

APLIKASI MIKROKONTROLER AT89C51 SEBAGAI PEMBANGKIT PWM SINUSOIDA 1 FASA UNTUK MENGENDALIKAN PUTARAN MOTOR SINKRON

Hari Wahyu W¹, Bambang Sutopo²

¹ Penulis, Mahasiswa S-1 Teknik Elektro – UGM, Yogyakarta

² Dosen Pembimbing I, Staff Pengajar pada Jurusan Teknik Elektro – UGM, Yogyakarta

ABSTRACT

Single phase pulse width modulation inverter is a circuit which convert DC voltage to AC voltage for one phase. Generating PWM signal digitally give good performance because their immune from noisy. Designing a PWM signal generator using microcontroller has several advantages, such as easy to programed and network inverter become modestly. The aim of this thesis is designing generating of signal PWM one phase by using microcontroller AT89C51. By using this inverter, hence operation of speed of motor AC can be controlled with more carefully. This network inverter is designed so that summarize, therefore a minimum system of mikrokontroler only rely on the single chip mode.

Observation shows that the design of PWM generator work well. The PWM signal which produced has 24 pulse each periode and frequency interval between 20 – 66,67 Hz with the increase and degradation of each every 0,067 Hz.

ABSTRAKSI

Pulse Width Modulation Inverter satu fase adalah rangkaian pengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak balik untuk satu fase. Pembangkitan sinyal PWM secara digital dapat memberikan unjuk kerja sistem yang bagus karena lebih kebal terhadap gangguan/derau. Perancangan sebuah pembangkit sinyal PWM menggunakan mikrokontroler memiliki beberapa keuntungan yaitu mudah diprogram dan rangkaian inverter menjadi sederhana. Tujuan tugas akhir ini adalah merancang pembangkit sinyal PWM satu fase dengan menggunakan mikrokontroler AT89C51. Dengan menggunakan inverter ini, maka pengendalian kecepatan motor AC dapat dilakukan dengan lebih teliti. Rangkaian inverter ini dirancang supaya ringkas, oleh karena itu pada sistem minimal mikrokontroler hanya mengandalkan ragam chip tunggal.

Hasil pengamatan menunjukan bahwa rancangan pembangkit PWM telah berfungsi dengan baik. Sinyal PWM yang dibangkitkan memiliki 24 pulsa setiap periode dan rentang frekuensi antara 20 – 66,67 Hz dengan kenaikan dan penurunan setiap 0,067 Hz.

Keyword: Inverter PWM Satu Fase, AT89C51

1. Pendahuluan

Motor AC memiliki keunggulan dalam hal kesederhanaan dan murahnya biaya perawatan sehingga jenis motor ini banyak dipakai di lingkungan industri maupun rumah tangga. Pengendalian kecepatan putaran motor AC dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya dengan kendali tegangan dan frekuensi.

Inverter adalah konverter DC ke AC dengan tegangan dan frekuensi keluaran dapat diatur sehingga motor AC dapat dikendalikan dengan fleksibel. Ada beberapa jenis inverter diantaranya adalah inverter PWM (*Pulse Width Modulation*). Keuntungan operasi inverter PWM sebagai teknik konversi dibanding dengan jenis-jenis inverter lainnya adalah rendahnya distorsi harmonik pada tegangan keluaran dibanding dengan jenis inverter lainnya. Selain itu teknik PWM sangat

praktis dan ekonomis untuk diterapkan berkat semakin pesatnya perkembangan komponen semikonduktor (terutama komponen daya yang mempunyai waktu penyaklaran sangat cepat).

Pada pengendalian kecepatan motor AC, inverter PWM mempunyai kelebihan yaitu mampu menggerakkan motor induksi dengan putaran halus dan rentang yang lebar. Selain itu apabila pembangkitan sinyal PWM dilakukan secara digital akan dapat diperoleh unjuk kerja sistem yang bagus karena lebih kebal terhadap derau.

2. Tinjauan Pustaka

Perancangan dengan FPGA dapat dilakukan dengan cepat, mudah dimodifikasi dan sesuai untuk *prototyping*, tetapi akan relatif mahal dan tidak ekonomis untuk produksi yang besar (Sutopo, 2000). Penggunaan dengan ASIC

(*Application Specific Integrated Circuit*) akan lebih sesuai untuk produksi besar, tetapi perancangan dengan ASIC akan lebih kompleks dan memerlukan waktu yang lebih lama.

Menurut Agus Bejo (2003), pembangkitan sinyal dengan menggunakan FPGA, di satu sisi dapat memenuhi tuntutan akan kecepatan tetapi disisi lain kurang fleksibel dalam pengoperasian kendalinya. Frekuensi sinyal PWM yang dihasilkan memiliki rentang antara 3 – 110 Hz dengan kenaikan terkecil 1 Hz. Penggunaan mikrokontroler dalam pembangkitan sinyal PWM di satu sisi memiliki kelebihan berupa fleksibilitas dan realibilitas namun disisi lain memiliki kekurangan dalam hal beban komputasi. Oleh karena itu diperlukan suatu cara agar komputasi PWM tidak membebani mikrokontroler.

3. Dasar Teori

Inverter PWM Sinusoida satu fase menghasilkan pulsa PWM bolak balik satu fase dengan nilai tegangan bolak balik efektifnya dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2 dt} \quad (1)$$

dengan V_{rms} = tegangan efektif

v = fungsi tegangan

T = periode

Oleh karena pada inverter SPWM nilai tegangan masukan DC adalah konstan maka tegangan rms dapat juga dirumuskan :

$$V_{rms} = V_{DC} \sqrt{\frac{\sum t_p}{T}} \quad (2)$$

dengan V_{rms} = tegangan efektif

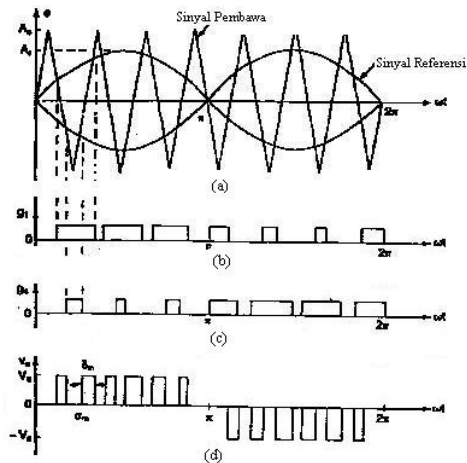
V_{DC} = tegangan searah inverter

t_p = lebar pulsa tinggi dalam 1 periode

T = periode

Untuk menghasilkan sinyal PWM tersebut dapat menggunakan 2 buah sinyal sinus dan 1 sinyal segitiga atau dengan menggunakan 1 buah sinyal sinus dan 2 buah sinyal segitiga.

Pada proses pembangkitan SPWM dengan menggunakan 2 buah sinyal sinus dan sebuah sinyal segitiga, dilakukan perbandingan amplitudo antara sinyal segitiga dengan sinyal sinus. Sinyal penggerak akan dibangkitkan apabila amplitudo sinyal sinus lebih besar daripada amplitudo sinyal segitiga. Masing-masing sinyal penggerak digunakan untuk penyaklaran sehingga diperoleh sinyal PWM. Proses pembangkitan SPWM tersebut dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. (a) Proses perbandingan antara sinyal pembawa dengan sinyal referensi, (b) Sinyal penggerak A, (c) Sinyal penggerak BN, (d) Sinyal SPWM

Proses pembangkitan SPWM secara digital dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu:

1. Dengan membangkitkan gelombang segitiga dan gelombang sinus secara diskret dengan metode *look up table*. Kemudian dilakukan perbandingan untuk masing-masing nilai amplitudo gelombang sinus dan segitiga seperti pada gambar 1. Cara ini sama halnya dengan membangkitkan gelombang sinus analog dan gelombang segitiga analog secara digital.
2. Dengan mencari terlebih dahulu waktu untuk setiap pulsa masing-masing sinyal penggerak, untuk dijadikan data dalam proses pembangkitan sinyal penggerak secara *look up table*. Cara inilah yang dipakai dalam perancangan tugas akhir ini.

4. Metodologi Penelitian

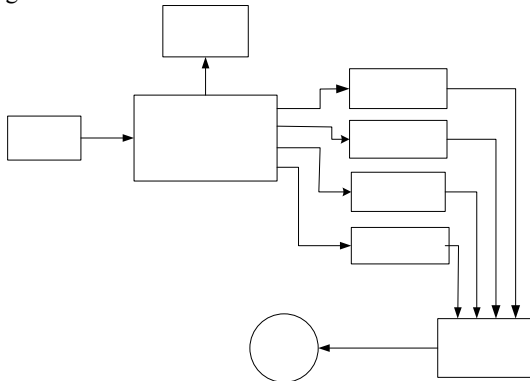
Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur mengenai Inverter PWM satu fase dan Mikrokontroler AT89C51.
2. Merancang dan mensimulasi PWM Satu Fase secara software dengan simulink dari MATLAB 6.0.
3. Merancang dan membuat sistem secara hardware.
4. Merancang perangkat lunak pembangkit sinyal penggerak dengan menggunakan bahasa Assembly.
5. Menguji dan mengambil data dari perancangan.
6. Menganalisa hasil dan membuat kesimpulan.

5. Hasil Implementasi dan Pembahasan

5.1 Perancangan Sistem

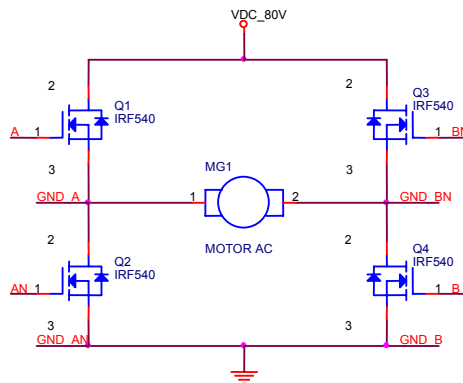
Secara lebih detailnya sistem pengendalian kecepatan motor sinkron dapat dilihat dalam gambar 2.



Gambar 2. Diagram kotak inverter PWM 1 fasa

A. Untai H-Bridge

Rangkaian *H-bridge* berfungsi sebagai rangkaian penyalur tegangan sekitar 80 V_{DC}. Untuk melakukan penyaluran, diperlukan MOSFET yaitu IRF 540N yang memiliki waktu naik dan waktu turun yang cepat, dan V_{DSS} maksimal 100 V.

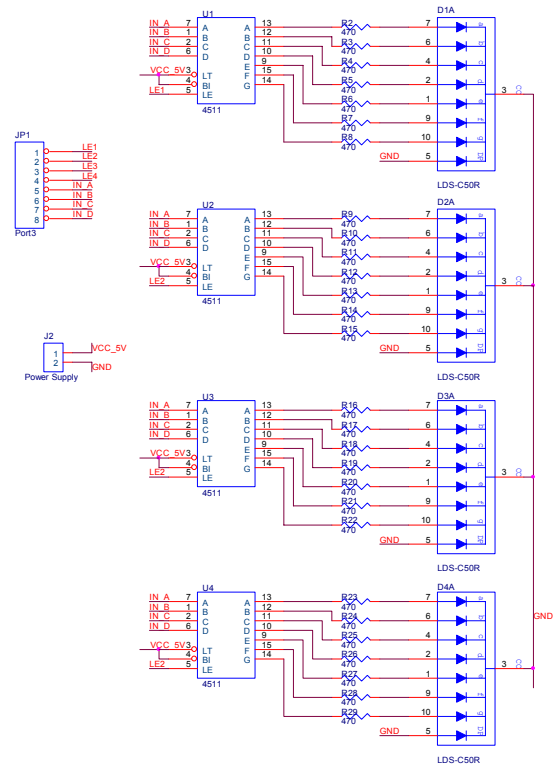


Gambar 3 Rangkaian H-bridge

B. Untai Penampil 7 Segmen

Untuk memudahkan dalam proses pemrograman, maka digunakan IC BCD to 7 Segment Latch (4511). Dengan menggunakan IC ini, maka untuk pengiriman ke setiap segmen hanya sebanyak 2 kali, yaitu proses pengisian data di IC, dan proses penguncian (*latch*).

Program penampil 7 segmen dirancang untuk menampilkan data hasil masukan dari input yang telah disimpan di RAM alamat 27h, 28h dan 29h untuk ditampilkan ke penampil 7 segmen digit ke-2, 3 dan 4. Sedangkan digit ke-1 tidak digunakan karena keterbatasan RAM internal.

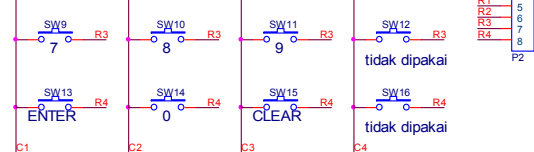


Gambar 4 Rancangan rangkaian penampil 7 segmen

Yang pertama-tama dilakukan yaitu mengambil data dari RAM, kemudian 4 bit high data tersebut di-OR-kan dengan bit untuk menonaktifkan *latch* (bit 0 pada *pin latch enable*) dari IC 4511. Kemudian data tersebut dibalik 4 bit tinggi dengan 4 bit rendahnya lalu dikirim ke *port 2*. Setelah itu 4 bit rendahnya dibuat 1 semua untuk menahan data di IC dengan menggunakan instruksi ORL lalu dikirimkan ke *port 2*. Langkah tersebut diulang sampai data dari RAM alamat 27h sampai 29h tertampil ke penampil 7 segmen.

C. Untai Keypad

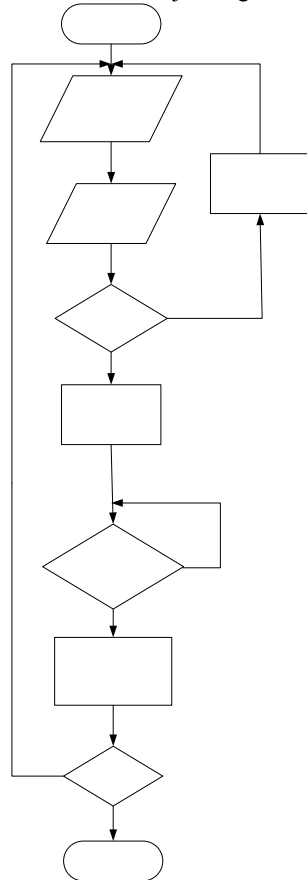
Sistem Minimal Mikrokontroler AT89C51



Gambar 5 Rancangan posisi keypad

Metode yang digunakan yaitu dengan menggunakan pemayaran kolom secara urut. Pada saat pemayaran kolom 1 (C1) maka bit 0 diberi logika rendah, sedangkan bit yang lain diberi logika tinggi. Apabila tidak ada penekanan, maka kondisi hasil pembacaan *port* menunjukkan data yang sama dengan pengeluan data tadi. Apabila ada

penekanan salah satu saklar, maka salah satu dari 4 bit tinggi akan berubah menjadi logika rendah



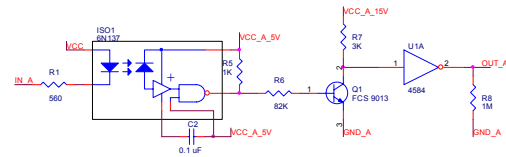
Gambar 6 Diagram alir program keypad

D. Sistem Minimal AT89C51

Pengendali yang dirancang adalah menggunakan mikrokontroler dan bekerja dalam ragam *single chip operation* (mode operasi keping tunggal) yang tidak memerlukan memori luar. Kristal yang digunakan untuk mengoperasikan mikrokontroler adalah 12 MHz. Penggunaan kristal 12 MHz menyebabkan detak dalam pada mikrokontroler menjadi $12 \text{ Mhz} / 12 = 1 \text{ MHz}$, yang artinya setiap periode detak waktunya 1 mikrodetik, sehingga memudahkan untuk mengubah-ubah data pada penggunaan pewaktu karena periode detak pewaktuannya tidak ganjil.

E. Untai Penggerak

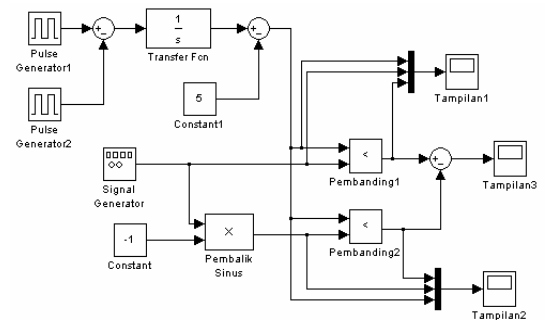
Rangkaian penggerak berfungsi untuk mengisolasi antara rangkaian sistem minimal AT89C51 terhadap rangkaian H-bridge. Selain itu, tugas yang lainnya yaitu menyesuaikan tegangan antara mikrokontroler dengan tegangan kerja dari rangkaian H-bridge.



Gambar 7 Rangkaian penggerak A

F. Perangkat Lunak Pembangkit PWM

Untuk mendapatkan data pewaktuan masing-masing sinyal penggerak PWM, maka terlebih dahulu dibuat simulasi pembangkitan sinyal PWM dengan menggunakan MATLAB. Dengan menggunakan fasilitas simulink di MATLAB maka didapatkan simulasi seperti pada gambar 8 sebagai berikut:



Gambar 8 Simulink MATLAB untuk simulasi PWM

Pada tugas akhir ini akan dibuat inverter PWM sinusoida 12 pulsa setiap setengah periode. Untuk mendapatkan sinyal penggerak PWM 12 pulsa, maka dibutuhkan 13 buah sinyal segitiga setiap 1 gelombang sinusoida. Karena di pustaka simulink MATLAB tidak ada pembangkit gelombang segitiga, maka cara lainnya yaitu dengan mengintegrasikan gelombang kotak. Amplitudo gelombang segitiga dibuat 5 V.

Blok pembanding1 dan pembanding2 akan membandingkan antara gelombang segitiga dengan gelombang sinusoida. Cara kerjanya yaitu jika nilai gelombang segitiga lebih kecil dari gelombang sinusoida pada saat t yang sama, maka hasilnya 1. Apabila sebaliknya, maka hasilnya 0.

Data diambil dengan menghitung masing-masing pewaktuan sinyal penggerak pada saat tinggi dan rendah sampai seperempat periode. Data tidak diambil selama satu periode karena setelah mencapai seperempat periode, maka pewaktuan untuk logika tinggi dan rendah sinyal penggerak merupakan perulangan dari pewaktuan yang seperempat periode pertama tadi, sehingga menghemat penggunaan ROM. Berarti ada 7 buah data yang harus diambil selama seperempat periode pertama. Pola perulangan pewaktuan sinyal penggerak dan pengambilan ketujuh buah data dapat dilihat pada gambar 9.

Mulai

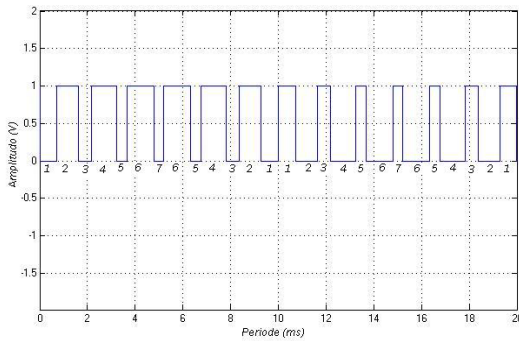
Output data untuk Scan Ci

Deteksi baris (R)

Parity error?

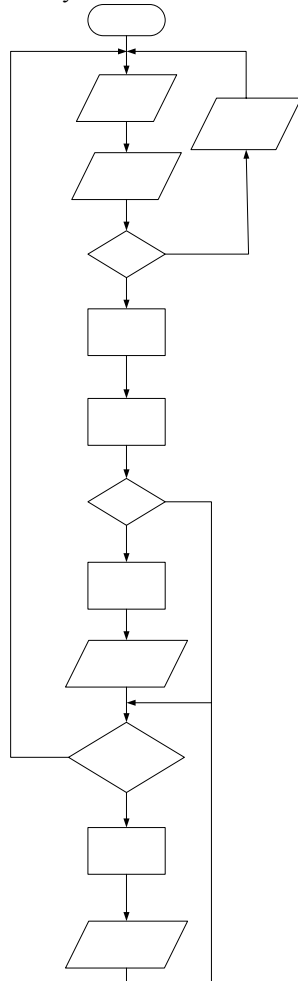
P=0

Delay antibouncing



Gambar 9 Proses pengambilan data sinyal penggerak

Perancangan perangkat lunak menggunakan bahasa assembler. Program dibuat untuk menghasilkan secara langsung keempat sinyal penggerak PWM dengan frekuensi dan indeks modulasi tertentu sesuai dengan masukan kecepatan RPM motor. Metode yang digunakan yaitu *look up table* berdasarkan data yang telah didapat dari hasil simulasi MATLAB. Berikut ini adalah diagram alir perangkat lunaknya:

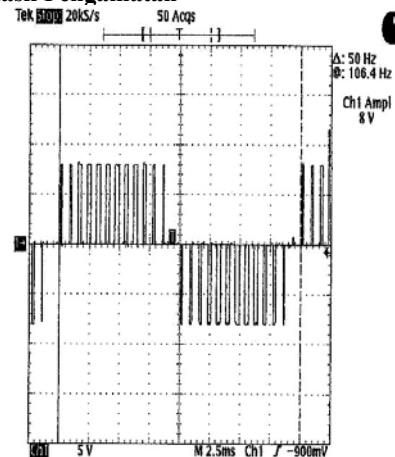


Gambar 10 Diagram alir program utama pembangkit sinyal penggerak

Karena data yang akan diolah besarnya 2 byte maka pengolahannya menggunakan program perkalian 16 bit yang akan menghasilkan data 32 bit, dan pembagiannya menggunakan program pembagian 32 bit yang akan menghasilkan data 16 bit.

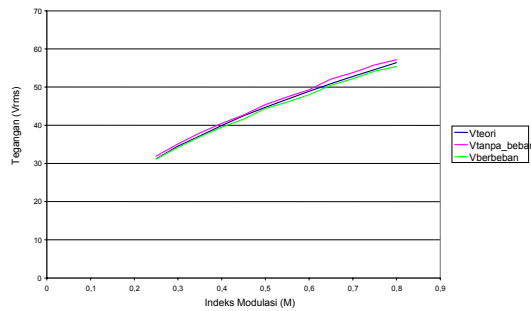
Motor sinkron tidak dapat langsung diputar pada kecepatan tinggi karena dalam keadaan awal rotor belum berputar, dibutuhkan torsi yang lebih besar daripada setelah berputar. Untuk memutar motor agar diperoleh kecepatan yang tinggi, maka pertama-tama motor diputar pada 300 RPM dengan tegangan di atas tegangan operasional. Setelah motor berputar, lalu tegangan diturunkan pada tegangan operasional, dan dinaikkan frekuensi dan tegangannya untuk mendapatkan kecepatan yang tinggi. Oleh karena itu dibutuhkan program untuk *starting* untuk memutar motor ke putaran rendah dengan tegangan yang lebih tinggi daripada tegangan *steady state*-nya pada putaran yang sama.

5.2 Hasil Pengamatan



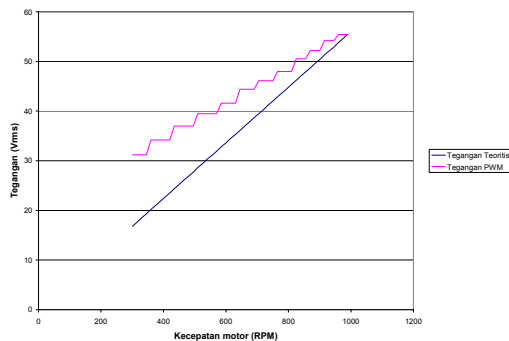
Gambar 11 Sinyal keluaran inverter pada frekuensi masukan 50 Hz

Gambar 11 merupakan salah satu hasil pengamatan sinyal keluaran inverter dengan menggunakan osiloskop. Pada pengamatan ini digunakan masukan data 750 RPM sehingga dengan menggunakan rumus (2.6) diperoleh frekuensi tegangan AC yaitu 50 Hz. Karena menggunakan *probe* dengan faktor pengali 10x, maka berdasarkan hasil osiloskop terukur tegangan 80 V.



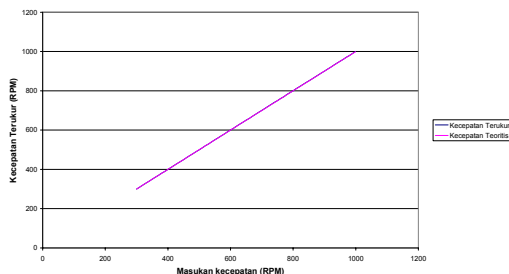
Gambar 12 Karakteristik nilai indeks modulasi terhadap tegangan SPWM

Dari gambar 12, tampak bahwa tegangan yang terukur tanpa beban hampir sama dengan tegangan teori. Apabila inverter diberi beban motor maka tegangan turun sekitar 1 V. Hal ini disebabkan karena MOSFET masih mempunyai hambatan dalam pada saat ON walaupun sangat kecil sekitar $44 \text{ m}\Omega$ (data dari datasheets) dan terpasang seri dengan beban.



Gambar 13 Karakteristik tegangan terhadap putaran motor

Dari gambar 13 tampak bahwa kenaikan tegangan yang terukur tidak linear karena kenaikan indeks modulasi setiap 0.25 sehingga untuk membuat kenaikan tegangan secara linear tidak bisa karena jarak untuk setiap kenaikan indeks modulasi masih terlalu besar.



Gambar 14 Hasil pengamatan kecepatan terukur terhadap kecepatan teoritis

Hasil yang diperoleh dari gambar 14 bahwa kecepatan terukur hampir sama dengan kecepatan

teoritis (masukan data RPM) dengan selisih terbesar 0,2 RPM.

6. Kesimpulan

Dari hasil simulasi, pengamatan dan pengujian pada rancangan yang dibuat dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Frekuensi sinyal PWM yang dihasilkan memiliki rentang antara 20 – 66,6 Hertz dengan kenaikan setiap 0,067 Hz yang digunakan untuk memutar motor dari 300 – 999 RPM dengan kenaikan setiap 1 RPM.
2. Pengendalian kecepatan motor hanya 3 digit RPM saja karena keterbatasan RAM dalam AT89C51.
3. Tegangan efektif keluaran (V_{rms}) inverter berbanding lurus dengan nilai indeks modulasinya.
4. Frekuensi sinyal PWM yang dihasilkan sama dengan frekuensi masukan yang diharapkan, yang ditunjukkan dengan kecepatan putaran motor sama dengan masukan kecepatan motor.
5. Untuk mengendalikan kecepatan putaran motor sinkron, kenaikan tegangan terhadap frekuensi belum dapat dilakukan secara proporsional karena kenaikan indeks modulasi masih terlalu besar.

7. Daftar Pustaka

- Agfianto, E.P.**, 2002, *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/53 (Teori dan Aplikasi)*, Gava Media, Yogyakarta.
- Bejo, A.**, 2003, *PWM Satu Fasa Berbasis FPGA Dengan Kendali Mikrokontroler*, Tugas Akhir, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta (tidak diterbitkan).
- Chapman, J.S.**, 1985, *Electric Machinery Fundamentals*, McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- Kenjo, T.**, 1990, *Power Electronics for The Microprocessor Age*, Oxford University Press, New York.
- Nalwan, A.P.**, 2003, *Teknik Antarmuka dan Pemrograman Mikrokontroler AT89C51*, Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Rashid, H.M.**, 1999, *Power Electronics Circuits, Devices, and Applications*, Prentice Hall, New Delhi