

Makalah Tugas Akhir

SEQUENTIAL SOFT START DAN SOFT STOP UNTUK KENDALI MOTOR UNIVERSAL MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER AT89S51

Oleh : Yunanda Raharjanto *)

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Abstrak

Motor universal merupakan motor yang dapat beroperasi dengan menggunakan masukan dc maupun masukan ac. Pengaturan starting motor universal dapat dilakukan dengan mengatur tegangan input pada motor universal tersebut. Dengan adanya starting tersebut arus pada motor atau awal tidak terlalu tinggi. Pada dasarnya motor universal adalah suatu motor seri yang mempunyai kemampuan bekerja pada masukan ac dan dc.

Sebuah alat dengan AT89S51 digunakan untuk mengatur besarnya sudut pemunculan pada triac untuk suplai daya motor universal dengan sistem kalang terbuka dibuat untuk mengatasi masalah tersebut. Alat ini dibuat untuk mengatur tegangan masukan pada motor universal dengan menggunakan penyearah setengah gelombang terkontrol dan pengontrol tegangan ac fasa tunggal, serta bekerja pada sistem kontrol kalang terbuka.

Pada Tugas Akhir yang mengatur start dan stop dua buah motor universal yang bekerja secara sequensial menggunakan mikrokontroler AT89S51 sebagai kontrol untuk menentukan sudut pemunculan pada triac, dan tegangan yang dihasilkan diberikan pada masukan motor universal. Selain proses start dan stop, alat ini juga mengatur motor untuk bekerja secara sequensial atau berurutan. Sebagai obyek percobaan digunakan motor universal berkapasitas 85 Watt yang terdapat di Laboratorium Konversi Energi dan Sistem Tenaga Listrik Teknik Elektro Universitas Diponegoro.

I. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang Masalah

Motor universal merupakan motor yang bisa beroperasi dengan menggunakan supply dc maupun supply ac. Pengaturan starting motor universal dapat dilakukan dengan mengatur tegangan input pada motor universal tersebut. Dengan adanya soft starting, arus awal motor tidak terlalu tinggi. Pada dasarnya motor universal adalah suatu motor seri yang mempunyai kemampuan bekerja pada supply ac dan supply dc. Sedangkan untuk proses soft stop berfungsi untuk menghindari motor yang dapat diputar oleh beban ataupun momen inersia motor, sehingga perlu adanya proses soft stop.

Terdapat beberapa metode untuk mengatur kecepatan putar motor yang bervariasi dan pengasutan bertingkat (untuk menghindari arus pengasutan yang terlalu tinggi) pada motor dc dan motor ac. Maka diperlukan sebuah peralatan yang bekerja secara konvensional (mekanis) atau secara elektronik (elektronika daya) yang terhubung dengan motor tersebut. Untuk menghasilkan tegangan bolak balik maupun tegangan arus searah yang bervariasi, untuk supply daya motor universal terdapat beberapa alternatif diantaranya dengan menggunakan rangkaian ac atau dc terkontrol maupun rangkaian ac atau dc tak terkontrol.

1.2 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai pada pembuatan tugas akhir ini adalah :

1. Mempelajari cara penggunaan mikrokontroler AT89S51 untuk membuat pengasutan pada motor universal dengan mengatur besarnya sudut pemunculan triac.
2. Mempelajari dan menerapkan pengasutan dua buah motor universal yang dioperasikan secara sequensial atau secara berurutan, baik yang beroperasi pada tegangan ac maupun pada tegangan dc yaitu dengan jalan pengaturan pemunculan triac.

1.3 Batasan Masalah

Karena kompleksnya permasalahan yang ada pada pembuatan tugas akhir ini, maka perlu adanya batasan-batasan masalah guna menyederhanakan permasalahan, batasan masalahnya yaitu :

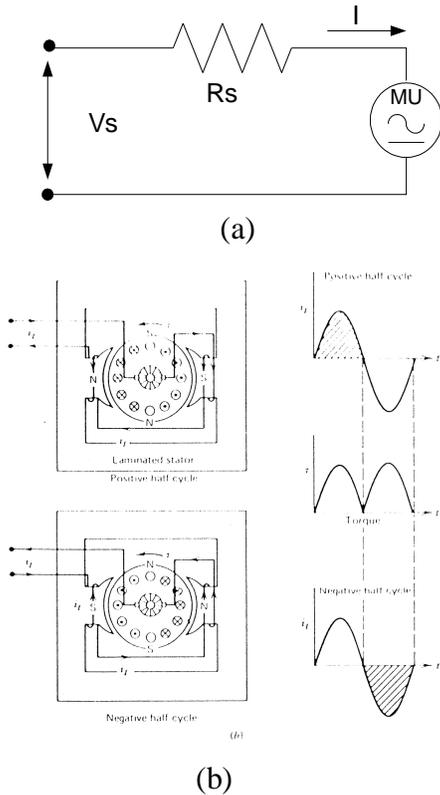
1. Mikrokontroler yang digunakan adalah AT89S51.
2. Pengaturan motor universal hanya dilakukan dengan mengatur tegangan pada input melalui penyearah setengah gelombang terkontrol dan pengaturan ac fasa tunggal terkontrol.
3. Sistem yang digunakan adalah kalang terbuka, sedangkan untuk kerja sequence diatur dari timer yang didapatkan dari percobaan secara empirik.
4. Frekuensi referensi tegangan bolak balik yang digunakan 50 Hz dan bekerja pada tegangan 220 volt.

II. Dasar Teori

2.1 Motor Universal

Motor universal merupakan suatu motor seri yang mempunyai kemampuan bekerja dengan tegangan masukan ac maupun tegangan masukan dc. Pengaturan starting motor universal dapat dilakukan dengan mengatur tegangan

input pada *motor universal*. Untuk menghasilkan tegangan bolak balik maupun tegangan searah yang bervariasi untuk suplai daya *motor universal* terdapat beberapa alternatif diantaranya dengan menggunakan *rangkaian AC atau DC terkontrol* maupun *rangkaian AC atau DC tak terkontrol*.



Gambar 2.1 Motor universal (a) rangkaian ekuivalen (b) prinsip operasi

Karena besarnya arus asut maka diperlukan sistem pengaturan pada saat pengasutan (*softstarter*). Metode pengasutan dan metode pengaturan kecepatan pada saat motor bekerja (*running*), yaitu :

$$E_b = V_t - I_a \cdot R_a \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\frac{\Phi \cdot Z \cdot N \cdot P}{A} = V_t - I_a \cdot R_a$$

$$N = \frac{V_t - I_a \cdot R_a}{\Phi} \times \frac{A}{Z \cdot P}$$

$$N = K \cdot \frac{V_t - I_a \cdot R_a}{\Phi} \dots\dots\dots (2.2)$$

Pada persamaan 2.5 diatas terjadi apabila *motor universal* tersebut dikasih tegangan dc. Apabila diberi tegangan ac akan menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$N = \frac{V_t - I_a (R_a + R_{se} + j\omega L)}{K \cdot \phi} \dots (2.3)$$

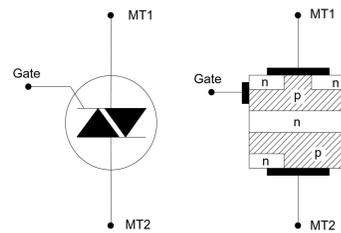
dengan : N = kecepatan putar (rpm)
 V_t = tegangan sumber (Volt)

- I_a = arus jangkar (A)
- R_a = beban jangkar (Ω)
- R_{se} = Resistor seri (Ω)
- Φ = fluks magnetic (wb)

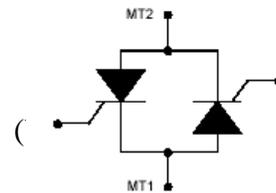
karena karakteristik *motor universal* sama dengan karakteristik motor dc seri sehingga I_{jangkar} = I_{medan}.

2.2 Triac

Triac adalah komponen yang tersusun sedemikian rupa dari dua buah *thyristor*. Jadi secara umum perlakuan *triac* mirip dengan *thyristor*, kecuali adalah bahwa *triac* itu sendiri paling tepat untuk kontrol fasa tegangan ac. Gambar 2.2 adalah simbol *triac* dan struktur dasar sebuah *triac*, dan Gambar 2.3 adalah gambar ekuivalen sebuah *triac* yang tersusun dari dua buah *thyristor*.



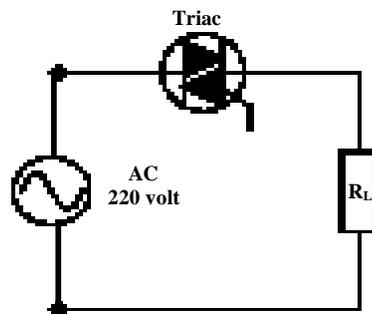
Gambar 2.2. (a) simbol *triac* (b) struktur dasar *triac*



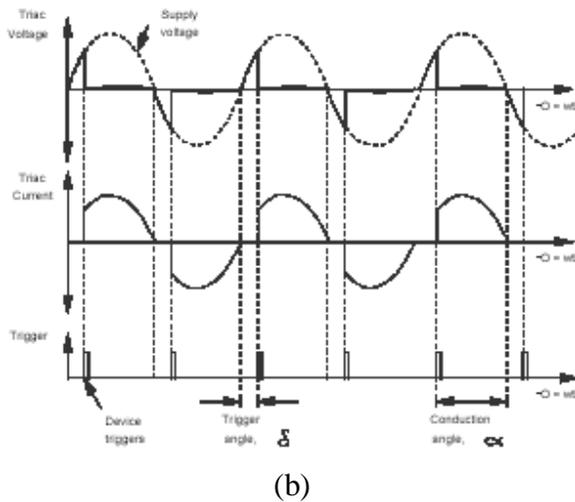
Gambar 2.3. Rangkaian ekuivalen *triac* dengan 2 *thyristor*

Proses pemicuan dapat diperhatikan pada Gambar 2.4. Gambar 2.4 menunjukkan bahwa *triac* dipicu pada sudut α (dengan sudut α dapat diatur).

Dalam pembuatan modul ini digunakan metoda penyulutan melalui terminal *gate*. Setelah *triac* dalam kondisi terpicu maka *triac* akan dalam kondisi menghantarkan arus listrik, untuk pengaturan fasa atau menghentikan arus listrik maka diperlukan metoda komutasi.



(a)



Gambar 2.4. (a) rangkaian sederhana *triac*
(b) bentuk gelombang yang dihasilkan

Pada intinya metoda komutasi pada *triac* adalah mengusahakan tegangan pada *triac* adalah nol, sehingga arus tidak mengalir. Pada saat itu dapat dipastikan *triac* akan dalam kondisi tidak dapat menghantarkan arus listrik dari MT1 ke MT2 atau MT2 ke MT1 hingga pemucuan dimasukkan kembali. Dan beberapa metoda membuat *triac* tidak menghantar atau komutasi, yaitu :

1. Komutasi alami (*natural commutation*)

Dalam pembuatan modul ini, teknik alami yang digunakan, karena tegangan kerja yang digunakan adalah ac. Pada tegangan ac setiap satu periode akan melewati dua kali titik nol yaitu 0^0 dan 180^0 . Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.6, setelah tegangan melewati titik-titik (*trigger*) tersebut maka *triac* secara otomatis akan mengalami komutasi. Inilah salah satu keuntungan bila menggunakan *triac* pada tegangan kerja ac.

2. Komutasi yang dipaksakan (*Forced commutation*)

Komutasi jenis ini tidak dibahas secara mendetail, karena tidak digunakan dalam pembuatan modul. Komutasi ini digunakan untuk aplikasi tegangan kerjanya adalah dc (linier), dikarenakan *triac* setelah dipicu akan melakukan arus dc secara terus menerus. Untuk mengkondisikan terjadinya tegangan nol pada *triac* maka perlu dibuat rangkaian khusus yang terdiri dari susunan kapasitor dan induktor bahkan menggunakan *triac* lebih dari satu buah. Terdapat beberapa metoda komutasi, yaitu :

- a. Komutasi sendiri (*self commutation*)
- b. Komutasi impuls (*impuls commutation*)
- c. Komutasi pulsa resonansi (*resonant pulse commutation*)
- d. Komutasi timbal balik (*complementary commutation*)
- e. Komutasi pulsa luar (*external pulse commutation*)
- f. Komutasi sisi beban (*load side commutation*)
- g. Komutasi sisi kirim (*line side commutation*)

Besarnya nilai kapasitor dan induktor sangat mempengaruhi perioda *on-off* yang diperoleh.

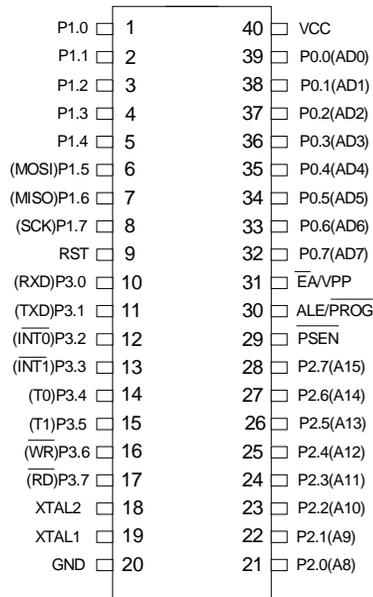
Kutup pemucuannya adalah *gate-A1*. Jadi pemucuan atau penyulutan (*triggering*) bertujuan untuk membuat *triac* dalam kondisi menghantarkan arus listrik dan sekaligus mengatur besarnya tegangan yang dilepaskan. Sedangkan tujuan komutasi adalah membuat *triac* dalam kondisi tidak menghantarkan arus listrik. Gambar 2.4 adalah rangkaian sederhana *triac* yang dipicu sebesar α serta bentuk gelombang yang dihasilkan. Pada tugas akhir ini digunakan komutasi natural, karena tegangan kerja yang digunakan adalah AC.

Mikrokontroler AT89S51

Mikrokontroler AT89S51^{[6][13]} adalah sebuah chip mikrokomputer 8 bit yang mempunyai 4 Kbyte memory program jenis *flash* atau disebut *Flash Programable and Erasable Read Only Memory (PEROM)*. Piranti mikrokontroler ini dibuat dengan menggunakan teknologi *memory non-volatile* dari Atmel dengan instruksi-instruksi program yang kompatibel dengan mikrokontroler standart MCS'51. *Single chip* mikrokontroler AT89S51 merupakan sistem minimum yang sudah cukup lengkap untuk digunakan sebagai kontrol.

Konfigurasi mikrokontroler AT89S51 dapat diuraikan pada keterangan berikut ini.

1. Kompatibel dengan produk MCS-51TM .
2. 4 Kbytes Memori Flash dapat terprogram ulang
3. Operasi statis penuh: 0Hz sampai 24 Mhz
4. 128 x 8 bit RAM internal
5. 32 jalur I/O terprogram
6. Dua 16 bit *counter*/pewaktu
7. Enam sumber interupsi
8. Terminal serial yang terprogram
9. Mode daya rendah senggang, dan penurunan daya.
10. Kemampuan melaksanakan operasi perkalian, pembagian, dan operasi Boolean (bit)
11. Kemampuan pelaksanaan instruksi per siklus 1 mikrodetik pada frekuensi *clock* 12 Mhz.
12. In System Programming (*ISP*). Pada sistem ini tanpa harus melepas IC, sehingga lebih mudah dalam memprogram IC.



Gambar 2.5 Konfigurasi pena AT89S51

Mikrokontroler dengan jumlah pin sebanyak 40 memiliki konfigurasi pin seperti yang tertera pada Gambar 2.7.

Berikut ini penjelasan fungsi pin mikrokontroler AT89S51 sesuai Gambar 2.7^[8]:

VCC Pin vcc terminal untuk *power supply*

GND Pin gnd terminal sebagai *ground*

Port 0 Merupakan port *open drain input/output* 8 bit 2 arah, bila difungsikan sebagai *output*, dapat dibebani ke 8 *input* TLL. Saat logika 1 dituliskan ke pin Port 0, pin dapat digunakan sebagai *input* impedansi tinggi. Port 0 bisa difungsikan untuk *low order address/data* yang dimultipleks selama mengakses ke memori program dan memori data eksternal. Pada mode ini Port 0 mempunyai *pull-up* internal. Port 0 juga menerima kode byte selama pemrograman flash dan mengeluarkan kode byte saat program verifikasi. Selama program verifikasi dibutuhkan *pull-up* eksternal.

Port 1 Merupakan port *input/output* 8 bit dengan *pull-up* internal. *Buffer output* Port 1 dapat diberi beban 4 *input* TLL. Saat logika 1 dituliskan ke pin Port 1, pin-pin di-*pull-up* ke level tinggi melalui *pull-up* internal. Bila sebagai *input*, pin Port 1 yang secara eksternal dibuat kondisi rendah akan memberikan sumber arus (I_{IL}) karena *pull-up* internal. Port 1 juga menerima byte-byte *low order* selama pemrograman flash dan program verifikasi.

Tabel 2.1 Fungsi Alternatif Port 1

Port pin	Fungsi alternatif
P1.5	MOSI
P1.6	MISO
P1.7	SCK

Port 2 Merupakan port *input/output* 8 bit dengan *pullup* internal. *Buffer output* Port 2 dapat dibebankan 4 *input* TTL. Ketikat logika 1 (*high*) dituliskan ke pin Port 2, pin-pin di-*pull-up* ke level tinggi melalui *pull-up* internal. Bila sebagai *input*, pin Port 2 yang secara eksternal dibuat kondisi rendah akan memberikan sumber arus (I_{IL}) karena *pull-up* internal. Port 2 memancarkan byte *high order address* selama mengambil dari memori program eksternal dan selama mengakses memori data eksternal yang menggunakan pengalamatan 16 bit [movx @DPTR]. Dalam aplikasi ini Port 2 menggunakan *pull-up* internal yang kuat ketika memancarkan logika 1. Selama mengakses memori data eksternal yang menggunakan pengalamatan 8 bit [movx @R1], Port 2 memancarkan isi dari *Special Function Register* (SFR) Port 2. Port 2 juga menerima bit *high order address* dan beberapa sinyal kontrol selama pemrograman flash dan verifikasi.

Port 3 Merupakan port *input/output* 8 bit dengan *pull-up* internal. *Buffer output* Port 3 dapat dibebankan 4 *input* TLL. Saat logika 1 (*high*) dituliskan ke pin Port 3, pin-pin di-*pull-up* ke level tinggi melalui *pull-up* internal. Bila sebagai *input*, pin Port 3 yang secara eksternal dibuat kondisi rendah akan memberikan sumber arus (I_{IL}) karena *pull-up* internal. Port 3 juga menyediakan bermacam-macam fungsi-fungsi khusus AT89S51 seperti diperlihatkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Fungsi Alternatif Port 3.

Port pin	Fungsi alternatif
P3.0	RXD (<i>serial input port</i>)
P3.1	TXD (<i>serial output port</i>)
P3.2	INT0 (<i>external interrupt 0</i>)
P3.3	INT1 (<i>external interrupt 1</i>)
P3.4	T0 (<i>timer 0 external input</i>)
P3.5	T1 (<i>timer 1 external input</i>)
P3.6	WR (<i>external data memory write strobe</i>)
P3.7	RD (<i>external data memory read strobe</i>)

RST Pin *input* reset. Tegangan logika 1 pada pinnya selama dua kali siklus mesin ketika osilator bekerja menyebabkan reset pada piranti.

ALE/PROG Pulsa *output* Address Latch Enable (ALE) untuk memberikan jalan byte rendah dari suatu alamat dalam mengakses memori eksternal. Pin ini juga sebagai *input* pulsa program selama pemrograman flash. Bila

diinginkan, operasi ALE dapat ditiadakan dengan mengatur seting bit 0 pada lokasi SFR, 8EH. Dengan bit diset, ALE hanya aktif selama intruksi MOVX atau MOVC. Setting ALE nonaktif tidak mempunyai pengaruh bila mikrokontroler dalam mode eksekusi eksternal.

PSEN *Program Store Enable* adalah *strobe* untuk membaca memori program eksternal. Bila AT89S51 mengeksekusi kode dari memori program eksternal, PSEN diaktifkan setiap 2 kali siklus mesin.

EA/VPP *External Access Enable*, EA harus dihubungkan ke GND agar piranti bisa mengambil kode dari memori program eksternal dengan lokasi awal 0000H sampai FFFFH. EA harus dihubungkan ke VCC untuk eksekusi program internal. Pin ini juga menerima tegangan 12 volt selama pemrograman flash

XTAL1 Pin XTAL1 adalah *input* ke *inverting oscillator amplifier* dan *input* ke rangkaian clock internal.

XTAL2 Pin XTAL2 adalah *output* dari *inverting oscillator amplifier*.

2.4 Penyearah Setengah Gelombang Terkontrol^[6]

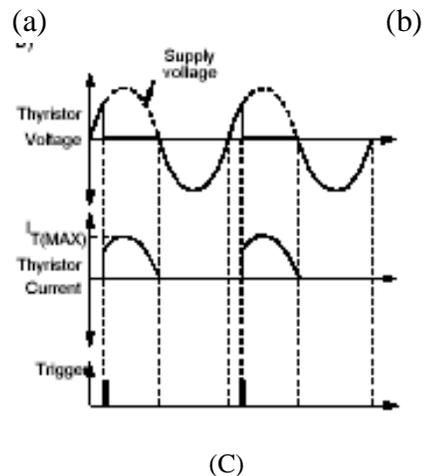
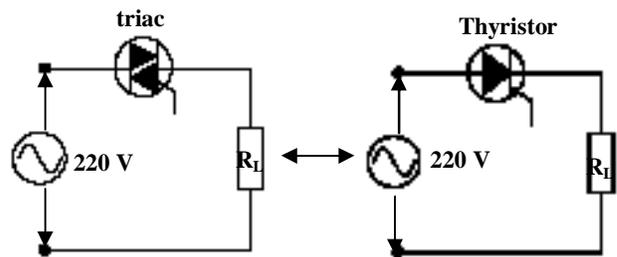
Triac merupakan device bidirectional terminalnya tidak dapat ditentukan sebagai anoda atau katoda. Dengan tetap melihat Gambar 2.4, jika terminal MT₂ positif terhadap terminal MT₁, triac dapat dimatikan dengan memberikan sinyal gerbang positif antara gerbang G dan MT₁. Jika terminal MT₂ negatif terhadap MT₁, maka triac dapat dihidupkan dengan memberikan sinyal pulsa negative antara gerbang G dan terminal MT₁. Tidak perlu untuk memiliki kedua sinyal gerbang positif dan negatif dan triac dapat dihidupkan baik oleh sinyal gerbang positif dan negatif. Sehingga pada penyearah setengah gelombang terkontrol digunakan sinyal positif saja untuk menghidupkan triac. Dengan triac yang hanya diberi sinyal positif maka fungsi triac bisa disamakan dengan thyristor.

Pada penyearah setengah gelombang terkontrol memiliki tegangan keluaran rata-rata V_{DC} dapat diperoleh dari :

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{V_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi} = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \dots\dots\dots (2.4)$$

Tegangan keluaran-rms diberikan oleh

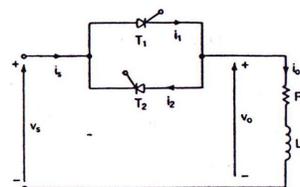
$$V_{rms} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t) \right]^{1/2} = \left[\frac{V_m^2}{4\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (1 - \cos 2\omega t) d(\omega t) \right]^{1/2} = \frac{V_m}{2} \left[\frac{1}{\pi} \left[\omega t - \frac{1}{2} \sin 2\omega t \right]_{\alpha}^{\pi} \right]^{1/2} = \frac{V_m}{2} \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \epsilon + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{1/2} \dots\dots\dots (2.5)$$



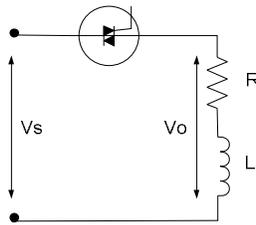
Gambar 2.6. Penyearah setengah gelombang terkontrol (a) Triac dengan satu kali picu (+), (b) Ekuivalen dengan SCR (c) Sinyal keluaran

2.5 Kontrol Tegangan AC Fasa Tunggal^[10]

Rangkaian yang digunakan adalah :

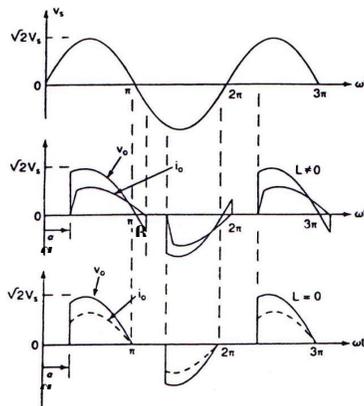


(a)



(b)

Gambar 2.7. Kontrol tegangan ac fasa tunggal (a) Thyristor antipararel (b) Triac



Gambar 2.8 Bentuk gelombang

Dapat pula *thyristor* tersebut diganti dengan *triac*, karena sifat *antiparallel thyristor* sama dengan sifat *triac*. Pada Gambar 2.15 menunjukkan bahwa bentuk gelombang keluaran (*output*) tegangan dan arus dengan dan tanpa induktor (*resistor* murni). β adalah titik simpangan akibat penggunaan induktor pada rangkaian, sehingga $\delta = \beta - \alpha$ adalah sudut konduksi pada rangkaian. Untuk mendapatkan β akan dibahas dibawah.

Parameter yang digunakan :

Tegangan *output*

$$V_o = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} 2V_s^2 \sin^2 \omega t d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V_o = \left[\frac{4V_s^2}{4\pi} \int_{\alpha}^{\beta} (1 - \cos 2\omega t) d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V_o = V_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\beta - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} - \frac{\sin 2\beta}{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

I_R adalah arus masing-masing *thyristor*

$$I_R = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} i_1^2 d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$I_R = \frac{V_s}{Z} \left[\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \left(\sin(\omega t - \theta) - \sin(\alpha - \theta) \cdot e^{\frac{R}{\omega L}(\alpha - \omega t)} \right)^2 d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$I_R = \frac{V_s}{Z} \left[\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \sin^2(\omega t - \theta) + \sin^2(\alpha - \theta) \cdot e^{\frac{2R}{\omega L}(\alpha - \omega t)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$- 2 \cdot \sin(\alpha - \theta) \cdot \sin(\omega t - \theta) \cdot e^{\frac{R}{\omega L}(\alpha - \omega t)} d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}}$$

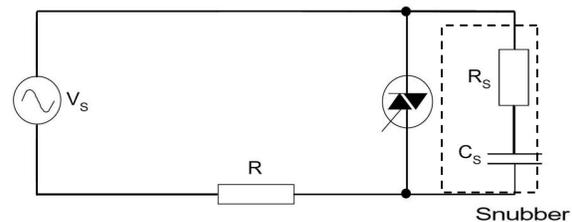
$$I_R = \frac{V_s}{Z} \left[\frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2} \omega t - \frac{1}{4} \sin 2(\omega t - \theta) - \frac{\omega L}{2R} \sin^2(\alpha - \theta) \cdot e^{\frac{2R}{\omega L}(\alpha - \omega t)} \right. \right.$$

$$\left. - 2 \cdot \sin(\alpha - \theta) \frac{(\omega L)^2}{(\omega L)^2 + R^2} \left(-\cos(\omega t - \theta) \cdot e^{\frac{R}{\omega L}(\alpha - \omega t)} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\left. - \frac{R}{\omega L} \sin(\omega t - \theta) \cdot e^{\frac{R}{\omega L}(\alpha - \omega t)} \right]_{\alpha}^{\beta} \right]^{\frac{1}{2}}$$

2.6 Rangkaian Snubber^[10]

Rangkaian *snubber* dibuat agar dapat menjamin bahwa komponen tidak dalam kondisi tidak terlindungi terhadap perubahan tegangan dan arus secara berlebihan selama kondisi *transient* (sementara waktu atau sesaat). Gambar 2.16 menunjukkan pemakaian rangkaian *snubber* pada *triac*.



Gambar 2.9. Rangkaian *snubber*

Parameter yang mempengaruhi pemilihan komponen snubber adalah nilai beban induktif, frekuensi dari tegangan ac, dan rms arus beban. Nilai resistor snubber perlu cukup besar guna meredam saluran dan menghindari tegangan overshoot. Kapasitor snubber seharusnya memiliki nilai rating yang sesuai dengan sistem tegangan ac yang digunakan. Resistor snubber perlu memiliki rating 0.5 W. Besar nilai snubber diberikan oleh persamaan:

$$C \geq 25L \left(\frac{f I_{T(RMS)}}{dV_{(com)} / dt} \right)^2 \dots \dots \dots (2.6)$$

$$R = \sqrt{\frac{3L}{C}} \dots \dots \dots (2.7)$$

dimana : L = beban induktif
 f = frekuensi jala-jala listrik
 $I_{T(RMS)}$ = arus RMS piranti
 $dv_{(com)}/dt$ = rating komutasi dv/dt piranti.

Snubber yang dipasang paralel terhadap piranti dapat menambah performa turn-on triac dengan menggunakan arus pengosongan kapasitor snubber sebagai penambahan arus beban untuk memastikan triac sudah tertahan pada kondisi turn-on. Nilai resistor snubber harus cukup besar untuk membatasi puncak dari arus pengosongan kapasitor yang melewati triac.

III. Perancangan dan Pembuatan Alat

3.1 Perancangan

Sebelum membuat alat yang berupa hardware dan software diperlukan proses yang disebut sebagai perancangan, perancangan yang akan menentukan hasil akhir dari alat.

Alat dibuat dengan spesifikasi sebagai berikut :

1. Tegangan suplai untuk alat adalah arus bolak balik 220 volt satu fasa, frekuensi 50 Hz.
2. Aplikasi untuk 2 buah motor universal yang bekerja secara berurutan atau sequensial. Pengaturan dilakukan pada tegangan sumber motor universal, yaitu dengan pengaturan starting dan stop secara berlahan (*Soft starting dan soft stop*). Tegangan masukkan motor motor universal dapat berupa AC maupun DC.
3. Motor universal tersebut dioperasikan secara berurutan atau sequensial.
4. Sistem kerja alat adalah kalang terbuka, dengan kecepatan nominal antara 6000 rpm sampai 20.000 rpm.
5. Alat memiliki 2 macam pilihan untuk sumber tegangan, yaitu sumber tegangan AC atau DC.

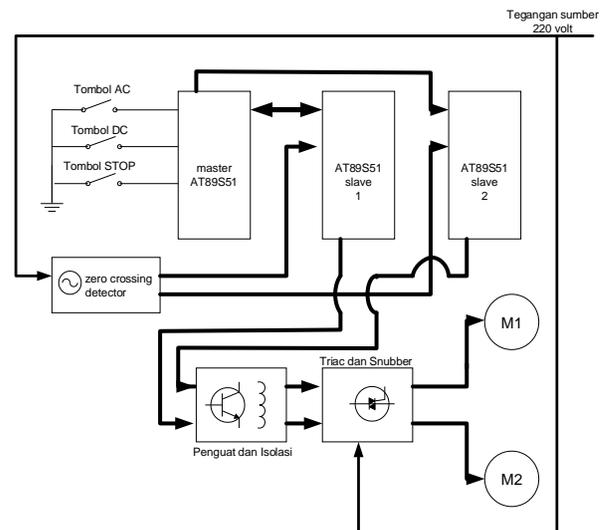
Alat akan bekerja dengan urutan kerja sebagai berikut :

1. Saklar utama diposisikan *on*, lampu led pada ketiga mikro akan menyala.
2. Tekan tombol **AC** maka alat tersebut akan bekerja atau beroperasi dengan tegangan AC, motor universal pertama **M1** akan berputar secara berlahan-lahan (*soft*) dengan 6 tingkatan pengasutan. Setelah mencapai kecepatan dan tegangan yang diinginkan (mendekati tegangan nominal), maka **M2** akan berputar dan tipe starting **M2** sama dengan tipe starting **M1**. Sehingga **M1** dan **M2** akan berputar secara bersamaan . Apabila tombol stop ditekan

maka **M1** dan **M2** akan berhenti dengan 5 tingkatan pengasutan.

3. Jika dipilih mode kerja **DC**, maka alat tersebut akan bekerja atau beroperasi dengan tegangan DC setengah gelombang, motor universal pertama **M1** akan berputar secara berlahan-lahan (*soft*) dengan 6 tingkatan pengasutan. Setelah mencapai tegangan nominal motor atau waktu pengasutan terakhir, maka **M2** akan berputar dan tipe pengasutan **M2** sama dengan tipe pengasutan **M1**. Sehingga **M1** dan **M2** akan berputar secara bersamaan . Apabila tombol stop ditekan maka **M1** dan **M2** akan berhenti dengan 5 tingkatan pengasutan.

Setelah membuat spesifikasi dan kerja alat yang dikehendaki dibuat diagram alur (*flowchart*) yang akan membantu dalam membuat perangkat keras dan perangkat lunak pada mikrokontroler AT89S51. Kemudian dibuat sebuah diagram kerja perangkat keras yang menggambarkan aliran kontrol dan aliran data pada alat yang dibuat, diagram kerja perangkat keras terdapat Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1. Diagram kerja perangkat keras

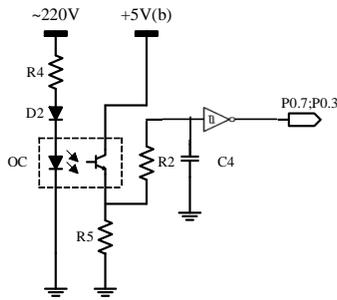
3.2 Perangkat Keras

Objek pengaturan alat ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :Spesifikasi motor universal :

Tegangan sumber: 200/220 Volt
Kecepatan putar : 6000 – 20.000 rpm

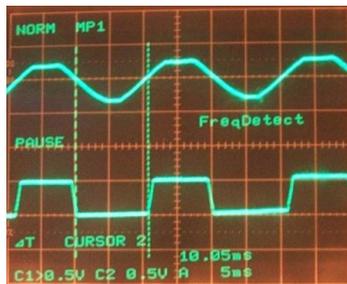
3.2.1 Zero Crossing Detector^{[5][14]}

Zero crossing detector ini digunakan untuk mendeteksi seberangan nol (*zero crossing*) pada gelombang sinus AC 220 Volt. Seberangan nol yang dideteksi adalah peralihan dari positif menuju negatif dan peralihan dari negatif menuju positif. Dengan demikian diperoleh frekuensi sebesar dua kali frekuensi dari gelombang sinus sumber.



Gambar 3.2. Skema rangkaian deteksi frekuensi jala-jala

Rangkaian *zero crossing detector* diperlihatkan pada Gambar 3.2. Pada Gambar 3.2 digunakan resistor (R4) yang mempunyai daya cukup besar yaitu sekitar 5 – 10 watt dengan nilai $33k\Omega$ karena resistor ini berhubungan langsung dengan tegangan 220 volt ac. Dari resistor kemudian diseri dengan dioda (D2) 1N4148 yang mempunyai tegangan balik 100volt dan arusnya 200mA, dari dioda kemudian masuk ke *optocoupler* (OC) 4N35 yang memiliki karakteristik V_s 5volt, $I_c = 2$ mA serta memiliki waktu on (t_{on}) dan off (t_{off}) cepat sesuai dengan Lampiran C. *Optocoupler* disini berfungsi sebagai isolasi. Keluaran dari *optocoupler* tidak bisa kotak murni, sehingga perlu ditambah IC *schmitt trigger* MC14584 (*S.Tr*) supaya didapatkan sinyal simetris (kotak murni) yang sesuai dengan Gambar 3.3 bagian bawah, sedangkan sinyal keluaran yang dihasilkan oleh IC *schmitt trigger* (*S.Tr*) berkebalikan dengan keluaran *optocoupler* atau sama dengan gerbang not sesuai dengan Gambar 3.3. Terdapat dua sinyal keluaran, pada bagian atas merupakan sinyal keluaran sinus, sedangkan pada bagian bawah merupakan sinyal keluaran dari rangkaian *zero crossing detector*.

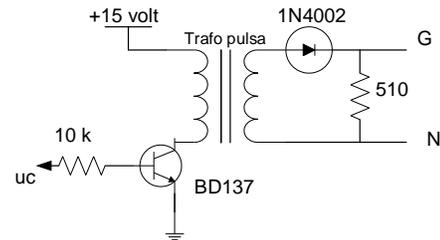


Gambar 3.3. Bagian atas adalah gelombang sinus dan bagian bawah bentuk gelombang kotak untuk *zcd*

3.2.2 Rangkaian Isolasi dan Penguat^{[5][14]}

Alat ini bekerja dengan menggunakan trafo isolasi. Dalam alat ini digunakan untuk mengisolasi

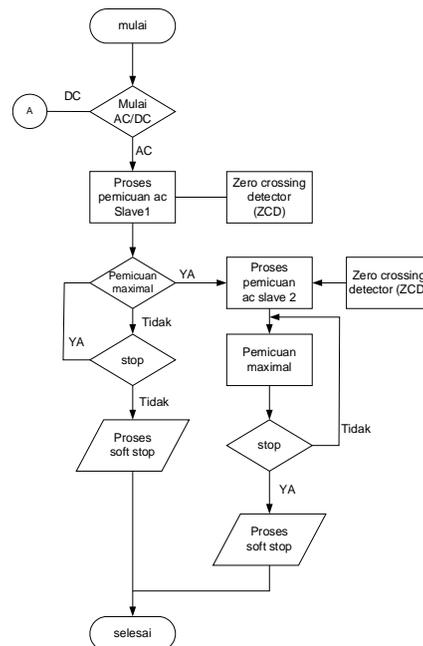
sekaligus mentransfer pulsa dari penguat pulsa ke *gate* triac. Gambar trafo isolasi terdapat pada Gambar 3.4. Karena digunakan dua buah motor universal maka setiap keluaran dari penguat pulsa harus memicu dua triac secara bersamaan atau bergantian, maka dibuat dua buah trafo isolasi. Trafo isolasi atau trafo pulsa ini ditujukan untuk mentransfer pulsa maka diperlukan suplai daya tambahan. Pada rangkaian penguat digunakan transistor type NPN dengan seri BD137 yang memiliki karakteristik $V_{CEO} = 60Vdc$ serta $I_c = 1,4$ Adc sesuai dengan Lampiran C, sedangkan untuk dioda yang digunakan adalah dioda 1N4002 yang memiliki karakteristik $V_{RMS} = 70V$ dan $V_{DC} = 100V$ sesuai dengan Lampiran C, dimana dioda 1N4002 berfungsi untuk menghindari adanya tegangan balik. Sebelum masuk ke-Gate pada triac, dioda diparalel dengan $R = 510\Omega$ yang berfungsi sebagai resistor pembatas supaya nilai R tidak sama dengan nol



Gambar 3.4. Rangkaian pada trafo isolasi

3.2.3 Program Proses AC

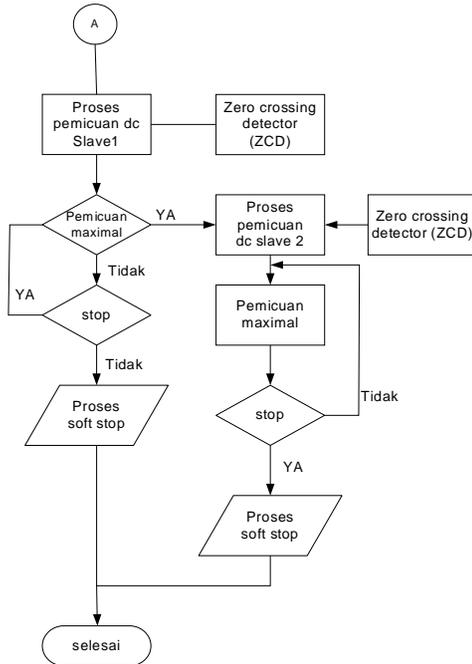
Pada proses pemecuan ac berlangsung tujuh tahap pemecuan untuk mencapai pemecuan maksimal. Dalam proses pemecuan perlu adanya inialisasi untuk menghasilkan sudut pemecuan yang dikehendaki.



Gambar 3.5 Diagram alur proses starting dan stop AC

3.2.4 Program Proses DC

Apabila proses ac selesai, maka proses dc dapat dilakukan dengan menekan tombol *start dc*. Sehingga dapat dibuat alur kerja atau *flowchart* seperti pada Gambar 3.6.



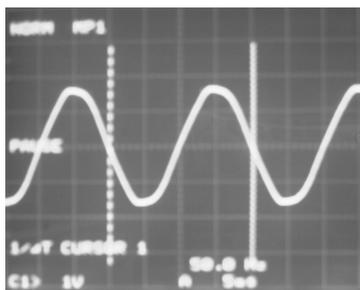
Gambar 3.6 Diagram alur proses starting dan stop dc

IV. Pengujian dan Analisa

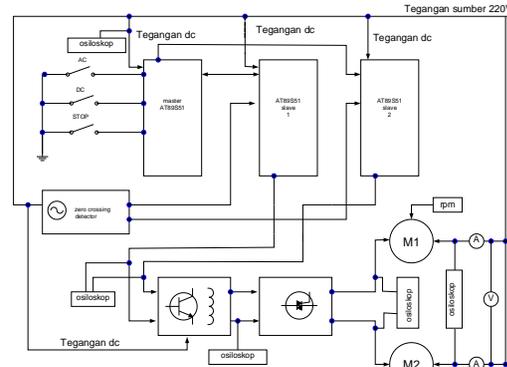
4.1 Pengujian Tegangan Masukan Penyearah

Input V_{ac} ini merupakan tegangan yang setelah disearahkan oleh rangkaian penyearah akan menjadi tegangan input bagi mikrokontroler dan rangkaian lainnya.

Dalam peralatan ini V_{ac} yang digunakan sebesar 15 Volt yang berasal dari trafo stepdown yang mempunyai arus maksimum keluaran 2A.



Gambar 4.1 Tegangan masukan penyearah

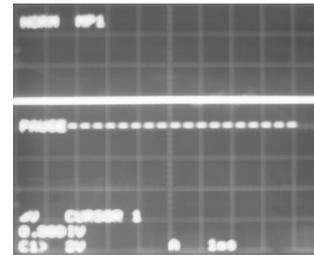


Gambar 4.2

Penempatan alat ukur dalam rangkaian pengaturan dan dua buah motor universal

4.2 Pengujian Keluaran Penyearah

Penyearah yang dipergunakan adalah penyearah gelombang penuh yang telah dilengkapi dengan filter kapasitor. Tegangan keluaran penyearah sebesar 5 Volt dan 15 Volt dan bentuk sinyal keluarannya ditunjukkan dalam Gambar 4.3.

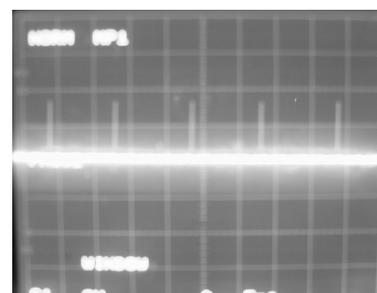


Gambar 4.3 Keluaran penyearah gelombang penuh tegangan 5 volt

4.3 Pengujian keluaran Mikrokontroler AT89S51

Salah satu fungsi mikrokontroler AT89S51 yang digunakan adalah untuk menghasilkan sinyal kontrol yang berupa sinyal pemucuan yang akan mengontrol triac. Pulsa yang dihasilkan oleh mikrokontroler sesuai dengan sudut pemucuan yang diinginkan baik pemucuan ac dan dc. Dengan adanya pengaturan pemucuan pada triac, sehingga arus awal pada motor universal dapat dibatasi.

Mikrokontroler menghasilkan dua buah sinyal kontrol yaitu sinyal untuk dc dan untuk sinyal ac. Untuk sinyal ac proses pemucuannya pada sisi positif dan negatif sedangkan pemucuan dc, pemucuannya pada sisi positif.

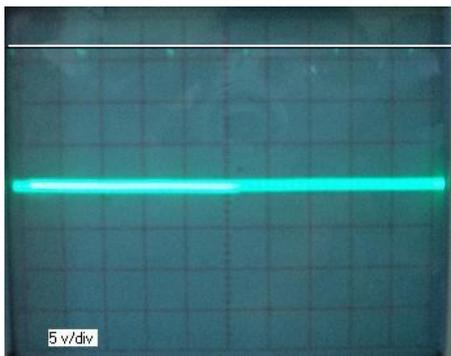


Gambar 4.4 Sinyal keluaran Mikrokontroler

4.4 Pengujian Keluaran Penguat dan Isolasi

Besar tegangan puncak sinyal keluaran Mikrokontroller adalah 5 Volt dan besarnya arus berkisar sekitar 10 mA. Sedangkan Triac akan berfungsi sebagai saklar bila tegangan dan arus pemicu dioperasikan pada daerah saturasi (untuk tipe Triac BT 138) adalah 10 – 12 Volt dan arus transien berkisar 0,1 A). Untuk keperluan tersebut sinyal harus ditingkatkan untuk memenuhi kriteria pemicu Triac yang digunakan, sehingga perlu adanya penguat sinyal.

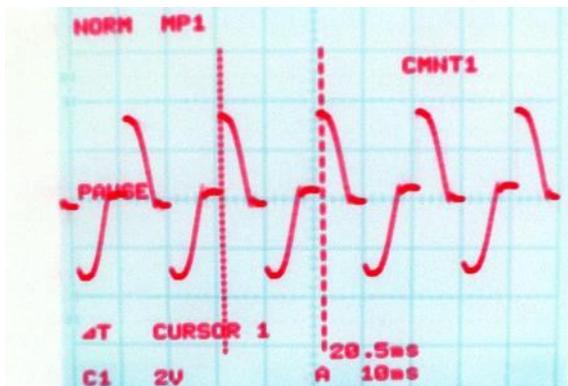
Disamping itu, sinyal kontrol harus terpisah dengan saluran daya. Dari blok isolator dan penggerak Triac yang telah dirancang ditujukan untuk memenuhi kriteria tersebut.



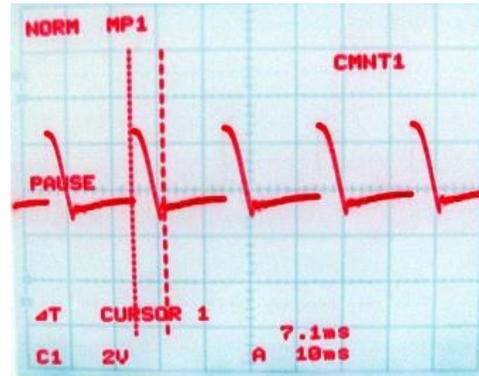
Gambar 4.5 Sinyal keluaran isolator dan penggerak Triac

4.5 Pengujian Keluaran Triac dengan Beban Motor Universal

Pada proses pemicuan triac dengan pembebanan lampu dan motor universal baik dengan pemicuan ac dan dc didapatkan keluaran sinyal yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.



(a)



(b)

Gambar 4.6 Keluaran Triac pada beban resistif dan motor universal

(a). sinyal ac beban resistif

(b). sinyal ac untuk beban motor universal

Terjadi sedikit perbedaan antara hasil yang didapat antara beban resistif dengan beban motor universal, perbedaan ini sangat terlihat jelas pada sinyal keluaran untuk sinyal keluaran penyearah setengah gelombang terkontrol. Pada keluaran dc untuk beban resistif, didapatkan sinyal keluaran setengah gelombang terkontrol. Sedangkan untuk beban motor universal juga didapatkan sinyal keluaran penyearah setengah gelombang terkontrol, tetapi terdapat sinyal negatif (Gambar 4.6b). Penyebab dari kejadian ini adalah beban induktor pada motor universal yang digunakan pada keluaran penyearah setengah gelombang terkontrol. Beban induktor adalah sebagai beban yang dapat menyimpan energi sedangkan pada beban resistif tidak dapat menyimpan energi, beban resistif hanya bisa mengubah energi listrik menjadi energi panas dan tidak dapat melakukan hal sebaliknya, berbeda dengan beban induktor pada motor ini akan menyimpan energi dalam medan magnet.

4.6 Analisa Data Pengujian Motor Universal dalam

Sistem Kalang Terbuka

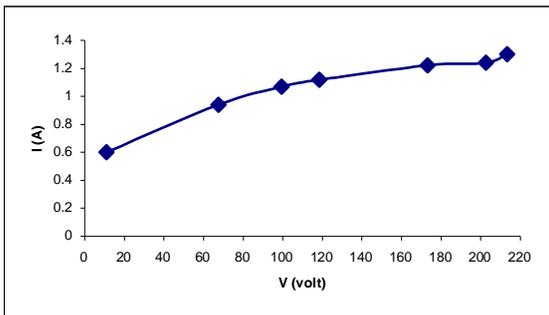
Pada pengujian dan pengukuran dalam sistem kalang terbuka ini akan dilihat tanggapan dari perubahan tegangan, arus dan kecepatan motor universal dari starting sampai menuju tegangan nominal yang diinginkan serta proses motor sampai berhenti sesuai dengan pengaturan yang diinginkan. Hasil pengambilan data terdapat pada Tabel 4.1.

Pengambilan data pengukuran tidak akurat dikarenakan pada saat pengambilan data tegangan, arus dan kecepatan yang diambil terus berubah ubah maka sulit menentukan tegangan dan arus yang sebenarnya.

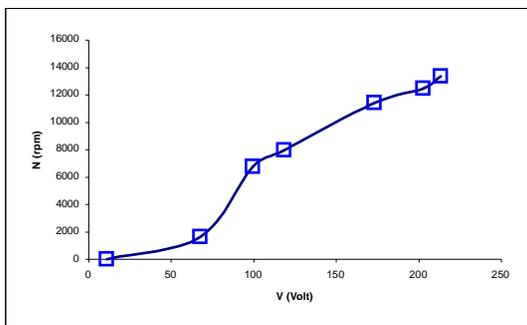
Tabel 4.1 Hasil pengambilan data AC

Tegangan (Volt)	Arus (A)	Kecepatan (rpm)
10,9	0,6	0
67,5	0,94	1627
99,4	1,07	6738
118,4	1,12	7951
173,2	1,22	11413
202,6	1,24	12456
213,4	1,30	13341
213,4	1,31	13341
202,4	1,22	12455
173,0	1,20	11410
118,4	1,10	7948
99,2	1,04	6730
67,5	0,92	1620
10,5	0,58	0

Dengan menggunakan data diatas dapat dibuat grafik hubungan tegangan dengan arus sebagai berikut :



Grafik 4.1. Hubungan tegangan dan arus



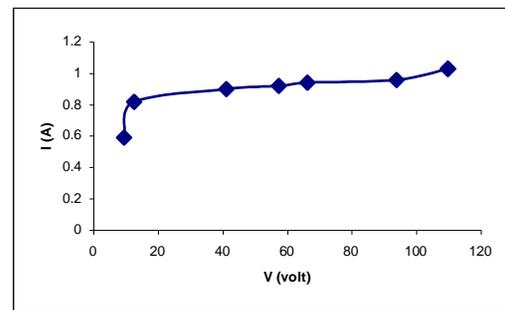
Grafik 4.2. Hubungan tegangan dan kecepatan

Dengan pengukuran menggunakan LCR meter pada motor universal yang dijadikan beban pada pengontrol satu fasa didapatkan data resistif motor 125 Ω, induktif motor 0,30 H. Untuk tegangan masukan dc setengah gelombang didapatkan data seperti Tabel 4.2.

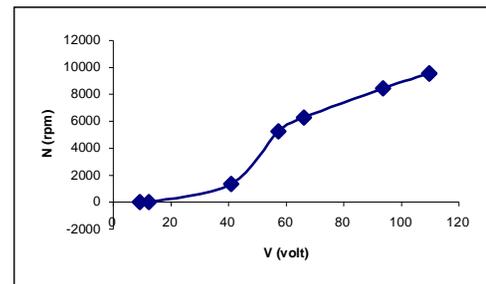
Tabel 4.2 Hasil pengambilan data DC

Tegangan (Volt)	Arus (A)	Kecepatan (rpm)
9,3	0,59	0
12,4	0,82	0
41,0	0,90	1334
57,3	0,92	5262
66,2	0,94	6276
93,7	0,96	8450
109,6	1,03	9564
109,6	1,03	9564
93,5	0,95	8445
65,9	0,92	6275
56,8	0,90	5259
40,0	0,88	1330
12,2	0,81	0
9,0	0,55	0

Dengan menggunakan data diatas dapat dibuat grafik hubungan tegangan dengan arus sebagai berikut :



Grafik 4.3. Hubungan tegangan dan arus



Grafik 4.4. Hubungan tegangan dan kecepatan

Dengan menggunakan beban motor universal yang diberi masukan tegangan ac dan tegangan dc setengah gelombang maka dapat dilihat perubahan kecepatan motor universal, bila diberi masukan tegangan ac maupun tegangan dc setengah gelombang. Apabila dikasih tegangan masukan dc setengah gelombang maka kecepatan akan lebih besar, hal ini disebabkan oleh pengaruh kecilnya X_L . Dari data diatas didapatkan arus starting yang cukup kecil sehingga arus starting yang tinggi dapat dikurangi.

V. Kesimpulan

5.1. Kesimpulan

Dari pembuatan alat dan laporan tugas akhir dengan judul Sequential Soft Start Dan Soft Stop Untuk Kendali Motor Universal Menggunakan Mikrokontroler AT89S51 dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perangkat keras dan perangkat lunak untuk kendali soft start dan soft stop motor universal yang telah dibuat mampu mengatur sudut pemucuan sehingga motor universal dapat bekerja dengan sudut pemucuan yang diinginkan.
2. Pada saat soft start arus awal motor universal 0,6 A, sedangkan tanpa soft start mempunyai arus awal 1,2 A.
3. Pada proses pemucuan AC didapatkan tegangan maksimal 214 volt dengan sudut pemucuan 27° . Sedangkan pemucuan DC didapatkan tegangan maksimal 109,6 volt dengan sudut pemucuan 33° .
4. Motor universal dapat berputar dengan masukan DC pada tegangan minimal 41 volt sedangkan dengan masukan AC 67,5 volt.

5.2. Saran

1. Untuk *hardware* yang sama dapat ditambahkan sensor kecepatan yang dapat menampilkan pada kecepatan yang tinggi dengan memilih sensor kecepatan yang dapat mendeteksi kecepatan tinggi.
2. Alat dapat dibuat dengan sistem pengaturannya kalang tertutup dengan acuan pada kecepatan, sehingga motor universal dapat bekerja secara sequensial sesuai dengan acuan kecepatannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] _____, *Thyristor and Triac*, Philips Semiconductors, 1999.
- [2] _____, *Ilmu Listrik*, PEDC Bandung, 1983.
- [3] <http://www.National.com>.
- [4] <http://www.atmel.com>.
- [5] M. Rashid, *Power Electronics Circuit, Device, and Application 2nd*, Prentice-Hall International Inc, 1988.
- [6] Drs. Parsumo R, *Elektronika Daya*, Politeknik Negeri Semarang, 1997.
- [7] Mohan.Ned ,Tore M.Undeland ,William P Robbins, *Power Electronics : Converter, Applications, and Design*, John Wiley and Sons Inc, Canada, 1995.

- [8] Jacob M. Ph.D, C.C. Halkias, Ph.D, *Elektronika Terpadu*, Penerbit Erlangga, 1990.
- [9] Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*, Gramedia, 1995.
- [10] B.L. Theraja, *Electrical Technology*, Nirja Construction & Dev. Co. Ltd, 1980.
- [11] Agfianto Eko Putra, *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55 (teori dan aplikasi)*, Penerbit Gava Media, 2002.
- [12] Paulus Andi Nalwan, *Panduan praktis Teknik Antarmuka dan Pemrograman Mikrokontroler AT89C51*, Elek Media Komputindo, Jakarta, 2003.
- [13] Katsuhiko Ogata, *Teknik Kontrol Otomatik*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993.
- [14] Theodore Wildi, *Electrical Machines, Drives and Power Systems 3rd*, Prentice Hall Inc, New Jersey, 1997.
- [15] Moh.Ibnu Malik, Anistardi, *Bereksperimen dengan Mikrokontroler 8031*, Elek Media Komputindo, Jakarta, 1997.
- [16] P C Sen, *Power Electronics*, Tata McGraw-Hill, 1987.
- [17] Richard AH, *Op Amps and Linier Integrated Circuit*, Delmar Publishers Inc, 1988.
- [18] Ir. Muslimin Marapung, *Teori Soal Penyelesaian Teknik Tenaga Listrik (TTL)*, Armico, Bandung, 1979



Yunanda Raharjanto, Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Diponegoro angkatan 2000 yang sedang menyelesaikan pendidikan S1.

Menyetujui :
Pembimbing II

Mochammad Facta, ST. MT
NIP. 132 231 134