

# PENGENDALI MOTOR INDUKSI 1 FASA DENGAN METODE PWM SINUSOIDA BERBASIS MIKROKONTROLER 68HC11

**Muchlas, Supri**

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan  
Kampus III UAD Jl. Prof. Dr. Soepomo, Janturan, Umbulharjo, Yogyakarta  
Telp. (0274) 379418-381523 psw 101/220, Fax 0274-381523  
e-mail: muchlas02@yahoo.com, tholes2000@yahoo.com

## **Abstrak**

*Pada pengendalian motor induksi yang dilakukan secara konvensional tidak diperoleh pengaturan yang kontinyu dan linier, sehingga perlu dilakukan penelitian tentang pengendalian motor induksi dengan teknik inverter. Penelitian ini bertujuan melakukan pengembangan dan evaluasi unjuk kerja pengendalian motor induksi satu fasa dengan metode PWM sinusoida berbasis mikrokontroler. Pengendalian menggunakan rangkaian jembatan inverter jenis PWM-VSI (DC-Link inverter) dengan teknik modulasi PWM menggunakan mikrokontroler 68HC11E9, dan diharapkan dapat menggerakkan motor induksi pada kecepatan yang berbeda-beda. Pada penelitian ini digunakan motor induksi satu fasa Z-406, 220 Volt, 50-60 Hz, 125W. Penelitian dimulai dengan pembuatan perangkat keras berupa inverter menggunakan MOSFET sebagai komponen pensaklaran dan diteruskan dengan menyusun rangkaian penggerak inverter satu fasa. Pola sinyal PWM sinusoida dibentuk dengan teknik perhitungan lima modulasi PWM yang berbeda. Dari pola gelombang tersebut dibuat program pembangkit pulsa PWM satu fasa dan perangkat pendukungnya. Selanjutnya dilakukan pengamatan bentuk gelombang PWM keluaran MCU, tegangan, arus keluaran inverter dan mengukur kecepatan putar motor untuk lima indeks modulasi, yaitu (1), (0,81), (0,59), (0,37), dan (0,15). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaturan kecepatan putar motor induksi untuk frekuensi tetap 50 Hz dengan 5 indeks modulasi berbeda dengan metode PWM sinusoida berbasis mikrokontroler dapat menghasilkan putaran motor yang bervariasi.*

**Kata kunci:** Motor induksi satu fasa, PWM sinusoida, Mikrokontroler 68HC11E9

## **1. PENDAHULUAN**

Pengendalian motor induksi di industri sangat diperlukan dan mengarah pada pengembangan suatu sistem yang dapat memenuhi kebutuhan akan pengaturan putaran motor induksi dengan efisiensi yang tinggi. Rangkaian kontrol elektronik yang dapat memenuhi keperluan tersebut adalah rangkaian inverter yang dapat mengubah sumber tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik dengan besar tegangan dan frekuensi dapat diatur.

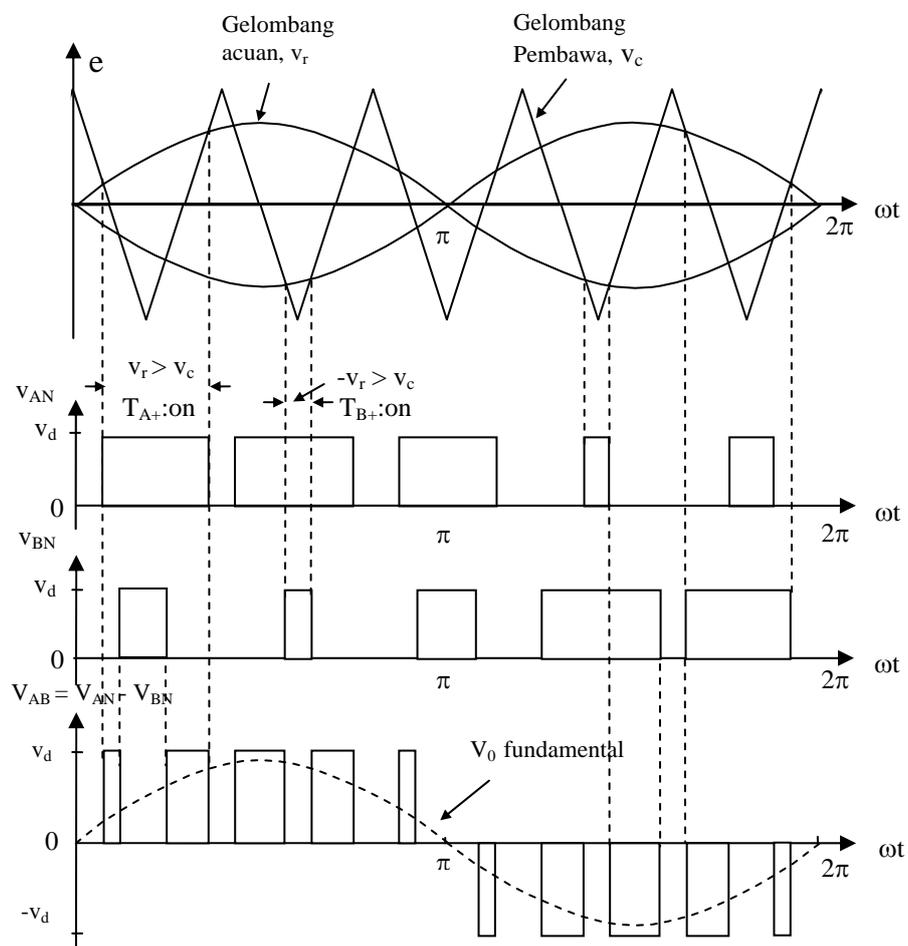
Pengaturan kecepatan putar motor induksi selain menggunakan inverter juga dapat dilakukan secara konvensional dengan mengubah jumlah kutub motor dan mengubah nilai tegangan stator. Pengaturan dengan cara tersebut tidak dapat diperoleh pengaturan motor induksi yang kontinyu dan linier. Oleh karena itu untuk memperoleh hasil pengaturan putaran yang halus dan rentang yang lebar digunakan inverter PWM (Pulse Width Modulation), tetapi sangat rumit dalam rangkaian pengaturnya.

Proses pembangkitan sinyal PWM menjadi salah satu faktor penentu unjuk kerja sistem secara keseluruhan. Sinyal PWM dapat dibangkitkan secara analog, digital atau keduanya. Pembangkitan secara analog lebih sederhana dalam hal rangkaian tetapi sangat rentan terhadap derau. Pembangkitan secara digital dapat menghasilkan sinyal PWM lebih baik karena tidak terpengaruh oleh derau tetapi mempunyai tingkat kerumitan lebih tinggi dibanding cara analog.

Mikrokontroler adalah sistem mikroprosesor dengan jumlah pengingat yang terbatas dan jumlah piranti penunjang (peripheral) tergabung dengan CPU (central processing unit) dalam sebuah rangkaian terintegral. Mikrokontroler dirancang khusus untuk sistem pengaturan

dan mempunyai banyak cara untuk kendali inverter elektronika daya. Pemakaian mikrokontroler dalam sistem pengaturan memberikan keuntungan pada ketelitian sistem dan memungkinkan melakukan modifikasi atas sistem yang sudah ada hanya dengan mengganti atau mengubah perangkat lunaknya. Berangkat dari keunggulan mikrokontroler tersebut maka keterlibatan mikrokontroler dalam sistem pengaturan kecepatan putar motor induksi akan dapat mengurangi tingkat kerumitan yang ada.

Prinsip dasar operasi PWM adalah melakukan penyambungan dan pemutusan (*on* dan *off*) tegangan catu daya motor berulang-ulang selama setengah periode, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Variasi frekuensi diperoleh dari jumlah madap dan padamnya pulsa dalam satu periode, dan variasi tegangan diperoleh dari lebar pulsa tetap atau bervariasi dalam setiap setengah periode. Pada PWM sinusoida lebar pulsanya bervariasi mengikuti variasi harga sesaat amplitudo sinusoida yang dapat dibentuk dengan teknik modulasi antara gelombang sinusoida,  $V_r$  sebagai acuan (gelombang pemodulasi) dan gelombang segitiga,  $V_c$  (gelombang pembawa) sebagai pewaktu.



Gambar 1. PWM sinusoida satu fasa

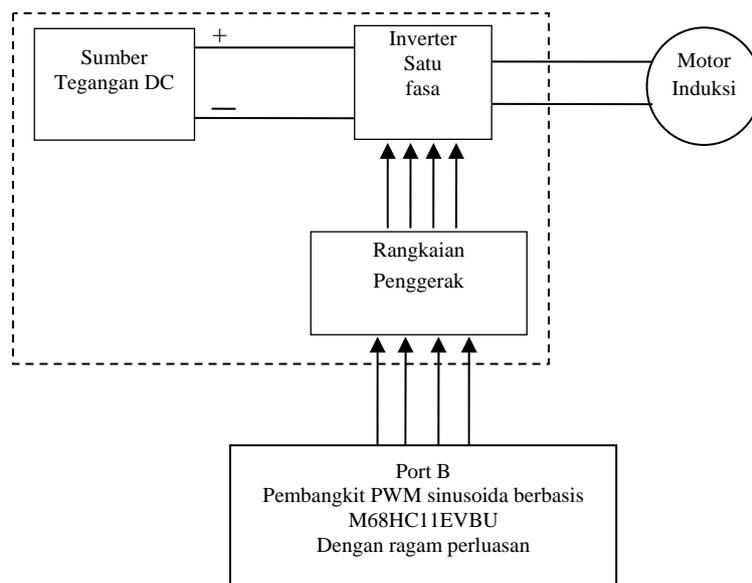
Motor induksi merupakan suatu motor yang dicatu dengan arus bolak-balik pada statornya secara langsung dan pada rotornya dengan tegangan imbas dari stator. Motor induksi (AC) paling luas penggunaannya karena kuat tidak mahal dibanding motor arus searah (DC), dan memerlukan sedikit perawatan.

Motor induksi dicatu dari inverter statis akan mendapat tegangan nonsinusoida pada kumparan stator. Umumnya bentuk gelombang keluaran dari sebuah inverter adalah berupa deretan dari step tegangan diskrit. Bentuk gelombang keluaran inverter dapat berupa bentuk

gelombang persegi (*quasi square*) dan bentuk gelombang susunan pulsa-pulsa berderet (*multiple pulse* atau *pulse-width modulation*), jumlah dan lebarnya bervariasi untuk mengatur nilai komponen fundamental tegangan keluaran.

## 2. METODE PENELITIAN

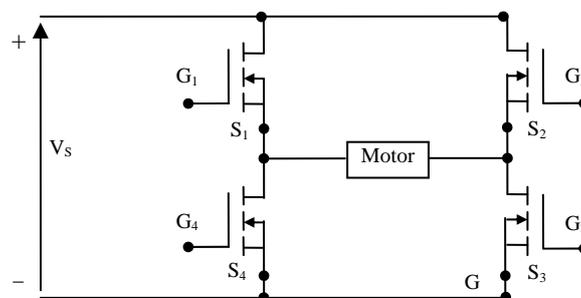
Kegiatan penelitian ini meliputi pembuatan model (perangkat keras) dan menyusun perangkat lunak. Rangkaian sistem pengendali kecepatan putar motor induksi satu fasa dalam penelitian ini terdiri dari bagian-bagian yang disusun seperti pada Gambar 2. Bagian yang berada dalam kotak dengan garis terputus merupakan sistem yang akan dirancang pada penelitian ini.



Gambar 2. Diagram kotak perancangan sistem

### 2.1. Perancangan jembatan inverter

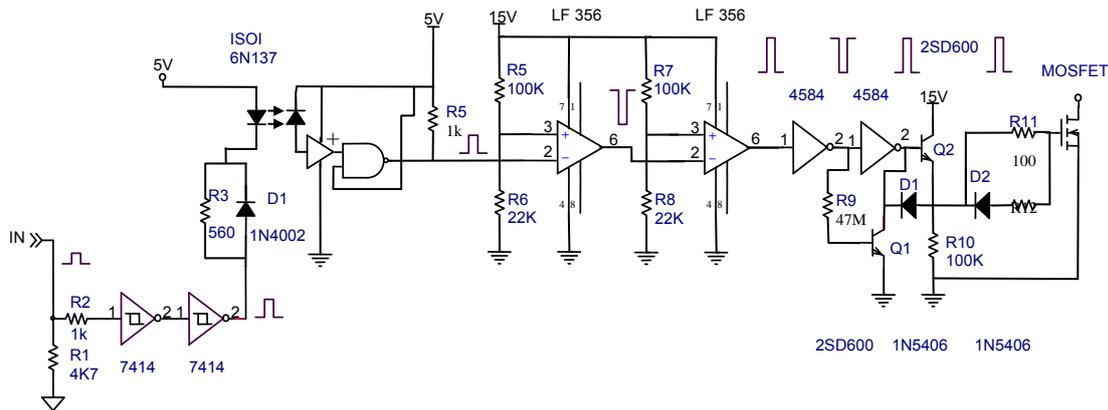
Pada perancangan ini rangkaian jembatan inverter satu fasa menggunakan MOSFET dengan tipe IRF 830 dengan  $V_{DS}$  maksimum 500 V dan  $I_D$  kontinyu maksimum 4,5 A. Untuk dapat mengoperasikan MOSFET daya sebagai saklar, tegangan gerbang tertentu atau arus gate harus diberikan untuk membawa MOSFET dari mode saturasi untuk tegangan keadaan hidup yang rendah. Tegangan kontrol harus diberikan antara terminal gerbang dan sumber atau antara *gate* dan *source*. Secara lengkap rangkaian jembatan inverter satu fasa ditunjukkan pada Gambar 3. Tegangan DC utama adalah  $V_s$  dengan terminal ground G.



Gambar 3. Rangkaian jembatan inverter satu fasa

## 2.2. Perancangan penggerak MOSFET

MOSFET sebagai komponen utama pada inverter memerlukan tegangan gate berkisar 10–20 V untuk dapat beroperasi. Sinyal PWM keluaran M68HC11 hanya mempunyai tegangan 5 V pada level tinggi sehingga tidak dapat digunakan untuk mengoperasikan MOSFET secara langsung. Sinyal tersebut dapat digunakan untuk menggerakkan MOSFET dengan bantuan suatu rangkaian penggerak (*driver*) MOSFET. Rangkaian penggerak akan menaikkan sinyal keluaran M68HC11 pada level tegangan *gate* batas ( $V_G$ ) MOSFET. Rangkaian ini juga dilengkapi dengan isolator dengan memisahkan rangkaian logika sebagai bagian tegangan rendah dan inverter sebagai bagian tegangan tinggi seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian penggerak MOSFET tunggal

## 2.3. Perancangan pembentukan sinyal PWM berbasis M68HC11EVBU

Perangkat lunak dalam penelitian ini terdiri dari perangkat lunak pembentukan sinyal PWM dan perangkat lunak sistem penggerak motor induksi pembangkit PWM dari dalam MCU. Sinyal PWM dibuat dalam pola indeks modulasi bervariasi dengan frekuensi tetap. Pada penelitian ini dibuat lima macam tabel sinyal PWM dengan frekuensi 50 Hz untuk indeks modulasi (0,15), (0,37), (0,59), (0,81), dan (1). Pada rancangan ini jumlah pulsa dalam satu periode ditetapkan 10.

Pembentukan sinyal PWM sinusoida dapat dianalisis secara matematis menggunakan perbandingan gelombang acuan dan gelombang pembawa seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Pembentukan sinyal PWM sinusoida secara analitik dengan teknik komputasi adalah menentukan titik-titik potong dua gelombang, gelombang acuan (fungsi sinusoida), dan gelombang pembawa (fungsi linier).

Perbandingan gelombang sinusoida dengan gelombang segitiga menghasilkan sinyal logika (pulsa) untuk mengatur pensaklaran inverter satu fasa. Pada penelitian ini jumlah pulsa dalam satu periode sinus adalah 10 pulsa yang berarti satu periode sinyal PWM mempunyai 21 mode pensaklaran. Tiap satu mode pensaklaran mempunyai nilai (lebar pulsa) tertentu. Semakin besar indeks modulasi maka lebar pulsa semakin besar.

Pemrograman mikrokontroler pada penelitian ini ditulis menggunakan teks editor (*Q editor*) dalam format bahasa rakitan (*assembly*) 68HC11 dan disimpan dalam berkas berekstensi asm, selanjutnya menggunakan kompilasi AS11M.EXE yang menghasilkan berkas dalam format bahasa mesin (*S-Record*) dengan ekstensi S19. Program yang sudah dalam format bahasa mesin (heksadesimal) kemudian diubah dalam bentuk biner dengan menggunakan kompilasi BINCVT.EXE setelah berkas berekstensi bin program sudah dapat dikirim (*download*) ke EPROM menggunakan EPROM programmer dengan software *Top2000A/B/BS*.

Sinyal PWM ini dibangkitkan oleh MCU M68HC11 dan digunakan untuk menggerakkan inverter MOSFET satu fasa dalam sistem pengaturan kecepatan putar motor induksi berbasis mikrokontroler. Pada penelitian ini dibuat lima program kecepatan berbeda yang kemudian disimpan dalam EPROM 2764 yang mempunyai kapasitas sebesar 8 Kbyte. Diagram aliran utama pembangkitan sinyal PWM sinusoida dalam sistem pengaturan kecepatan putar motor

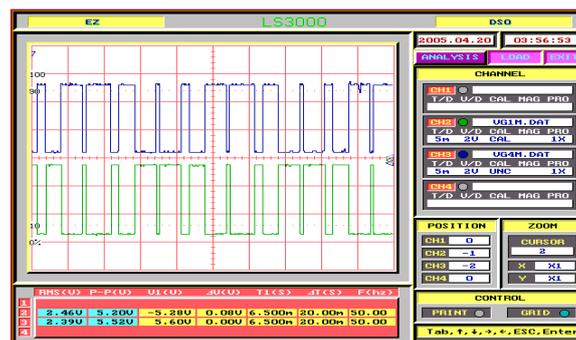
induksi diperlihatkan pada Gambar 23. Susunan program lengkapnya diperlihatkan pada lampira Pada perancangan pembangkitan sinyal PWM ini menggunakan *output compare* untuk membangkitkan pulsa dengan lebar tertentu atau gelombang kotak dengan perioda dan siklus kerja tertentu. Output compare digunakan untuk memprogram suatu tindakan ketika *free running counter* mencapai nilai tertentu. Nilai tersebut disimpan dalam *register compare*. Setiap siklus conter isi *register compare* dibandingkan dengan isi *free running counter* jika sama maka status flag akan di set.

Pada penelitian ini digunakan ragam operasi khusus yaitu (*expanded sepecial test mode*). Awal program dimulai dari alamat \$A000 untuk lokasi peta memori. Tahapan inialisasi dimulai dengan inialisasi port. Hal ini dilakukan untuk menentukan port tersebut sebagai keluaran atau masukan. Inialisasi dilakukan dengan memberi harga pada memori yang digunakan untuk mengatur port tersebut. Pada tugas akhir ini digunakan PPI dengan tipe 8255 ditempatkan pada alamat \$6000-\$6003 untuk port A, B, dan C. Mode kerja PPI 8255 pada program ini digunakan *control word* dengan alamat \$99.

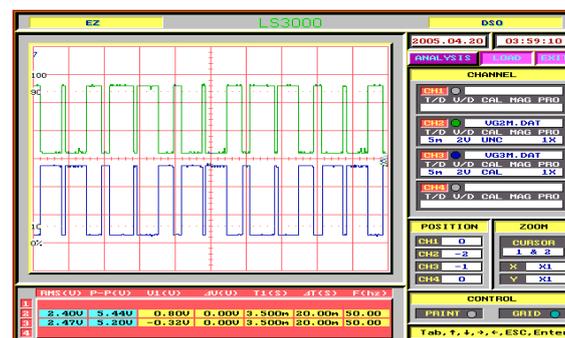
### 3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengamatan yang dilakukan meliputi pengamatan bentuk sinyal PWM yang dihasilkan MCU, pengamatan bentuk gelombang penggerak, pengamatan bentuk gelombang tegangan, dan pengamatan bentuk arus motor. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Ahmad Dahlan.

Pengamatan pertama adalah mengamati bentuk sinyal PWM keluaran MCU dengan frekuensi 50 Hz dan indeks modulasi 0,8 diperlihatkan pada Gambar 5 dan 6.



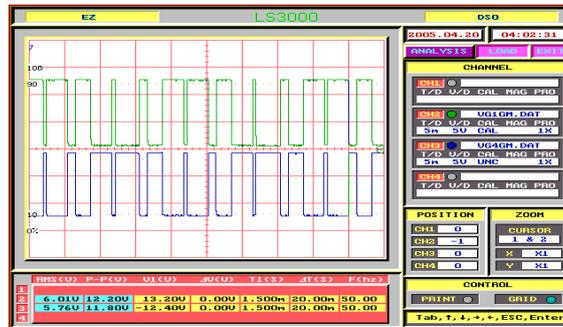
Gambar 5. Bentuk gelombang MCU dari Port PPI B7 dan Port PPI B6



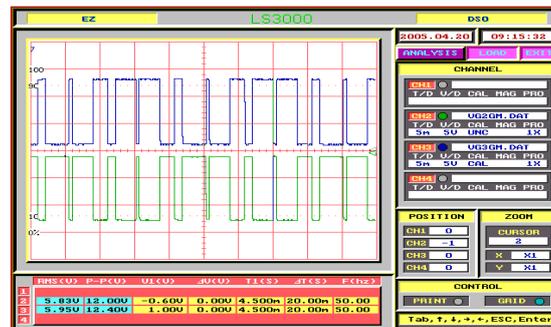
Gambar 6. Bentuk gelombang MCU dari Port PPI B5 dan Port PPI B4

Berdasarkan Gambar 5 dan 6, terlihat bahwa bentuk sinyal PWM keluaran MCU mempunyai bentuk sesuai dengan teori yang telah dibahas dalam kajian pustaka dan landasan teori. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa sistem pembangkitan sinyal PWM dapat bekerja dengan baik.

Pengamatan kedua adalah pengukur tegangan dan mengamati bentuk gelombang keluaran dari masing-masing rangkaian penggerak yang saling berpasangan. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa rangkaian penggerak dapat merambatkan sinyal PWM dari MCU dengan baik. Indeks modulasi yang digunakan 0,8 dan bentuk gelombangnya diperlihatkan pada Gambar 7 dan 8



Gambar 7. Bentuk gelombang penggerak untuk  $V_{g1}$  dan  $V_{g4}$



Gambar 8. Bentuk gelombang penggerak untuk  $V_{g2}$  dan  $V_{g3}$

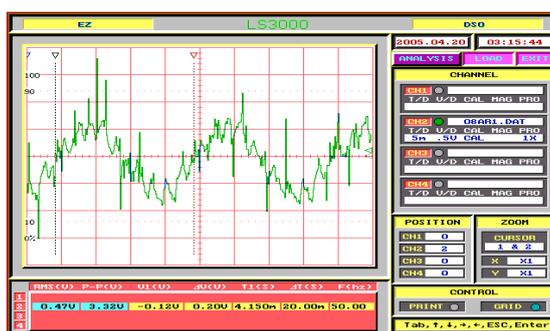
Berdasarkan hasil pada Gambar 7 dan 8 terlihat bahwa gelombang yang berpasangan yaitu  $V_{g1}$  dan  $V_{g4}$  mempunyai bentuk saling berkebalikan, begitu juga dengan pasangan  $V_{g2}$  dan  $V_{g3}$ . Dari kedua gelombang yang saling berkebalikan itu diharapkan tidak mengalami *on* secara bersamaan. Selanjutnya dilakukan pengukuran tegangan keluaran rangkaian penggerak menggunakan volt-meter. Dari pengukuran tersebut didapatkan level tegangan 13 Volt. Tegangan ini sudah cukup untuk menggerakkan MOSFET karena MOSFET mempunyai tegangan *gate* batas berkisar 10–20 Volt.



Gambar 9. Bentuk tegangan inverter MOSFET dengan indeks modulasi 0,81

Pengamatan ketiga dilakukan untuk memberikan kepastian bahwa rangkaian inverter satu fasa dapat bekerja dengan baik. Pengamatan dilakukan pada terminal  $V_{AN}$  dan  $V_{BN}$  secara bersamaan untuk mengetahui bentuk gelombang tegangan yang dihasilkan dari proses penyaklaran oleh inverter MOSFET. Hasil tegangan pada Gambar 9 diperoleh dengan merangkai *transformator step down* untuk dapat ditangkap oleh DSO dan dilakukan pengambilan gambar.

Pengamatan ketiga adalah mengamati bentuk arus melalui motor satu fasa. Pengamatan dilakukan dengan cara memasang resistor pada salah satu terminal  $V_{AN}$  dan  $V_{BN}$  sebesar  $47 \Omega$  secara seri terhadap motor induksi satu fasa dari ujung-ujung kaki resistor dihubungkan secara paralel ke *transformator step down* untuk dapat ditangkap oleh DSO. Pengamatan dilakukan untuk indeks modulasi 0,81 dan bentuk gelombangnya diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Bentuk arus motor dengan indeks modulasi 0,81

Tampak pula bahwa bentuk pulsa yang terjadi mengikuti pola gelombang sinusoida. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa bentuk gelombang tegangan dan bentuk arus motor keluaran inverter telah sesuai dengan teori yang telah dibahas pada kajian pustaka dan landasan teori.

Pada percobaan selanjutnya dilakukan pengukuran kecepatan motor induksi satu fasa dengan lima tingkat kecepatan menggunakan alat tachometer. Kecepatan putar motor dipilih melalui dip-switch, yaitu saklar yang difungsikan sebagai pemilih program dengan lima indeks modulasi (0,15), (0,37), (0,59), (0,81), dan (1). Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel kecepatan putar motor dan indeks modulasi

No	Indeks Modulasi	Tegangan tanpa beban	Kecepatan (rpm)
1	0,15	44 Volt	006
2	0,37	97 Volt	138
3	0,59	150 Volt	185
4	0,81	201 Volt	216
5	1	248 Volt	254

Pengukuran tegangan inverter PWM dengan multimeter dilakukan tanpa dicatu ke motor karena pengukuran tegangan dengan multimeter pada saat inverter PWM dicatu ke motor tidak dapat dilakukan karena multimeter juga akan mengukur tegangan balik berikut dengan harmonik-harmoniknya.

Hasil pengamatan kecepatan motor terhadap indeks modulasi memperlihatkan bahwa indeks modulasi awal yaitu pada indeks 0,15 motor tidak berputar dengan baik. Hal tersebut dikarenakan tegangan terkecil agar motor berputar belum dipenuhi sepenuhnya. Untuk indeks modulasi selanjutnya yaitu pada indeks (0,37), (0,59), (0,81), dan 1 motor dapat berputar dengan baik.

#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan untuk rangkaian inverter PWM satu fasa dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. Rancangan pembangkitan pulsa PWM sinusoida melalui teknik perhitungan dengan frekuensi tetap dan indeks modulasi bervariasi yang diimplementasikan dengan mikrokontroler 68HC11 mampu menghasilkan putaran motor yang bervariasi.
2. Metode pembentukan sinyal PWM dengan menentukan hasil modulasi melalui teknik perhitungan bisa digunakan sebagai data untuk pembangkitan pulsa PWM oleh mikrokontroler 68HC11.
3. Frekuensi sinyal keluaran tidak persis sama (sesuai) dengan frekuensi dalam perhitungan karena mikrokontroler dalam program pembangkit pulsa menggunakan clock internal memerlukan *cycles* untuk dapat menjalankannya.
4. Rangkaian penggerak MOSFET berfungsi menaikkan level tegangan sinyal penggerak sampai 13 Volt sehingga mampu menggerakkan inverter MOSFET.
5. Pengaturan kecepatan putar motor induksi untuk frekuensi tetap 50 Hz dengan 5 indeks modulasi berbeda dengan metode PWM sinusoida berbasis mikrokontroler dapat menghasilkan putaran motor yang bervariasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dewan, S.B., Slemon, G. R., and Strause, A., "**Power Semiconductor Drives**", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1994.
- [2] Gendroyono "**Sistem Penggerak Motor Induksi Dengan Beban Berubah Menggunakan Inverter PWM Berbasis Mikrokontroler**", Tesis S-2, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 1999,.
- [3] Rashid, M, H., "**Elektronika Daya : Rangkaian, Divais Dan Aplikasinya**" PT Prenhallindo, Jakarta, 1993.
- [4] Sugiono, "**Teknik Penghilangan Harmonisa Pada Inverter Satu Fasa Dengan Mikroprosesor Sebagai Pembangkit Sinyal Kendali**", Skripsi S-1, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 1988
- [5] Zaki S, A., "**Sistem Pembangkitan Sinyal PWM Berbasisi FPGA Pada Inverter Penggerak Motor Induksi 3 Fasa**", Skripsi S-1, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2001.
- [6] ....., "**M68HC11 E SERIES Programming Reference Guide**", Motorola, Inc., USA 1992.
- [7] ....., "**M68HC11 EVBU Universal Evaluation Board User's Manual**", Motorola, Inc., USA, 1992.