RANCANG BANGUN INVERTER 3 FASA SEBAGAI PENGENDALI KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA 1/2HP 0.37KW MENGGUNAKAN METODE SPWM BERBASIS ARM MIKROKONTROLER (STM32F4)

Achmad Efendi Setiawan[1], Tjahya Odinanto[2] , Syahri Muharom[3]
Jurusan Teknik Elektro, Institiut Teknologi Adhi Tama, Surabaya
Email: fendixariel@yahoo.com ,
tjahjaodynanto@gmail.com , syahrimuharom@gmail.com

ABSTRACT

The speed controlling on three phase induction motor required an Inverter modules. Inverter consists of semiconductor switches or transistors in certain arrangement and appropriate control signals to control on-off in semiconductor switch. The method to encoding analog signals to be on-off duration is Pulse Width Modulation (PWM). This final project conducted the speed controlling on the three phase induction motor by Sinusoidal Pulse With Modulation (SPWM). The control was Implemented on STM32F4 ARM Microcontroller control pulses through switching Inverter. The AC source of grid will be converted to DC source of rectifier series as Inverter input. Inverter will convert DC source to AC source to supply three phase induction motor. SPWM method was implemented to seek frequency value obtained from the difference between reference frequency and estimation frequency. The research results indicated that the speed with 300 RPM set point was the response of motor speed in which the resulted motor speed value was almost the same as equal the value of determined speed set point i.e. 298.2 RPM, while the resulted error was 0.6036%.

Keywords : *Sinusoidal Pulse With Modulation (SPWM), 3 phase Induction Motor, STM32F4.*

ABSTRAK

Pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa ini membutuhkan modul Inverter. Inverter terdiri dari saklar semikonduktor atau transistor yang disusun sedemikian rupa, dan memerlukan sinyal kendali yang digunakan untuk mengatur nyala-mati saklar semikonduktor tersebut. Metode untuk merubah sinyal analog menjadi durasi nyala atau mati tersebut adalah Pulse Width Modulation (PWM). Pada proyek akhir ini akan dilakukan pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan metode Sine Wive Pulse With Modulation (SPWM). Implementasi control tersebut dilakukan pada mikrokontroler ARM Mikrokontroler STM32F4 untuk mengatur pulsa melalui switching Inverter. Sumber AC dari jala-jala akan diubah menjadi sumber DC oleh rangkaian rectifier untuk masukan Inverter. Kemudian Inverter akan mengubah sumber DC menjadi sumber AC untuk mensuplai motor induksi tiga fasa. Metode SPWM diimplementasikan untuk mencari nilai Frekuensi dari selisih antara Frekuensi referensi dan Frekuensi estimasi. Hasil menunjukkan bahwa kecepatan dengan set point 300 RPM, merupakan respon kecepatan motor dimana nilai kecepatan motor yang dihasilkan hampir sama dengan nilai set point kecepatan yang telah ditentukan yaitu dengan kecepatan 298.2 RPM, error yang dihasilkan adalah 0,6036%.

Kata Kunci : Sine Wive Pulse With Modulation (SPWM), Motor Induksi 3 fasa, STM32F4.

PENDAHULUAN

Pada saat ini penggunaan motor induksi tiga fasa di industri maupun pada mesin-mesin yang menggunakan motor listrik sudah semakin banyak. Hal ini disebabkan karena motor induksi tiga fasa memiliki beberapa kelebihan yaitu handal, memiliki tenaga yang besar, konsumsi daya listrik rendah dan perawatannya mudah. Tetapi motor induksi tiga fasa juga memiliki beberapa kelemahan salah satunya adalah pada pengontrolan kecepatan. Kontrol kecepatan pada motor induksi tiga fasa hanya bergantung pada frekuensi masukan sedangkan sumber frekuensi yang

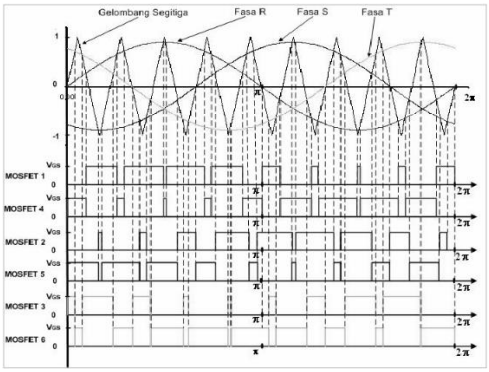
tersedia memiliki frekuensi yang konstan atau tidak dapat diubah nilainya, sehingga pada penerapannya mengatur frekuensi tidak mudah dari pada mengatur besar tegangan sumber yang masuk ke motor induksi tiga fasa. untuk mengontrol motor-motor tersebut dipelukan sebuah alat yang mampu mengendalikan kecepatan motor tersebut. Dengan ditemukannya *inverter* maka hal tersebut dapat direalisasikan.

Permanfaatan *inverter* untuk mensupply motor 3 fasa memerlukan suatu rangkaian kontrol yang mampu mengendalikan *Mosfet* sehingga tegangan keluaran menjadi stabil dan mampu memenuhi kebutuhan beban tersebut. Kontrol *Sinusoidal PWM* pada *Three Phase Full Bridge Inverter* adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk pengaturan frekuensi dan tegangan keluaran *inverter*. Dengan menggunakan ARM Mikrokontroler sebagai pembangkit *PWM* diharapkan dapat melakukan *switching* pada mosfet dengan maksimal, sehingga mampu mensupply beban 3 fasa pada motor dan mampu menjaga kecepatan putar motor pada *set point* tertentu.

TINJAUAN PUSTAKA

Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)

SPWM adalah suatu metode yang digunakan untuk menentukan sudut pemicuan dengan cara membandingkan gelombang segitiga dengan 3 gelombang sinus (fasa R, fasa S, dan fasa T) yang masing-masing berbeda fasa 120°, seperti ditunjukkan pada gambar berikut:

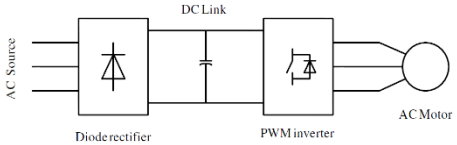


Gambar 1. Pemicuan gelombang SPWM

Setelah didapatkan titik potong antara gelombang segitiga dan tiga gelombang sinus (R, S, dan T), maka ditiap titik dilakukan pemicuan secara bergantian antara MOSFET sisi atas dan bawah sampai satu periode.

Inverter

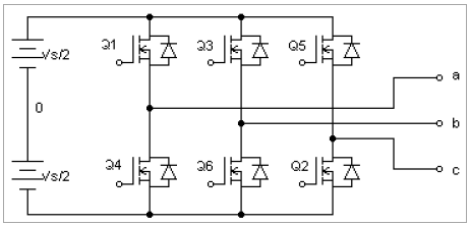
Inverter merupakan suatu peralatan yang dapat digunakan untuk mengkonversikan sumber tegangan AC satu fasa maupun tiga fasa dengan frekwensi yang konstan menjadi tegangan AC 3 fasa dengan Frekwensi yang bisa diatur, sehingga dapat dipakai untuk mengatur kecepatan motor induksi 3 fasa yang besarnya berbanding lurus dengan Frekwensi sumber tegangannya.



Gambar 2. *Inverter* Sebagai Pengendali Motor AC

Inverter Tiga Fasa

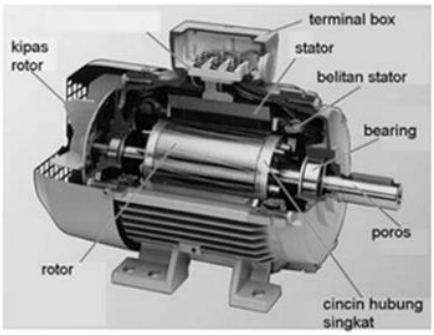
Inverter tiga fasa digunakan untuk penerapan daya tinggi. Keluaran tiga fasa didapat dari sebuah konfigurasi dari enam transistor dan enam buah dioda, seperti yang terlihat pada Gambar 4. Apabila transistor Q1 di-ON-kan, terminal a dihubungkan ke terminal positif tegangan sumber DC. Apabila transistor Q4 di-ON-kan, terminal a dihubungkan ke terminal negatif sumber DC.



Gambar 3. Full bridge inverter tiga fasa

Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi atau motor arus bolak-balik adalah suatu mesin listrik yang merubah energi listrik menjadi energi gerak. Motor induksi disebut juga sebagai motor asinkron karena rotor berputar tidak serempak dengan putaran magnetik fluks yang berputar yang dihasilkan dalam kumparan stator.



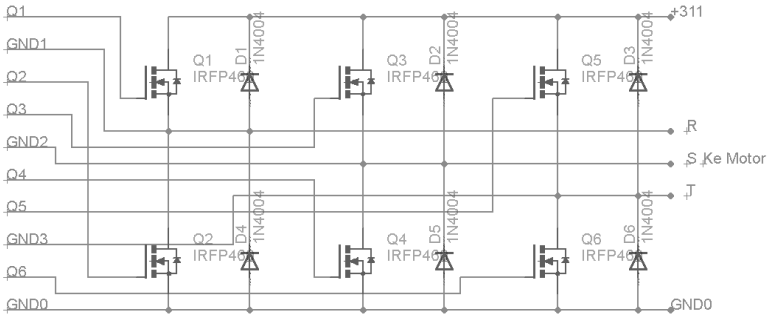
Gambar 4. Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa

Prinsip kerja dari motor induksi ialah sebagai berikut:
Apabila sumber tegangan 3Ø dipasang pada kumparan medan (stator), timbullah medan putar dengan kecepatan angular (ωs). Medan putar stator akan memotong batang konduktor pada rotor. Akibatnya pada kumparan jangkar (rotor) timbul tegangan induksi (ggl) yang mengakibatkan rotor berputar dengan kecepatan putar sinkron terhadap kecepatan putar stator.

METODE

Rangkaian *Inverter* 3 Fasa

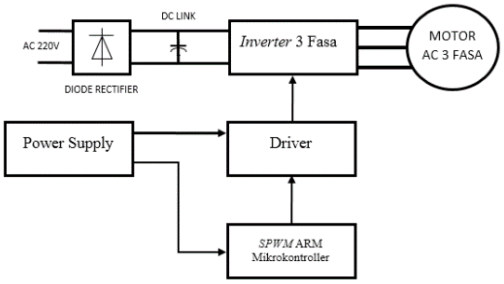
Rangkaian *Inverter* tiga fasa terdiri dari enam buah mosfet dan 6 buah dioda.



Gambar 5. Perancangan rangkaian utama *Inverter* tiga fasa

Mosfet yang digunakan adalah mosfet dengan tipe IRFP460. Pertimbangan memilih tipe IRFP460 adalah mosfet tipe tersebut memiliki tegangan drain source maksimum 500 V dan arus drain maksimum 20 A. Berdasarkan parameter tersebut dapat menjadi acuan mengingat beban yang akan ditangani sebesar 0,37 kW.

Blok Diagram Rancangan Inverter Tiga Fasa



Gambar 6. Blok Diagram Rancangan *Inverter*

Dari blok diagram pada gambar di atas sumber tenaga yang digunakan adalah dari jala-jala PLN sebesar 220Volt sebagai sumber tenaga listrik AC yang kemudian di searahkan menggunakan rangkaian *rectifier* satu fasa yang akan menghasilkan sumber DC, karena tegangan DC tersebut memiliki *ripple* maka memerlukan Capasitor DC sebagai filter agar mengurangi *ripple* yang di hasilkan oleh rangkaian *rectifier* tersebut yang kemudian di lanjutkan ke rangkaian *Inverter* sebagai sumber inputnya. Output dari *Inverter* tersebut selanjutnya akan digunakan untuk mensuply sebuah Motor Induksi 3 fasa. Kecepatan putar motor akan dikendalikan oleh rangkaian Mikrokontroler dengan cara mengubah frekuensi *SPWM*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Pulsa *SPWM* Pada Mikrokontroller

Pada pengujian ini yang dilakukan yaitu menguji signal pulsa yang dihasilkan oleh Mikrokontroler *ARM STM32F407VG*. Pulsa penyulutan *SPWM* dperoleh dengan membandingkan sinyal *carrier* berupa sinyal segitiga yang memiliki *offset* atau nilai maximal sebesar 1,25V dengan frekuensi 12,5KHz dengan sinyal referensi berupa sinyal sinus sebesar 50Hz dan juga memiliki nilai offset atau nilai maximal 1,25V. Pada gambar 7 sinyal referensi yaitu 50Hz dan sinyal *carrier* dengan nilai mf yang digunakan adalah sebesar 250 gelombang. Maka signal *carrier* yang terjadi yaitu 50Hz.

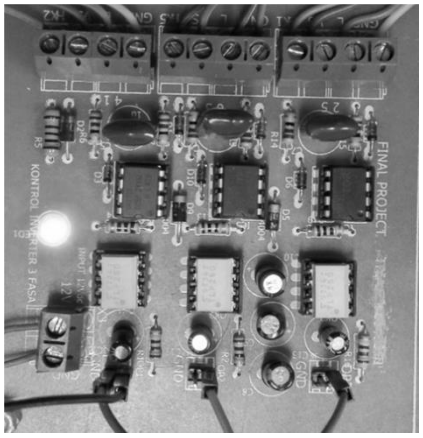


(a) (b)

Gambar 7. a) Bentuk sinyal referensi 50Hz, b) Bentuk Pulsa *SPWM* 50 Hz

Pengujian Driver Inverter

Pengujian dilakukan untuk mengetahui bentuk gelombang output driver inverter dan bentuk gelombang trigger mikrokontroler yang masuk pada driver inverter.

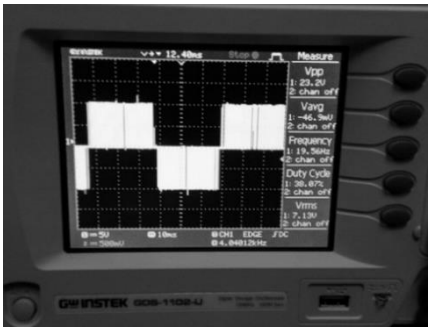


Gambar 8. Rangkaian driver IR2111

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan pulsa PWM pada input rangkain driver inverter dari output dari timer mikrokontroler

Pengujian Output Inverter

Pengujian dilakukan untuk mengetahui bentuk gelombang output dan besar nilai tegangan output rangkain inverter. Berikut adalah bentuk gelombang output inverter :



Gambar 9. Bentuk gelombang Output Inverter

Pengujian Motor Tanpa Beban

Tabel 1. Hasil pengujian motor tanpa beban

Set Point (RPM)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Cos ϕ	Kec. Motor (RPM)	Error (%)
1200	183	1.18	153.32	0.71	1185	1.250
1050	166	1.18	160.62	0.82	1031	1.809
900	142	1.16	143.31	0.87	891.4	0.955
750	127	1.15	128.52	0.88	742.5	1.000
600	102	1.14	105.81	0.91	591.3	1.450
450	86	1.12	91.50	0.95	446.7	0.733
300	63	1.1	67.91	0.98	301.4	0.466
150	41	0.7	28.41	0.99	145.8	2.800

Berdasarkan hasil percobaan pada tabel 1 dapat dilihat bahwa daya motor yang dihasilkan cenderung turun nilainya sebanding dengan turunnya nilai frekuensi inverter. Pada saat kecepatan

300 RPM nilai kecepatan yang terbaca menunjukkan nilai sebesar 301.4 RPM. Sehingga dapat dihitung error perbandingan antara set point dan kecepatan yang terbaca sebagai berikut :

$$\text{Error}(\%) = \frac{\text{set point} - \text{kec. motor}}{\text{set point}} \text{ x } 100\%$$

$$\text{Error}(\%) = \frac{300 - 301.4}{300} \text{ x } 100\%$$

$$\text{Error}(\%) = 0.466\%$$

Pengujian Motor Berbeban

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kerja dari sistem kontrol yang telah dibuat dengan cara memberikan tegangan input pada *rectifier* sebesar 220Volt. Berikut adalah data hasil pengujian motor saat berbeban:

Tabel 2. Hasil pengujian motor saat berbeban

Beban	Set Point	Tegangan	Arus	Daya	Kec. Motor (RPM)	Error
N.m	(RPM)	(Volt)	(Ampere)	(Watt)		(%)
1	1200	177	1.14	155	1186	1.1666
	1050	158	1.17	135	1039	0.7333
	900	140	1.18	119	890.7	1.0441
	750	117	1.18	99	742.2	1.0509
	600	94	1.19	79	590.4	1.6260
	450	70	1.19	58	440.3	2.2030
	300	48	1.20	40	298.2	0.6036
	150	24	1.21	20	147.8	1.4884

KESIMPULAN

Pada pengujian motor tanpa beban, saat set point bernilai 300 RPM, nilai kecepatan motor yang dihasilkan masih terdapat osilasi dengan nilai error yang bervariasi dari 0% hingga 9%. Pada pengujian motor saat berbeban dapat dilihat bahwa nilai kecepatan motor berubah-ubah dengan nilai beban yang tetap. Sehingga kontrol sistem akan menyesuaikan kecepatan motor tersebut sesuai dengan *set point* yang diberikan. Namun dapat dikatakan bahwa respon kecepatan motor masih fluktuatif. Pada *sample* data kecepatan dengan set point 300 RPM, merupakan respon kecepatan motor dimana nilai kecepatan motor yang dihasilkan hampir sama dengan nilai *set point* kecepatan yang telah ditentukan yaitu dengan kecepatan 298.2 RPM, error yang dihasilkan adalah 0,6036%. Sedangkan error yang tertinggi yaitu pada sampel data kecepatan pada set point 450 RPM yaitu dengan kecepatan 440.3 RPM dengan nilai error 2.203%.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Adrianto, H. 2013. *Pemrograman Mikrokontroler AVR ATmega16 menggunakan Bahasa C (CodeVision AVR) edisi revisi*. Bandung : Informatika.
[2] Aswardi. 2009. e-learning Documen.Medan : BJJ FT UNP Padang – P4TK Medan.
[3] Faisyal Rahman. 2013. Pengendalain Tegangan Inverter 3 FasaMenggunakan Space Vektor Pulse Width Modulation (SVPWM) Pada Beban Fluktuatif. Jember : Universitas Jember.
[4] Junaidi. 2010. *Analisa Switching Transistor untuk Pembentukan Gelombang Sinusoidal PWM*. Depok : Universitas Indonesia.
[5] M. Imam Jazuli. 2014. Perancangan *Inverter* 3 Fasa Dengan Kontrol Berbasis Mkrokontroler *Atmega16.* Jember : Fakultas Teknik Universitas Jember.

[6] Munoz, O. D. 2011. *Design Strategy for a 3-Phase Variable Frequency Drive (VFD)*. San Luis Obispo. California Polythecnic State University.
[7] Mokhamad asrul afrizal. 2010. Perencanaan dan Pembuatan Modul Inverter 3 Phase Sebagai Suplai Motor Induksi Pada Pengembangan Modul Praktikum Pengemudi Listrik. Surabaya : Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
[8] Pradana, D. P. 2010. *Rancang Bangun Rangkaian Full Bridge Converter dan Three Phase Inverter sebagai Penggerak Mobil Listrik Berbasis Mikrokontroler (Three Phase Inverter)*. Surabaya : PENS Institut Teknologi Sepuluh November.
[9] Prayogo, R. 2012. *Modul Pengaturan PWM (Pulse With Modulation) Dengan PLC.* Malang : Universitas Brawijaya.
[10] Rashid, M. H. 2004. "*Power Electronics Circuits, Devices, and Application 3rd Edition*". USA : Prentice Hall.
[11] Rashid, M. H. 2001. *Power electronics handbook*. Canada : Academic press
[12] Tim Penulis, 2012. *Panduan Kompetisi Mobil Listrik Indonesia IV*. Bandung : Politeknik Negeri Bandung.
[13] UPT Penerbitan Jember. 2009. *Pedoman Karya Tulis Ilmiah*. Jember : Jember University Press.
[14] Wasono, Adi.2011. Rancang Bangun Aplikasi *Programmable Logic Controller* (PLC) Sebagai Pengendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Melalui *Iverter*. Semarang : Staf Pengajar Jurusan Elektro Politeknik Negeri Semarang.
[15] Yadi Yunus, Suyamto. 2008. Rancang Bangun Alat Pengatur Kecepatan Motor Induksi Dengan Cara Mengatur Frekuensi. DIY : Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN.
[16] Zuhal, 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya.* Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.

ISBN 978-602-98569-1-0

- Halaman ini sengaja dikosongkan -