktifkan atau tidak. Di dalam pensaklaran MPWM terdapat 2 frekuensi, yaitu frekuensi kecil dan frekuensi besar, besar frekuensi kecil adalah $\pm 50\text{Hz}$ dan frekuensi besar adalah $\pm 750\text{Hz}$. Gambar 4.1 menunjukkan sinyal MPWM pada kedua *ouput* mikrokontroler.



Gambar 4.1 Sinyal keluaran MPWM

4.2 Zero Crossing Detector

Bentuk sinyal keluaran dari *Zero Crossing Detector* adalah sinyal persegi yang berada pada siklus positif Gambar 4.2 menunjukkan bentuk sinyal keluaran *Zero Crossing Detector* dan sinyal PLN yang telah diturunkan dengan trafo *stepdown* 12V.



Gambar 4.2 Bentuk sinyal keluaran *zero crossing detector*

V_{maximum} dari zero crossing adalah 5V dan V_{minimum} adalah 0V. Hasil ini didapat dari membandingkan 2 masukan berupa sinyal sinusoidal dan *ground* (0) sebagai referensi. Jika $V_{\text{in}} > 0$, maka $V_{\text{out}} = 5\text{V}$ dan Jika $V_{\text{in}} \leq 0$, maka $V_{\text{out}} = 0$.

4.3 Rangkaian Inverter Satu Fasa *Full Bridge*

Pengujian rangkaian inverter dibagi menjadi 2 bagian, yaitu pengujian inverter tanpa beban dan pengujian inverter dengan filter LC.

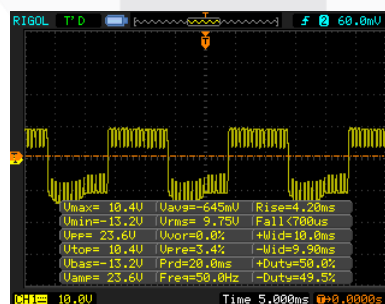
4.3.1 Pengujian Inverter Tanpa Beban

Keluaran dari *driver* inverter merupakan sinyal *multiple pulse width modulation* dengan tegangan sebesar 12V yang akan menjadi sinyal masukan ke kaki *gate* pada *mosfet*. Pengukuran tegangan dilakukan di antara kaki *source* dan kaki *drain* pada *mosfet*. Dari perhitungan tegangan yang dihasilkan sebesar 11,16V.

$$V_o = 0,9 \times V_s$$

$$V_o = 0,9 \times 12,4 = 11,16\text{V}$$

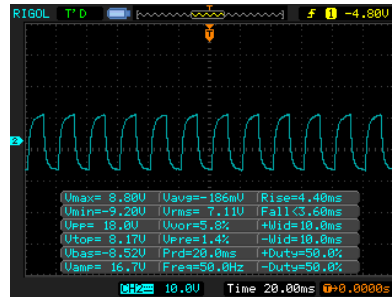
Namun dari hasil percobaan tegangan inverter hanya sebesar 9,75 V. Gambar 4.5 menunjukkan bentuk tegangan bentuk tegangan DC yang telah dibolak – balikkan dengan inverter.



Gambar 4.3 Keluaran inverter tanpa beban

4.3.2 Pengujian Inverter dengan Filter LC

Gambar 4.6 merupakan hasil keluaran dari inverter dengan filter LC, dimana filter ini akan memblokir frekuensi tinggi dan meloloskan frekuensi rendah.

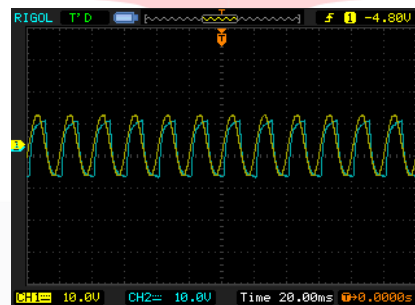


Gambar 4.6 Keluaran inverter dengan filter LC

Pada saat induktor mendapat tegangan akan memperoleh respon yang cepat kemudian saat tegangan menghilang respon akan lambat sehingga turun perlahan – lahan tegangan itu mendekati nol. Hal itu terjadi saat pensaklaran, sehingga akan terjadi pada saat tegangan atau arus pada inverter ini menyerupai sinus. Dengan penambahan kapasitor sebagai filter maka akan didapatkan sebuah gelombang sinus yang mendekati murni.

4.4 Pengujian Alat Ketika Sinkronisasi

Sebelum menggabungkan 2 tegangan AC, tegangan dari masing – masing sumber ditampilkan dengan menggunakan osiloskop untuk dapat melihat apakah frekuensi dan fasa inverter sama dengan PLN.



Gambar 4.7 Hasil Sinkronisasi Inverter dengan PLN Stepdown 6V

Berdasarkan gambar 4.7 frekuensi inverter dengan PLN sudah sama dan fasa inverter dengan PLN mendekati sama. Pengujian ini dilakukan untuk dapat melihat keberhasilan dari sistem kendali *grid connected*. Ada 3 pengukuran arus dengan beban resistor 1,2 Ohm 50 watt dengan sumber listrik yang berbeda, diantaranya :

1. Pengukuran arus beban pada sumber listrik PLN *stepdown* 6V.
2. Pengukuran arus beban pada sumber listrik inverter.
3. pengukuran arus beban pada 2 sumber listrik yang dipararelkan dengan 1 buah multimeter
4. Pengukuran arus beban pada 2 sumber listrik yang dipararelkan dengan 2 buah multimeter untuk setiap sumber listrik

Tabel 4.1 Hasil pengamatan arus pada sumber listrik yang berbeda

Sumber 1 fasa	Beban	Arus
PLN stepdown 6V	1,2 Ohm	2,28 A
Inverter	1,2 Ohm	2.74 A
Grid Connected	1,2 Ohm	3,45 A

Tabel 4.2 Hasil pengamatan arus setiap sumber ketika *grid connected*

	Sumber	Arus
Grid Connected	PLN	1,51 A
	Inverter	2,09 A

Berdasarkan tabel 4.1 arus beban dengan sumber listrik yang dipararelkan lebih besar dari pada arus beban dengan sumber listrik yang tidak dipararelkan. Hal ini terjadi karena sumber listrik yang dipararelkan akan meningkatkan arus dan tegangan dari sumber listrik tersebut akan sama. Tabel 4.2 menunjukkan hasil

pengamatan arus ketika terjadi *grid connected* pada masing – masing sumber. Perhitungan daya pada sistem *Grid Connected*

$$V_i = 6,72 \text{ V}$$

$$V_s = 6,2 \text{ V}$$

$$\phi = 18^\circ$$

$$\text{Daya aktif (P)} = \frac{V_i \cdot V_s}{2\pi f L c} \sin \phi$$

$$\text{Daya aktif (P)} = \frac{6,72 \cdot 6,2}{2,3,14,50,12,5 \times 10^{-3}} \sin 18$$

$$\text{Daya aktif (P)} = \frac{41,664}{3925 \times 10^{-3}} = 0,3090$$

$$\text{Daya aktif (P)} = 3,28 \text{ watt}$$

$$\text{Daya reaktif (Q)} = \frac{V_i^2}{2\pi f L c} - \frac{V_i \cdot V_s}{2\pi f L c} \cos \phi$$

$$\text{Daya reaktif (Q)} = \frac{6,72^2}{2,3,14,50,12,5 \times 10^{-3}} - \frac{6,72 \cdot 6,2}{2,3,14,50,12,5 \times 10^{-3}} \cos 18$$

$$\text{Daya reaktif (Q)} = \frac{45,16}{3925 \times 10^{-3}} - \frac{41,664 \cdot 0,95}{2,3,14,50,12,5 \times 10^{-3}}$$

$$\text{Daya reaktif (Q)} = 11,5 - 10,08 = 1,42 \text{ VAR}$$

5 Kesimpulan Dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa perancangan sistem kendali *grid connected* pada sumber listrik satu fasa diperoleh beberapa kesimpulan, diantaranya :

- sebagai alat pengkonversi tegangan DC menjadi tegangan AC sudah berjalan dengan baik dengan *output* tegangan 10,4 V. Inverter
- *Crossing* yang digunakan dalam sinkronisasi belum maksimal karena sudut fasa antar kedua sumber listrik masih terlihat. Teknik Zero
- sinkronisasi arus pada beban meningkat, artinya arus dari inverter dapat ditambahkan ke jaringan PLN. Arus pada beban dengan sumber PLN adalah 2,28 A dan ketika sinkronisasi menjadi 3,45 A. Dengan

5.2 Saran

Beberapa saran yang diberikan penulis untuk mengembangkan penelitian ini adalah :

- Agar mendekati realitanya, yaitu dapat mensinkronkan tegangan PLN 220 V, maka sumber tegangan DC untuk inverter harus dinaikkan dahulu dengan menggunakan *Boost Converter*
- Gunakan mikrokontroler yang lebih cepat agar pemrosesan kontrollernya juga lebih cepat.
- Sebaiknya gunakan teknik SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*) dalam pensaklaran inverter.
- Sebaiknya perancangan filter lebih diperhatikan lagi, karena filter ini berfungsi untuk mendekati gelombang inverter menjadi gelombang sinusoidal.

Daftar Pustaka

- [1] Rashid, Muhammad H. 2004. *Power Electronics : Power Electronics Circuits, devices, and application 3rd Edition*. New Jersey : Prentice Hall.
- [2] Heryanto, Ari dan Adi P, Wisnu. 2008. *Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATMEGA853*. Yogyakarta.
- [3] Sujanarko, Bambang. 2010. *Metode Sinkronisasi Inverter Satu Fase Dengan Jaringan Listrik Yang Terdistorsi*. Jember : Universitas Jember.
- [4] Mr, Fadhli. 2012. *Rancang Bangun Inverter 12V DC ke 220V AC dengan Frekuensi 50Hz dan Gelombang Keluaran Sinusoidal*. Depok : Universitas Indonesia.
- [5] Machmud Effendy. 2009. *Rancang Bangun Alat Sinkronisasi Otomatis Sistem Jaringan Pembangkit Listrik Tenaga Mkrhidro Dengan Sistem Jaringan PLN*. Penelitian Pengembangan IPTEK UMM.
- [6] Santoso, Setyo. 2003. *Implementasi Teknik PWM Pada Inverter 1 Fasa Gelombang Penuh dengan Beban RC Paralel dan L seri*. Tugas Akhir. Semarang : Universitas Katolik Soegijapranata.
- [7] Ramdhani, Mohamad. *Elektronika I*. Bandung : Institut Teknologi Telkom.
- [8] Boylestad, Robert L and Nashelsky, Louis. 1972. *Electronic Devices and Circuit Theory 7th Edition*. New Jersey : Prentice Hall
- [9] Stevenson Jr., Wiliam D. 1982. *Elements of Power System Analysis, fourth ed*. McGraw-Hill College.

[10] Mochammad Salman, Mochamad Ashari, Heri Suryoatmojo. 2011. *Perancangan Inverter Satu Fasa Yang Terhubung Dengan Jaringan Distribusi Menggunakan Metode Hysteresis Current Control*. Surabaya : Institut Teknologi Surabaya.

[11] URL : www.circuitstoday.com/zero-crossing-detector

[12] URL : www.fairchildsemi.com/datasheet/LM339.

[13] URL : www.vishay.com/datasheet/irfp450.

[14] URL : www.vishay.com/datasheet/4N28.

