

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGHEMAT ENERGI PADA MOTOR KAPASITOR

SKRIPSI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

SUBHAN FAJRI

NIM. 0510630098-63

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2009

LEMBAR PERSETUJUAN

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT
PENGHEMAT ENERGI PADA MOTOR KAPASITOR**

SKRIPSI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

SUBHAN FAJRI

NIM. 0510630098-63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.

NIP. 19680122 199512 2 001

Ir. Hari Santoso, M.S.

NIP. 19531205 198503 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGHEMAT
ENERGI PADA MOTOR KAPASITOR**

SKRIPSI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

SUBHAN FAJRI

NIM. 0510630098-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 30 Desember 2009

DOSEN PENGUJI

Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19730520 200801 1 013

Ir. Mahfudz Shidiq, M.T.

NIP. 19580609 198703 1 003

Ir. Soemarwanto

NIP. 19500715 198003 1 002

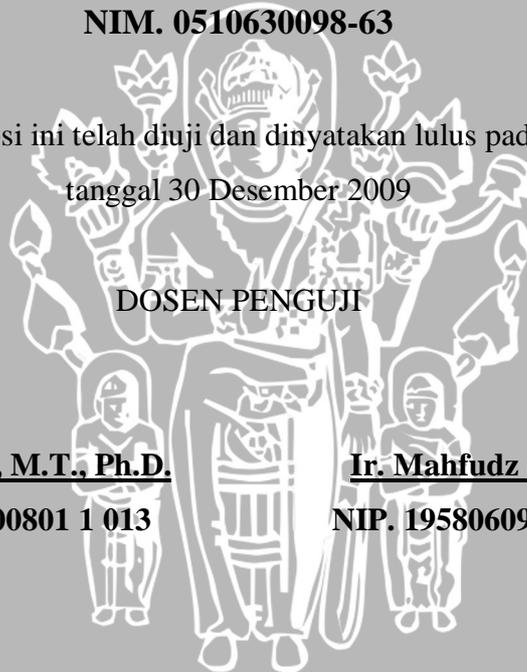
Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Rudy Yuwono, ST., MSc

NIP. 19710615 199802 1 003

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



ABSTRAK

Subhan Fajri, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2009, *Perancangan dan Pembuatan Alat Penghemat Energi pada Motor Kapasitor*, Dosen Pembimbing: Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc., dan Ir. Hari Santoso, M.S.

Motor induksi merupakan jenis motor yang paling banyak digunakan baik dalam peralatan-peralatan industri maupun rumah tangga. Dalam penerapannya sangat sering terjadi bahwa motor tidak bekerja dengan beban penuh, melainkan dalam keadaan berbeban ringan. Dalam keadaan ini motor induksi akan mempunyai efisiensi yang rendah dibandingkan dengan saat berbeban penuh. Apabila motor dicatu langsung dari jala-jala, maka daya masukan yang diberikan akan terlalu besar kalau hanya digunakan untuk menanggung beban yang ringan. Motor sebenarnya masih dapat bekerja meskipun daya masukan dikurangi, sehingga energi yang digunakan juga akan lebih sedikit, yang berarti penghematan energi.

Dalam skripsi ini dibahas penghematan energi dalam motor kapasitor dengan cara mengurangi tegangan masukan ke motor ketika motor berbeban ringan. Pengurangan tegangan dilakukan dengan menggunakan triac, sedangkan penyesuaiannya dengan keadaan beban dilakukan dengan mengatur sudut penyalaan triac menggunakan mikrokontroler. Dengan cara ini sudut penyalaan triac dapat diatur secara otomatis, sehingga pada motor dapat diberikan tegangan sebatas yang diperlukan sesuai dengan keadaan beban, dan penghematan energi dapat dilakukan.

Kata kunci: penghematan energi, motor kapasitor, mikrokontroler, triac

PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karuniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perancangan dan Pembuatan Alat Penghemat Energi pada Motor Kapasitor”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, banyak bantuan, bimbingan, dan dorongan yang diterima oleh penulis. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- Allah SWT yang selalu mendampingi hambanya dalam keadaan apapun,
- Orang tua dan saudara yang selalu mendukung lahir dan batin,
- Bapak Rudy Yuwono, S.T., M.Sc. sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. sebagai Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. sebagai Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Energi Elektrik Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Ibu Dr. Rini Nur Hasanah S.T., M.Sc. sebagai Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran serta motivasi yang telah diberikan,
- Bapak Ir. Hari Santoso, M.S. sebagai Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, pengarahan, saran, kritik, dan masukan yang telah diberikan,
- Staff Recording Jurusan Teknik Elektro,
- Teman-teman yang tidak bisa penulis sebutkan semua disini.
- Dika Dana Hiswara yang selalu memberiku semangat sehingga skripsi ini bisa saya kerjakan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Penulis berharap, semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Malang, 30 Desember 2009

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Motor Kapasitor	4
2.2 Pengatur Tegangan AC Satu Fasa.....	5
2.3 TRIAC	6
2.4 Mikrokontroler ATmega8	7
2.5 Opto triac	10
2.6 Sensor arus.....	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	12
3.1 Studi literatur.....	12
3.2 Penentuan spesifikasi alat	12
3.3 Perancangan alat.....	12
3.4 Pengujian Alat dan Analisis.....	13
3.5 Penarikan Kesimpulan.....	13

BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT.....	14
4.1 Perancangan blok diagram.....	14
4.2 Perancangan komponen penyusun sistem	15
4.2.1 Triac.....	15
4.2.2 Optotriac	16
4.2.3 Sensor arus.....	17
4.2.4 Zerocrossing detector	17
4.2.5 Mikrokontroler ATMEGA8.....	19
4.3 Pembuatan perangkat lunak (software)	22
4.3.1 Perangkat lunak <i>Zero Crossing Detector</i>	23
4.3.2 Perangkat lunak pengaturan sudut penyalan triac	24
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS	27
5.1 Pengujian rangkaian trigger triac.....	27
5.2 Pengujian rangkaian zerocrossing detector.....	29
5.3 Pengujian sensor arus.....	33
5.4 Pengujian rangkaian catu mikrokontroler	35
5.5 Pengambilan data dari motor kapasitor.....	36
5.6 Pengujian kinerja keseluruhan penghemat energi motor kapasitor.....	49
5.7 Kesimpulan Pengujian	66
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
6.1 Kesimpulan.....	69
6.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Diagram blok dasar sistem	4
Gambar 2.2.	Motor Kapasitor	4
Gambar 2.3.	Rangkaian Motor Kapasitor.....	5
Gambar 2.4.	Bentuk dasar pengendali tegangan AC	5
Gambar 2.5.	Simbol TRIAC dan Ekuivalensi	6
Gambar 2.6.	Kurva karakteristik triac	7
Gambar 2.7.	Konfigurasi pin ATmega8	8
Gambar 2.8.	MOC 3010	10
Gambar 2.9.	Sensor arus ACS712.....	11
Gambar 4.1.	Blok diagram.....	14
Gambar 4.2.	Bentuk dasar pengendali tegangan AC	15
Gambar 4.3.	Pemasangan komponen pada rangkaian.....	16
Gambar 4.4.	Pemasangan komponen pada rangkaian.....	16
Gambar 4.5.	Sensor arus ACS712.....	17
Gambar 4.6.	Gambar <i>schematic zero cross detector</i>	18
Gambar 4.7.	Rangkaian Zero Crossing Detector	19
Gambar 4.8.	Konfigurasi pin pada Mikrokontroler ATMega8.....	19
Gambar 4.9.	Rangkaian Mikrokontroler ATMega8.....	20
Gambar 4.10.	Rangkaian catu Mikrokontroler ATMega8	22
Gambar 4.11.	Flowchart pada ExtInt	23
Gambar 4.12.	Flowchart program utama.....	24
Gambar 4.13.	Flowchart pengaturan sudut penyalan triac	25
Gambar 5.1.	Rangkaian pengujian pentriggeran triac	28
Gambar 5.2.	Rangkaian pengujian zerocrossing detector	30
Gambar 5.3.	Proses pembuatan program dengan bahasa C.....	31
Gambar 5.4.	Sinyal masukan jala-jala.....	32
Gambar 5.5.	Sinyal keluaran pada pin mikrokontroler	32
Gambar 5.6.	Sinyal masukan dan sinyal keluaran	32
Gambar 5.7.	Rangkaian pengujian sensor arus ACS712.....	33
Gambar 5.8.	Karakteristik sensor arus ACS712	35

Gambar 5.9. Rangkaian pengujian catu mikrokontroller	36
Gambar 5.10. Rangkaian pengambilan data motor kapasitor.....	37
Gambar 5.11. Grafik hubungan tegangan masukan terhadap Torsi beban	48
Gambar 5.12. Rangkaian pengujian alat penghemat energi pada motor kapasitor	49
Gambar 5.13. Alat tampak atas.....	50
Gambar 5.14. Sinyal keluaran dari mikrokontroller.....	50
Gambar 5.15. Sinyal keluaran dari triac (beban resistif) saat sudut penyalaan 90^0	51
Gambar 5.16. Keluaran jala-jala PLN (220V).....	51
Gambar 5.17. Grafik perbandingan antara daya nyata dan daya reaktif terhadap torsi sebelum menggunakan alat penghemat energi.....	52
Gambar 5.18. Grafik efisiensi motor terhadap torsi sebelum menggunakan alat penghemat energi	54
Gambar 5.19. Rangkaian ekivalen motor induksi.....	54
Gambar 5.20. Rangkaian pengujian blok rotor motor induksi	55
Gambar 5.21. Rangkaian pengujian tanpa rotor motor induksi.....	55
Gambar 5.22. Grafik perbandingan daya aktif dan daya reaktif terhadap torsi sesudah menggunakan alat penghemat energi.....	58
Gambar 5.23. Perbandingan daya masukan motor sesudah dan sebelum menggunakan alat penghemat energi.....	59
Gambar 5.24. Perbandingan daya reaktif motor sesudah dan sebelum menggunakan alat penghemat energi.....	59
Gambar 5.25. Grafik efisiensi terhadap torsi setelah menggunakan alat penghemat energi	61
Gambar 5.26. Grafik daya keluaran motor sebelum dan sesudah menggunakan alat penghemat energi.....	61
Gambar 5.27. Grafik perbandingan efisiensi sebelum dan sesudah menggunakan alat penghemat energi.....	63
Gambar 5.28. Sinyal keluaran dari triac saat dilakukan pengaturan sudut penyalaan	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Fungsi khusus port B.....	8
Tabel 2.2.	Fungsi khusus port C.....	9
Tabel 2.3.	Fungsi khusus port D.....	9
Tabel 5.1	Hasil pengujian sensor arus ACS712.....	34
Tabel 5.2	Tanpa beban.....	38
Tabel 5.3.	Beban 2 Nm.....	39
Tabel 5.4.	Beban 1,9 Nm.....	39
Tabel 5.5.	Beban 1,8 Nm.....	40
Tabel 5.6.	Beban 1,7 Nm.....	40
Tabel 5.7.	Beban 1,6 Nm.....	41
Tabel 5.8.	Beban 1,5 Nm.....	41
Tabel 5.9.	Beban 1,4 Nm.....	42
Tabel 5.10.	Beban 1,3 Nm.....	42
Tabel 5.11.	Beban 1,2 Nm.....	43
Tabel 5.12.	Beban 1,1 Nm.....	43
Tabel 5.13.	Beban 1 Nm.....	44
Tabel 5.14.	Beban 0,9 Nm.....	44
Tabel 5.15.	Beban 0,8 Nm.....	45
Tabel 5.16.	Beban 0,7 Nm.....	45
Tabel 5.17.	Beban 0,6 Nm.....	46
Tabel 5.18.	Beban 0,5 Nm.....	46
Tabel 5.19.	Beban 0,4 Nm.....	47
Tabel 5.20.	Besarnya tegangan yang akan diaplikasikan sesuai dengan besarnya torsi beban.....	48
Tabel 5.21.	Hasil pengujian sebelum menggunakan alat penghemat energi pada motor kapasitor.....	51
Tabel 5.22.	Daya keluaran dan efisiensi saat sebelum menggunakan alat penghemat energi.....	53
Tabel 5.23.	Hasil pengujian alat penghemat energi pada motor kapasitor.....	58
Tabel 5.24.	Daya keluaran motor dan efisiensi setelah dilakukan pengurangan tegangan.....	60



Tabel 5.25.	Besar pemakaian tenaga listrik pada motor kapasitor.....	64
Tabel 5.26.	Besar biaya listrik sebelum menggunakan alat penghemat energi.	64
Tabel 5.27.	Besar biaya listrik setelah menggunakan alat penghemat energi...	65
Tabel 5.28.	Perbandingan biaya listrik sebelum dan sesudah menggunakan alat penghemat energi.....	65



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemakaian energi listrik terbesar pada saat ini adalah untuk melayani motor-motor listrik dalam bidang industri, transportasi, maupun rumah tangga. Motor listrik yang banyak digunakan adalah motor induksi tiga fasa. Akan tetapi pemakaian motor induksi tiga fasa hanya efektif bila ada sumber daya tiga fasa dan membutuhkan daya keluaran yang besar. Untuk pemakaian motor induksi yang membutuhkan daya keluaran yang kecil bisa menggunakan motor induksi satu fasa.

Motor induksi satu fasa saat ini sudah banyak digunakan terutama di rumah tangga. Namun dalam pengaplikasiannya motor ini tidak selalu bekerja pada beban penuh, misalkan bebannya yang selalu berubah dan cenderung kurang dari beban nominalnya. Hal ini akan memperburuk kinerja dari motor induksi itu sendiri, salah satunya adalah turunnya faktor daya dan efisiensi motor induksi tersebut, disamping itu daya masukannya juga besar. Oleh karena itu, untuk mengatasi hal tersebut motor induksi tidak perlu dicatu dengan tegangan nominalnya atau dengan penyesuaian tegangan masukan terhadap beban motor induksi tersebut.

Dengan latar belakang tersebut dan diiringi oleh kemajuan dibidang elektronika daya dan mikrokontroler maka motor induksi dapat diatur besar tegangan masukannya dengan pengaturan sudut penyalaan triac yang diatur melalui mikrokontroler, sehingga motor bisa mendapat tegangan sesuai dengan kebutuhan beban dan penghematan energi bisa dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam perancangan ini, rumusan masalah ditekankan pada :

- Bagaimana hubungan antara perubahan beban dengan kebutuhan tegangan masukan pada motor induksi.
- Bagaimana hubungan antara pengurangan tegangan masukan motor induksi saat bebannya berkurang dengan penghematan energi.
- Bagaimana merancang dan membuat alat yang dapat digunakan untuk mengurangi tegangan masukan pada motor kapasitor secara otomatis.

1.3 Ruang Lingkup

Mengacu pada permasalahan yang ada maka pada skripsi ini hanya mengacu pada:

- a. Perancangan dan pembuatan alat penghemat energi ini dikhususkan untuk motor kapasitor yang memiliki spesifikasi sebagai berikut :
 - Tegangan kerja : 220 V
 - Arus : 2,4 A
 - Daya : 0,3kW
 - $\cos \phi$: 0,94
 - Kecepatan nominal : 1425 rpm
 - Frekuensi : 50Hz
 - CA : 20 μF
 - CB : 12 μF
- b. Beban yang digunakan untuk pengujian adalah berupa beban mekanik (*breaker*) yang ada di laboratorium elektronika daya.
- c. Parameter keberhasilan alat adalah :
 - Mikrokontroler bisa mengatur sudut penyalan triac
 - Bisa mengatur tegangan masukan pada motor kapasitor.

1.4 Tujuan

Skripsi ini bertujuan untuk merancang dan membuat alat penghemat energi motor induksi dengan mengatur besarnya tegangan masukan motor dengan pengaturan sudut penyalan triac secara otomatis menggunakan mikrokontroler.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika pembahasan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan alat.

BAB III Metodologi

Berisi tentang metode penelitian dan perancangan alat serta pengujian.

BAB IV Perancangan dan Pembuatan Alat

Perancangan dan perealisasiian alat yang meliputi spesifikasi, perencanaan blok diagram, perhitungan, prinsip kerja dan realisasi alat.

BAB V Pengujian dan Analisis Data

Memuat hasil pengujian terhadap alat yang telah direalisasikan.

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Memuat kesimpulan dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut dari alat yang telah dibuat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam merancang dan merealisasikan alat penghemat energi pada motor kapasitor, maka dibutuhkan pemahaman tentang berbagai hal yang mendukung.

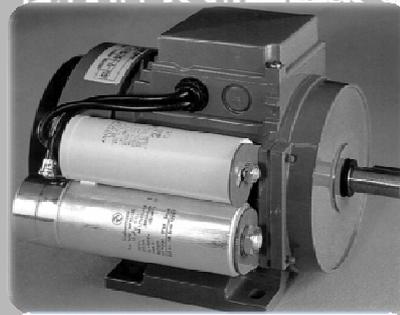
Pengetahuan yang mendukung perencanaan dan realisasi alat meliputi masukan dari sistem yang tersusun dari rangkaian *zerocrossing detector* dan rangkaian sensor arus, Bagian pengolah data yang tersusun dari mikrokontroler. Selain itu, keluaran dari mikrokontroler digunakan untuk mengatur sudut penyalaan dari triac yang nantinya digunakan untuk mengatur motor kapasitor.



Gambar 2.1. Diagram blok dasar sistem

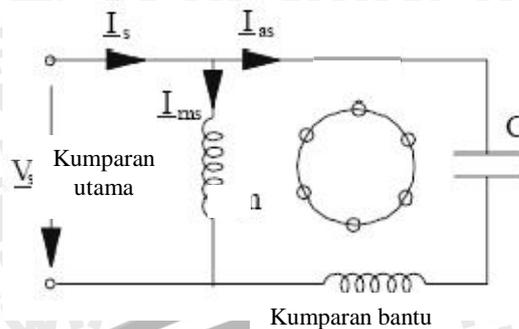
2.1 Motor Kapasitor

Motor kapasitor pada skripsi ini digunakan sebagai objek yang akan dihemat penggunaan energi listriknya. Motor kapasitor adalah salah satu jenis dari motor induksi satu fasa. Motor kapasitor ini umumnya digunakan pada kipas angin, kompresor pada lemari es, motor pompa air, dan sebagainya.



Gambar 2.2. Motor Kapasitor

Motor kapasitor adalah motor yang kumparan bantunya diseri dengan kapasitor dan pada waktu operasi kumparan bantunya terus terhubung dengan tegangan catunya (Ir. Hari Santoso, MS., 2001:54).



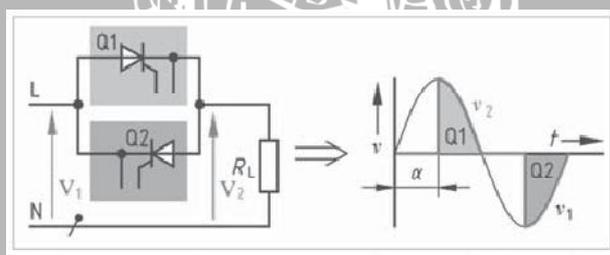
Gambar 2.3. Rangkaian Motor Kapasitor

Sumber : The Induction Machine Handbook, Ion Boldea and syed A. Nasar (2000)

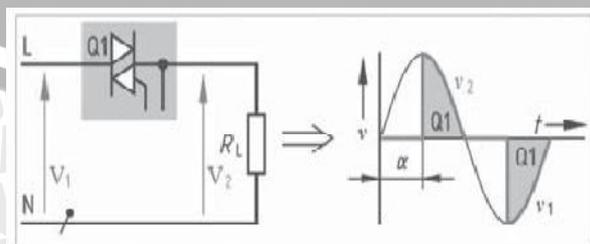
2.2 Pengatur Tegangan AC Satu Fasa

Teknik pengontrolan fasa memberikan kemudahan dalam sistem pengendalian AC. Hal inilah yang digunakan sebagai dasar dari skripsi ini untuk melakukan pengaturan tegangan masukan motor kapasitor agar bisa dilakukan penghematan energi. Pengendali tegangan saluran AC digunakan untuk mengubah-ubah harga rms tegangan AC yang dicatukan ke beban dengan menggunakan Thyristor sebagai sakelar.

Rangkaian pengendalian dapat dilakukan dengan menggunakan dua-Thyristor yang dirangkai antiparalel lihat Gambar (a) atau menggunakan Triac lihat Gambar (b).



a). Thyristor anti paralel



b). TRIAC

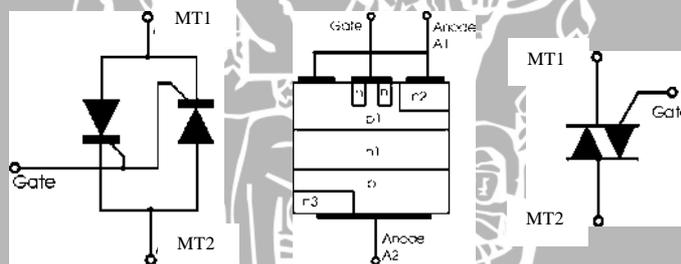
Gambar 2.4. Bentuk dasar pengendali tegangan AC

Sumber : Power Electronics Handbook, Muhammad H. Rashid (1999: 308)

Penggunaan dua *Thyristor* antiparalel memberikan pendalian tegangan AC secara simetris pada kedua setengah gelombang pertama dan setengah gelombang berikutnya. Penggunaan *Triac* merupakan cara yang paling simpel, efisien, dan handal. *Triac* merupakan komponen dua-arah sehingga untuk mengendalikan tegangan AC pada kedua setengah gelombang cukup dengan satu pulsa trigger. Hal inilah yang membuat rangkaian pengendalian jenis ini sangat populer di masyarakat. Keterbatasannya terletak pada kapasitasnya yang masih terbatas dibandingkan bila menggunakan *Thyristor*.

2.3 TRIAC

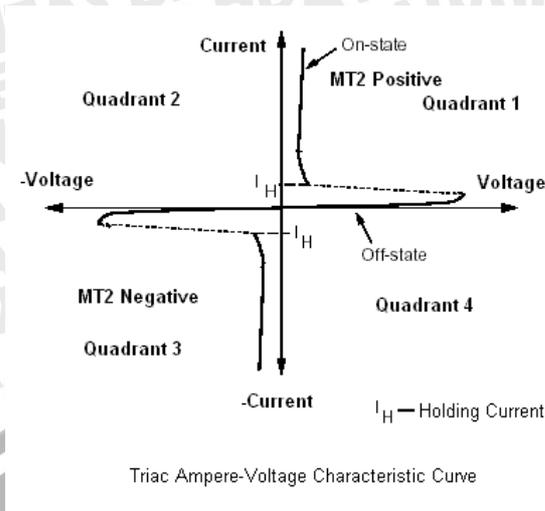
Triac adalah salah satu komponen elektronik yang digunakan sebagai sakelar dalam pengendalian tegangan. Triac dapat bersifat konduktif dalam dua arah dan biasa digunakan untuk pengendali fasa ac. Hal ini dapat dianggap sebagai dua buah SCR yang tersambung antipararel dengan koneksi gerbang seperti Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Simbol TRIAC dan Ekuivalensi

Sumber : Power Electronics Handbook, Muhammad H. Rashid

Karena TRIAC merupakan komponen bidirectional, terminalnya tidak dapat ditentukan sebagai anoda/katode. Jika terminal MT2 positif terhadap 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 negatif antara gerbang dan terminal MT1. Tidak perlu untuk memiliki kedua sinyal gerbang positif dan negatif dan TRIAC dapat dihidupkan baik oleh sinyalgerbang positif maupun negatif. Dalam prakteknya sensitivitas bervariasi antara satu kuadran dengan kuadran lain, dan TRIAC biasanya beroperasi dikuadran I atau kuadran III.



Gambar 2.6. Kurva karakteristik triac

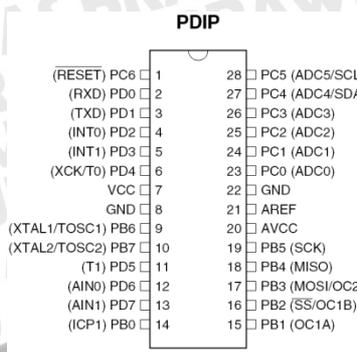
Sumber : Power Electronics Device, Kaushik Rajashekar, Sohail Anwar, Vrej Barkhordarian, Alex Q. Huang (2002)

2.4 Mikrokontroler ATmega8

Mikrokontroler ATmega8 digunakan sebagai pengontrol utama dari pengaturan tegangan masukan motor. Mikrokontroler ATmega8 diproduksi oleh ATMEL merupakan salah satu anggota keluarga dari jenis AVR. IC jenis ini berorientasi pada kontrol 8 bit yang dapat diprogram ulang dengan daya rendah. Mikrokontroler ini dalam satu siklus waktu mampu mengeksekusi instruksi hingga mencapai 16 MIPS pada frekuensi kerja 16 MHz. Mikrokontroler ATmega8 mempunyai karakteristik utama sebagai berikut:

- EEPROM sebesar 512 byte, dan 1Kbyte SRAM internal
- 23 saluran I/O dan 32 *general purpose register*.
- Dua timer/counter 8 bit dengan *prescaler* terpisah, satu mode pembandingan (*compare mode*)
- Internal dan eksternal *interrupt*.
- Tiga buah pin PWM
- Enam buah pin ADC dengan ketepatan sebesar 10 bit
- *Power on reset*

Konfigurasi pin mikrokontroler ATmega8 dapat dilihat dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Konfigurasi pin ATmega8

Sumber : ATmega8 datasheet. 2006

2.4.1 Struktur dan operasi port

Mikrokontroler ATmega8 ini mempunyai 3 buah port, dua buah port memiliki 8 buah jalur I/O dan sebuah port dengan 7 jalur I/O. Beberapa karakteristik port mikrokontroler ATmega8 dijelaskan secara singkat berikut ini:

- Unit IO dapat dialamati perjalur atau perport
- Setiap jalur I/O memiliki *buffer*, penahan (*latch*), kemudi masukan dan kemudi keluaran.
- Setiap jalur I/O terdapat register pengatur apakah dijadikan masukan atau dijadikan keluaran.
- Port B adalah I/O *bi-directional* 8 bit dengan resistor *pull-up* internal. Sebagai masukan, pin port B yang diberi *pull-low* secara eksternal akan mengalirkan arus bila resistor *pull-up* diaktifkan. Port B juga memiliki fungsi khusus, seperti yang terlihat dalam Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1. Fungsi khusus port B

Port Pin	Alternate Functions
PB7	XTAL2 (Chip Clock Oscillator pin 2) TOSC2 (Timer Oscillator pin 2)
PB6	XTAL1 (Chip Clock Oscillator pin 1 or External clock input) TOSC1 (Timer Oscillator pin 1)
PB5	SCK (SPI Bus Master clock Input)
PB4	MISO (SPI Bus Master Input/Slave Output)
PB3	MOSI (SPI Bus Master Output/Slave Input) OC2 (Timer/Counter2 Output Compare Match Output)
PB2	SS (SPI Bus Master Slave select) OC1B (Timer/Counter1 Output Compare Match B Output)
PB1	OC1A (Timer/Counter1 Output Compare Match A Output)
PB0	ICP1 (Timer/Counter1 Input Capture Pin)

Sumber : ATmega8 datasheet. 2006

- Port C adalah I/O *bi-directional* 7 bit dengan resistor *pull-up* internal. Sebagai masukan, pin port C yang diberi *pull-low* secara eksternal akan mengalirkan arus bila resistor *pull-up* diaktifkan. Port C juga memiliki fungsi khusus, seperti yang terlihat dalam Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2. Fungsi khusus port C

Port Pin	Alternate Function
PC6	RESET (Reset pin)
PC5	ADC5 (ADC Input Channel 5) SCL (Two-wire Serial Bus Clock Line)
PC4	ADC4 (ADC Input Channel 4) SDA (Two-wire Serial Bus Data Input/Output Line)
PC3	ADC3 (ADC Input Channel 3)
PC2	ADC2 (ADC Input Channel 2)
PC1	ADC1 (ADC Input Channel 1)
PC0	ADC0 (ADC Input Channel 0)

Sumber : ATmega8 datasheet. 2006

- Port D adalah I/O *bi-directional* 8 bit dengan resistor *pull-up* internal. Sebagai masukan, pin port D yang diberi *pull-low* secara eksternal akan mengalirkan arus bila resistor *pull-up* diaktifkan. Port D juga memiliki fungsi khusus, seperti yang terlihat dalam Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3. Fungsi khusus port D

Port Pin	Alternate Function
PD7	AIN1 (Analog Comparator Negative Input)
PD6	AIN0 (Analog Comparator Positive Input)
PD5	T1 (Timer/Counter 1 External Counter Input)
PD4	XCK (USART External Clock Input/Output) T0 (Timer/Counter 0 External Counter Input)
PD3	INT1 (External Interrupt 1 Input)
PD2	INT0 (External Interrupt 0 Input)
PD1	TXD (USART Output Pin)
PD0	RXD (USART Input Pin)

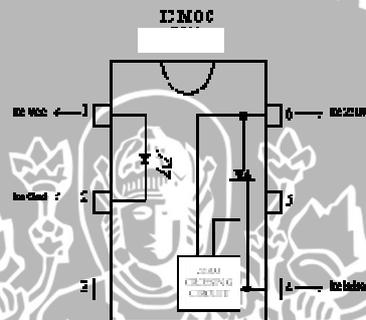
Sumber : datasheet ATmega8. 2006

2.4.2 Pengubah Analog ke Digital (ADC)

Mikrokontroler ATmega8 memiliki 6 saluran ADC dengan resolusi 10 bit dengan waktu konversi 13 – 260 μ s. Masukan ADC memiliki *range* 0 - V_{cc} dengan fasilitas *sample and hold* sehingga level tegangan masukan terjaga selama konversi. Selain itu, ADC pada mikrokontroler ini juga memiliki fasilitas *noise canceller* untuk mengurangi *noise* dari CPU dan *peripheral* lain pada mikrokontroler.

2.5 Opto triac

Opto triac pada skripsi ini digunakan sebagai pemisah antara rangkaian kontrol dengan rangkaian catu triac sehingga bisa disebut dengan pengamanan rangkaian. Prinsip kerja rangkaian ini adalah memanfaatkan masukan dengan arus yang kecil untuk menghidupkan LED di dalam kemasan IC tersebut yang akan menyulut triac yang berfungsi sebagai saklar elektronik yang dapat melewatkan arus bolak balik, keluaran optotriac inilah yang akan berhubungan langsung dengan sumber tegangan AC pada beban yang akan dikendalikan. Gambar rangkaian terpadu MOC3041 terlihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2.8. MOC 3010

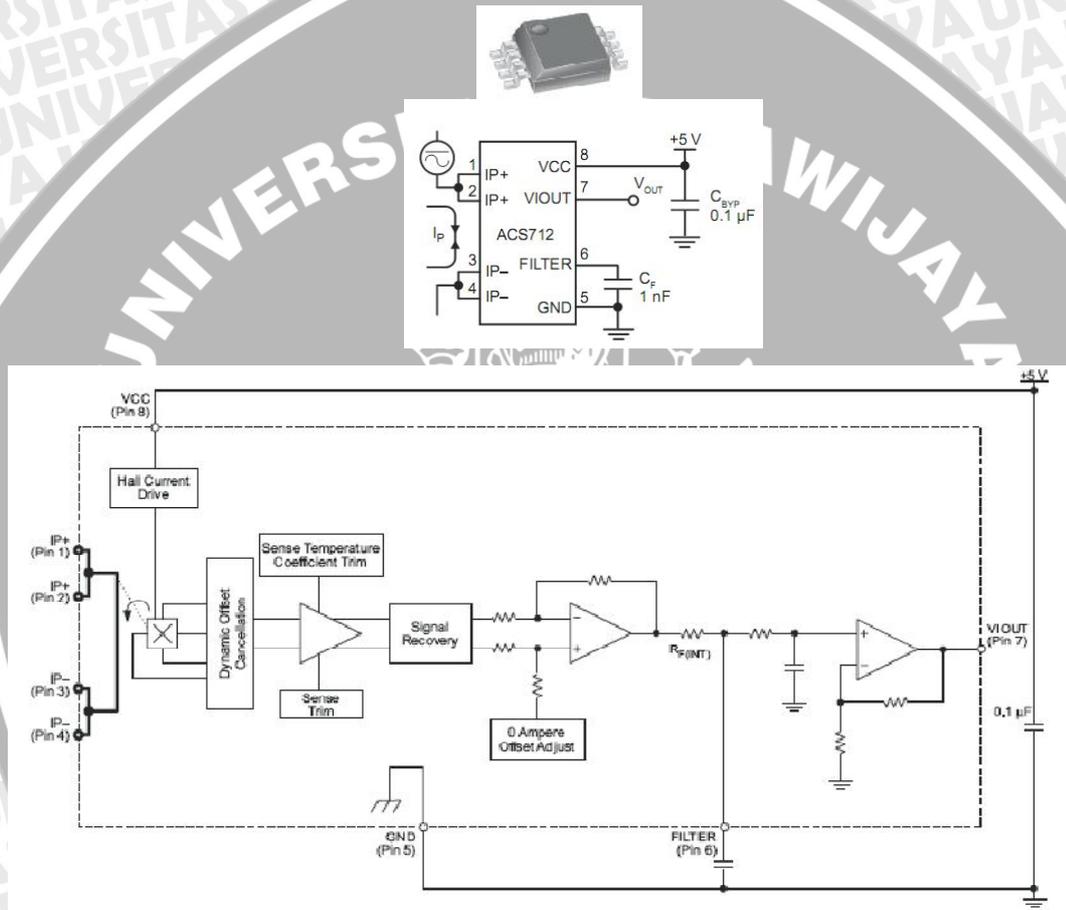
Sumber : <http://indomicon.co.cc>, 2009

Optotriac tipe MOC 3010 ini dilengkapi dengan rangkaian detektor pelintas nol (*Zero Crossing Detector*) yang mampu membuat optotriac ini mulai akan konduksi pada saat siklus tegangan masukannya pada nol. Hal ini akan mencegah terjadinya lonjakan arus yang besar secara tiba-tiba pada beban yang dikendalikan. Keuntungan dengan menggunakan IC ini adalah lebih terjaminnya keamanan rangkaian pengendali dari hubungan langsung terhadap tegangan jala-jala PLN. Hal ini dikarenakan terpisahnya aliran arus antara beban pengendali dengan penggunaan optotriac. Optotriac MOC3010 bekerja pada level tegangan ac antara 200-400 Vac dengan tegangan masukan pada LED 2,3 VDC sedangkan arus kerjanya 200 mA.

2.6 Sensor arus

Sensor arus (konverter arus ke tegangan) pada pengaturan motor ini berfungsi untuk mendapatkan nilai besaran arus yang mengalir secara akurat yang akan dibaca oleh mikrokontroler sehingga mikrokontroler bisa mengatur besarnya sudut penyalaan triac sesuai dengan besarnya arus yang dideteksi. Sensor yang digunakan adalah ACS712.

Berikut ini gambar dari sensor arus ACS712 dan rangkaian penggunaannya.



Gambar 2.9. Sensor arus ACS712.

Sumber: data sheet ACS712.

Sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan yaitu untuk mendeteksi arus yang mengalir maksimum adalah 2,4 A, sesuai dengan kapasitas motor maka sensor arus ACS712 ini cocok digunakan karena mempunyai sensitifitas yang tinggi (185 mV/A) dengan arus maksimum 5A.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dengan kemajuan dibidang elektronika daya dan mikrokontroler maka motor induksi dapat diatur besarnya tegangan masukannya sesuai dengan besarnya beban. Cara yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah dengan mengatur besarnya sudut penyalan TRIAC yang akan dikontrol menggunakan mikrokontroller.

Untuk merealisasikan alat ini, langkah – langkah yang diambil adalah sebagai berikut :

3.1 Studi literatur

Studi literatur mengacu pada spesifikasi yang dibuat untuk memahami komponen dan untuk memahami teknik – teknik yang diperlukan untuk merealisasikan alat. Studi literatur meliputi motor kapasitor, mikrokontroler ATmega8, TRIAC beserta komponen pendukungnya, metode pengendalian kecepatan motor pengaturan sudut penyalan TRIAC, dan sensor arus.

3.2 Penentuan spesifikasi alat

Alat yang dirancang memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- Memakai TRIAC sebagai pengatur tegangan masukan pada motor.
- Komponen pendukung TRIAC termasuk optotriac.
- Rangkaian zerocrossing detector sebagai pendeteksi gelombang sinusoida yang melewati nol sebagai referensi untuk sudut penyalan triac.
- Memakai sensor arus sebagai pendeteksi arus yang akan dibaca oleh mikrokontroller sebagai tegangan.
- Memakai mikrokontroler ATmega8 sebagai pengatur sudut penyalan triac yang bisa diprogram.

3.3 Perancangan alat

Perancangan alat terdiri dari dua tahap, yaitu pembuatan perangkat keras (*hardware*) dan pembuatan perangkat lunak (*software*). Pada tahap ini dirancang alat yang akan dibuat dengan disertai perhitungan-perhitungan nilai komponen yang akan digunakan.

3.4 Pengujian Alat dan Analisis

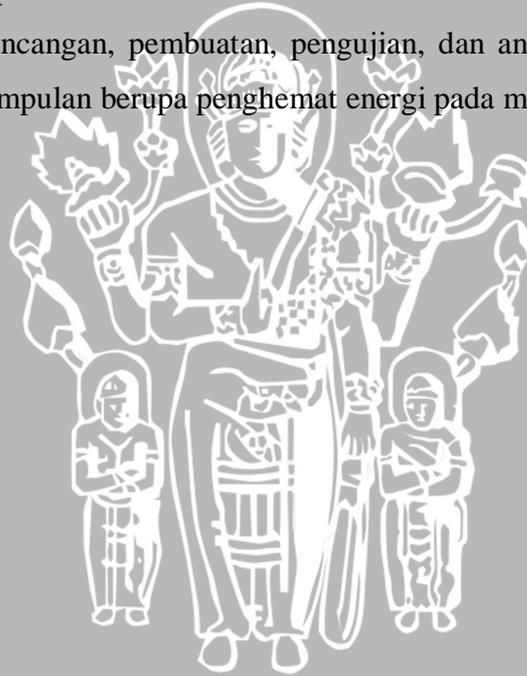
Pengujian yang dilakukan terdiri dari :

1. Pengujian rangkaian pentriggeran triac.
2. Pengujian rangkaian *zerocrossing detector*.
3. Pengujian sensor arus.
4. Pengujian rangkaian catu mikrokontroler
5. Pengambilan data dari motor kapasitor
6. Pengujian kinerja keseluruhan alat penghemat energi pada motor kapasitor.

Setiap hasil pengujian akan dianalisis untuk mengetahui hasil kinerja alat yang telah dirancang.

3.5 Penarikan Kesimpulan

Dari hasil perancangan, pembuatan, pengujian, dan analisis yang dilakukan akan didapatkan kesimpulan berupa penghemat energi pada motor kapasitor.



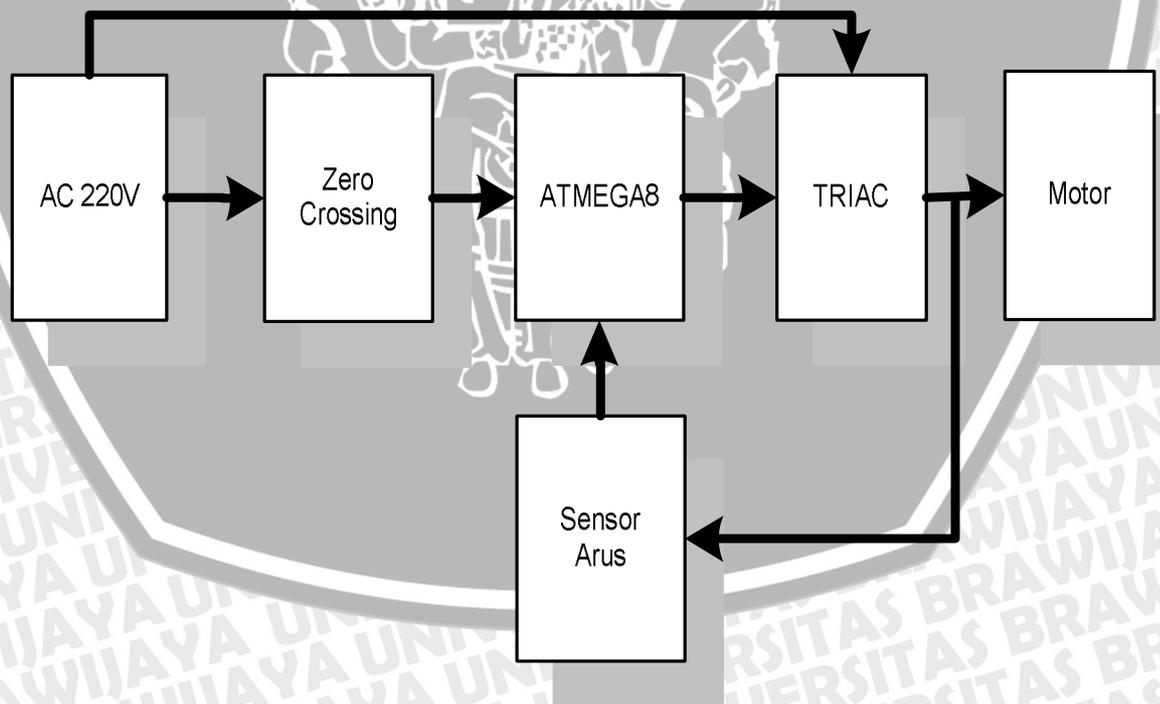
BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Bagian sistem dari alat penghemat energi pada motor kapasitor ini adalah menggunakan satu buah mikrokontroler sebagai pengatur utama dari sistem dan dilanjutkan ke Triac sebagai pengatur tegangan masukan pada motor kapasitor dengan pengaturan sudut penyalan. Perancangan sistem ini meliputi perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak pada mikrokontroler (*firmware*). Perancangan perangkat keras meliputi perancangan rangkaian pentriggeran gate triac, sensor arus, dan perancangan rangkaian zerocrossing. Sedangkan perangkat lunak (*firmware*) meliputi program untuk mikrokontroler menggunakan bahasa C.

4.1 Perancangan blok diagram

Perancangan dilakukan secara bertahap untuk memudahkan dalam menganalisa setiap bagian sistem maupun keseluruhan sistem. Blok diagram sistem penghemat energi pada motor kapasitor bisa dilihat dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Blok diagram

Sumber : Perancangan

Penjelasan cara kerja sistem ini adalah sebagai berikut:

1. Motor akan mendapat masukan tegangan dari jala-jala melalui Triac terlebih dahulu.
2. Pengaturan sudut penyalan dari Triac tersebut dilakukan oleh pengontrol utama yaitu mikrokontroler.
3. Mikrokontroler akan mendapat masukan dari *zerocrossing* yang berfungsi sebagai pendeteksi gelombang sinusoida saat melewati nol sehingga mikrokontroler bisa melakukan pengaturan sudut penyalan pada Triac.
4. Mikrokontroler juga akan mendapat masukan dari sensor arus sehingga pengaturan tegangan pada motor dapat dilakukan sesuai dengan perubahan arus akibat dari perubahan beban.

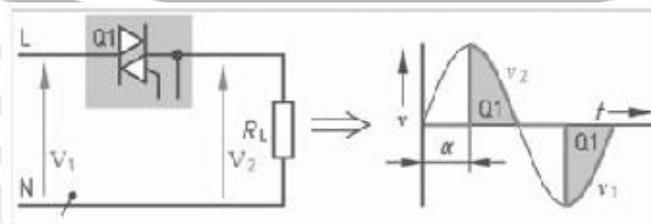
Pada sistem ini, penyesuaian tegangan masukan motor dilakukan secara otomatis. Saat beban berubah maka arus juga akan berubah dan akan terbaca oleh sensor arus sehingga mikrokontroler akan mengatur sudut penyalan Triac yang berarti tegangan akan berubah sesuai dengan perubahan beban.

4.2 Perancangan komponen penyusun sistem

Pada perancangan perangkat keras terdiri dari rangkaian inti dari alat penghemat energi pada motor kapasitor yang terdiri dari triac dan optotriac, sensor arus, rangkaian *zerocrossing*, mikrokontroler ATMEGA8, dan rangkaian catu daya mikrokontroler.

4.2.1 Triac

Triac pada alat ini berfungsi sebagai pengatur tegangan bolak-balik satu fasa. Triac digunakan sebagai saklar untuk mengubah-ubah harga rms tegangan AC yang dicatukan ke beban.

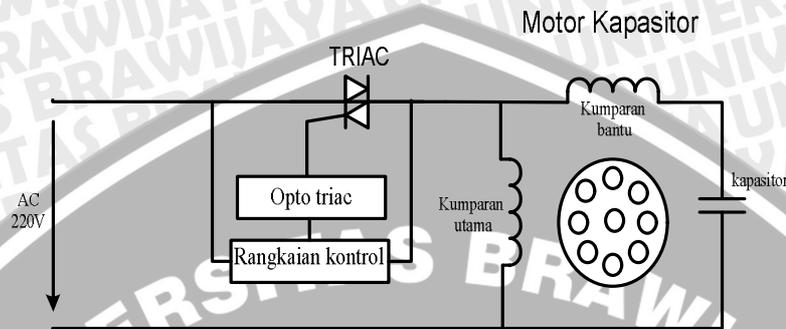


Gambar 4.2. Bentuk dasar pengendali tegangan AC

Sumber : Power Electronics Handbook, Muhammad H. Rashid (1999:308)

Triac merupakan komponen dua-arah sehingga untuk mengendalikan tegangan AC pada kedua setengah gelombang cukup dengan satu pulsa trigger, gelombang keluarannya dapat dilihat seperti gambar di atas.

Penempatan Triac pada rangkaian dapat ditunjukkan pada gambar berikut :

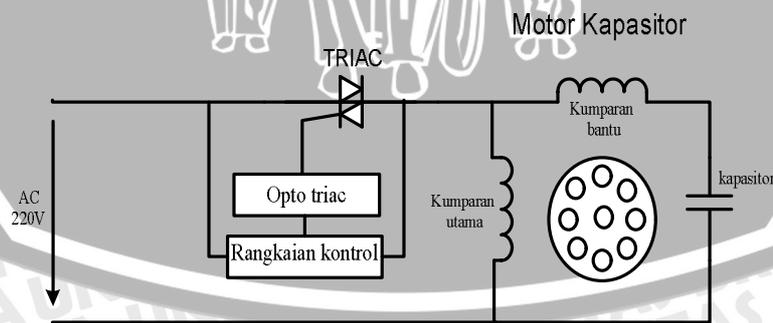


Gambar 4.3. Pemasangan komponen pada rangkaian

Sumber : Perancangan

4.2.2 Optotriac

Optotriac pada rangkaian ini berfungsi sebagai pemisah rangkaian kontrol antara mikrokontroler dengan rangkaian trigger gate triac, dengan kata lain optotriac ini berfungsi sebagai pengaman rangkaian saat pentriggeran akibat arus lebih. Penempatan optotriac pada rangkaian dapat ditunjukkan pada gambar berikut.

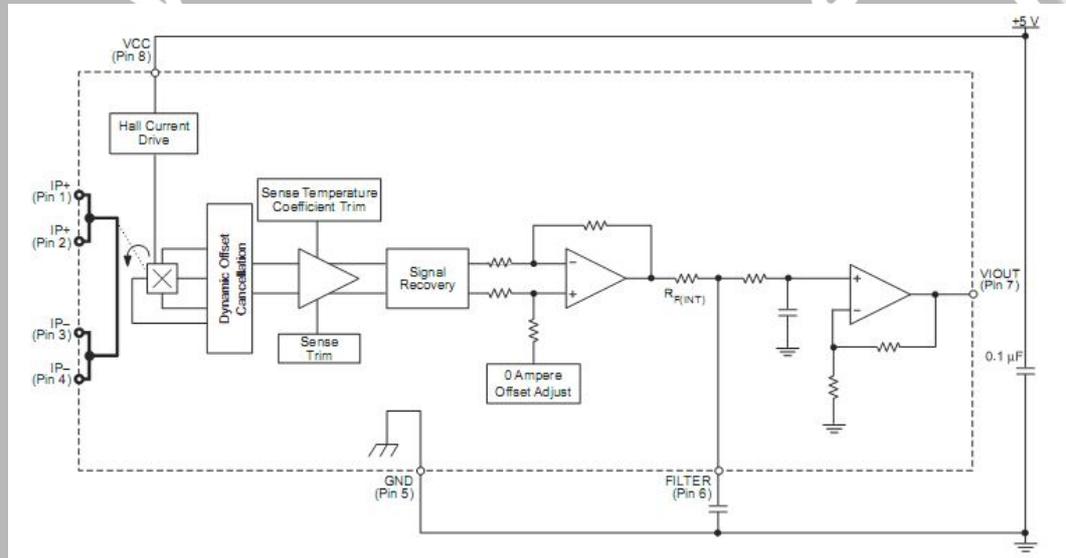
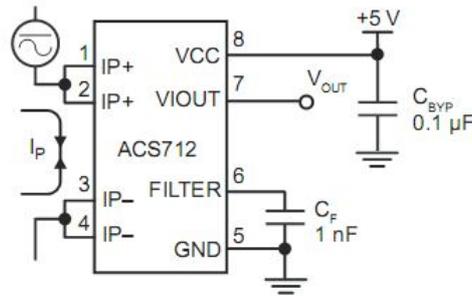


Gambar 4.4. Pemasangan komponen pada rangkaian

Sumber : Perancangan

4.2.3 Sensor arus

Sensor arus (konverter arus ke tegangan) pada alat ini berfungsi untuk mendapatkan nilai besaran arus yang mengalir secara akurat. Sensor yang digunakan adalah ACS712-5A. Berikut adalah gambar dari sensor arus ACS712 dan rangkaiannya.



Gambar 4.5. Sensor arus ACS712.

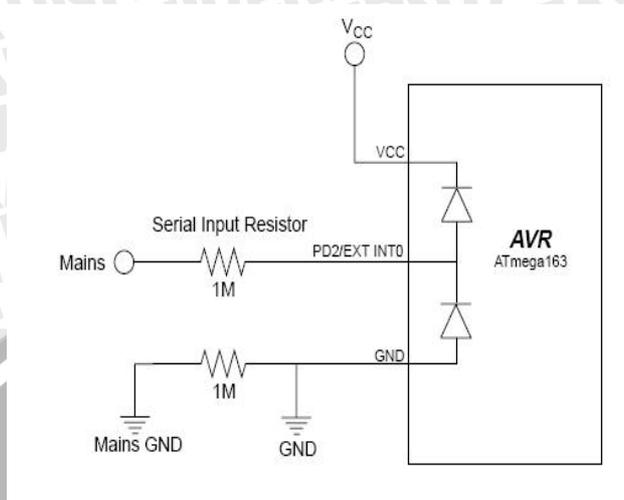
Sumber: Data sheet ACS712.

Sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan yaitu untuk mendeteksi arus yang mengalir maksimum adalah 2,4 A, sesuai dengan kapasitas motor maka sensor arus ACS712 ini sesuai digunakan karena mempunyai sensitifitas yang tinggi (185 mV/A) dengan arus maksimum 5A.

4.2.4 Zerocrossing detector

Zero Crossing Detector berfungsi untuk mengetahui kapan sinyal tegangan masukan pada mikrokontroler bernilai nol yang digunakan sebagai masukan mikrokontroler untuk mengatur sudut penyalan triac. Hardware pemroses sinyal

menggunakan dasar zero cross detektor pada mikrokontroler ATMEGA8. Rangkaian *zero crossing detector* ditunjukkan dalam Gambar berikut.

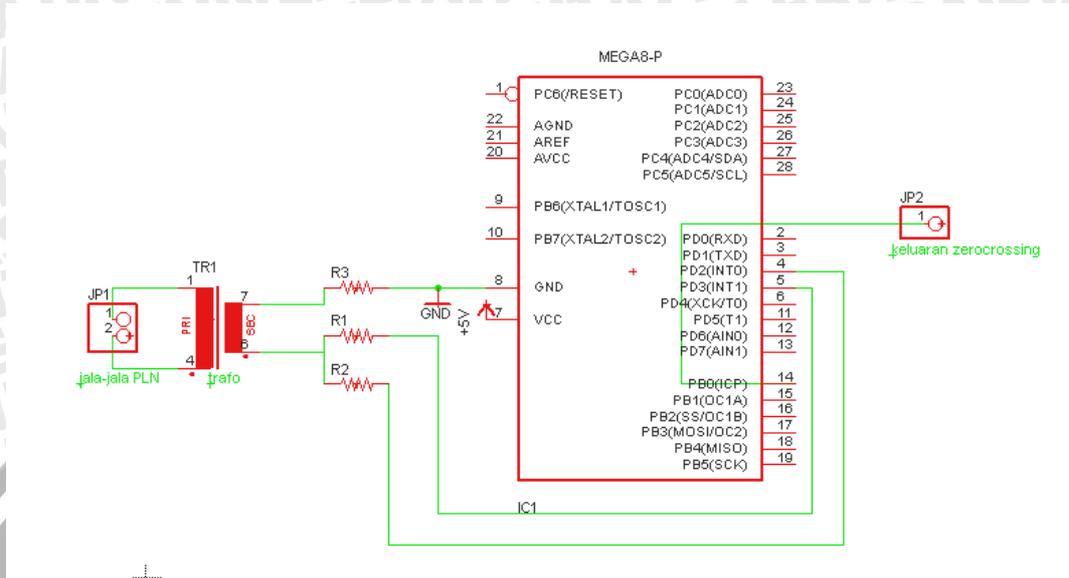


Gambar 4.6. Gambar *schematic zero cross detector*
Sumber: Application note AVR, *Zero crossing detector*

Gambar 4.6 menunjukkan rangkaian *Zero Crossing Detector* dimana pin-pin yang digunakan dalam perancangan adalah pin PB.0 digunakan sebagai pin output yang berupa sinyal *Zero Crossing Detector* dan PD.2. Pin PD.2 digunakan sebagai pin interupsi eksternal. Pin PD.0, PD.2 dan GND dihubungkan ke transformator terlebih dahulu sebelum dihubungkan ke jala-jala PLN dengan tujuan untuk melindungi Mikrokontroler agar tidak rusak karena tegangan tinggi. Transformator yang digunakan adalah transformator stepdown 350 mA.

Resistor yang digunakan bernilai 1 M Ω yang dihubungkan seri dengan pin PD.0, PD.2 dan GND. Nilai dari resistor yang digunakan diperoleh dari datasheet AVR Zero Cross Detector. Dengan menambahkan sebuah resistor seri yang besar, dioda tersebut dapat digunakan untuk mengubah sebuah sinyal sinusoida tegangan tinggi menjadi sebuah sinyal kotak tegangan rendah, dengan amplitudo tegangan yang sesuai dengan tegangan operasional mikrokontroler, karena dioda tersebut menyesuaikan tegangan tinggi masukan menjadi tegangan operasional mikrokontroler. Sinyal kotak tegangan rendah sefase dengan sinyal sinusoida tegangan AC, dengan mendeteksi tepi turun akan dapat menunjukkan secara akurat kapan zero cross itu terjadi. Dengan menggunakan sinyal tersebut

mikrokontroler dapat menjadi pendeteksi nol yang akurat dengan kode pemrograman yang singkat dan berbasiskan interupsi.

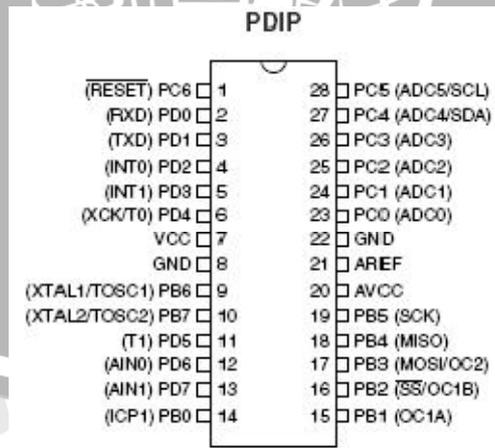


Gambar 4.7. Rangkaian Zero Crossing Detector

Sumber: Perancangan

4.2.5 Mikrokontroler ATMEGA8

Salah satu komponen yang digunakan dalam alat ini adalah mikrokontroler ATmega8. Jenis mikrokontroler ini dipilih karena pin I/O yang mencukupi untuk penggunaan pada alat ini dan sebagai pusat dari pengolahan data dan pengontrolan alat.



Gambar 4.8. Konfigurasi pin pada Mikrokontroler ATmega8

Sumber : Datasheet ATmega8

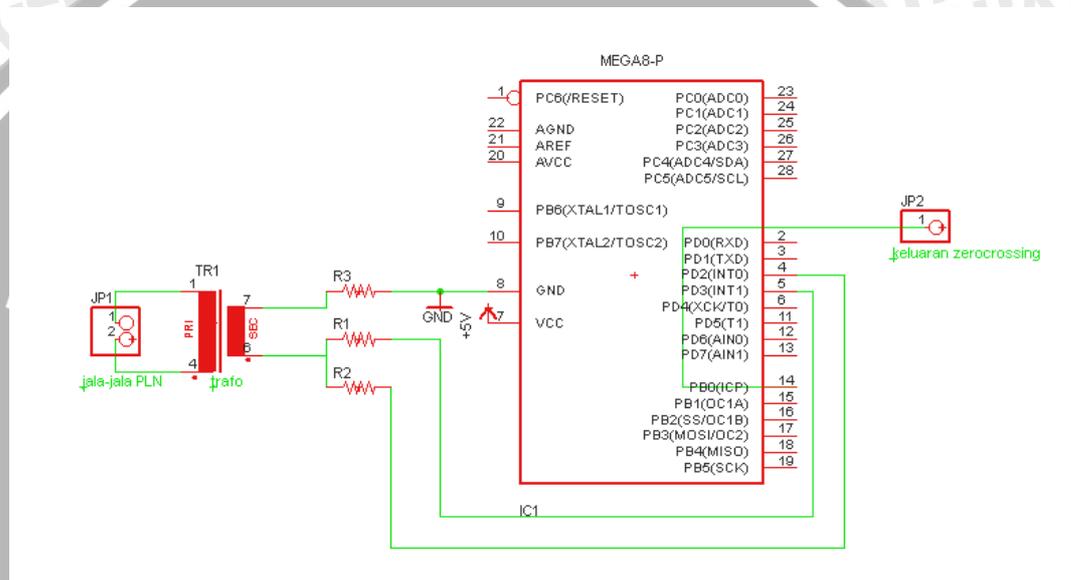
Pin-pin yang digunakan pada perancangan ini adalah:

1. PORTB

- PORTB.0 digunakan sebagai keluaran sinyal untuk merubah sudut penyalan pada triac.

2. PORTD

- PORTD.2 digunakan sebagai pin untuk masukan zerocrossing.
- PORTD.3 digunakan sebagai pin untuk masukan zerocrossing.



Gambar 4.9. Rangkaian Mikrokontroler ATmega8

Sumber : Perancangan

4.2.5.1 Analog Digital Conversion (ADC) Mikrokontroler ATMEGA8

ADC adalah rangkaian yang berfungsi untuk mengubah sinyal analog menjadi data digital. Pada mikrokontroler ATMEGA8 ini terdapat ADC dengan resolusi sampai 10 bit yang mampu mengkonversi data selama 65–260 μ s. Tegangan referensi yang terdapat pada ADC ini dapat dipilih dari tegangan internal atau dari tegangan yang berasal dari luar, pada perancangan ini tegangan referensi yang digunakan ialah tegangan eksternal sebesar 5 volt. Masukan ADC terdapat 6 buah *channel* yang dimultiplekser namun dalam perancangan ini hanya digunakan 1 buah *channel*.

Resolusi nominal yang terdapat pada ADC 8 bit diperoleh dari perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{resolusi ADC} &= V_{\text{ref}} \cdot 2^{-n} \\ &= 5 \times 2^{-8} \\ &= 19.53 \text{ mV} \end{aligned}$$

Frekuensi kerja ADC tergantung dari frekuensi mesin pada mikrokontroler yang mana frekuensi ADC dapat dipilih dengan konfigurasi CK/2, CK/4, CK/8, CK/16, CK/32, CK/64 dan CK/128. Dalam perancangan ini frekuensi kerja mikrokontroler sebesar 8 MHz dan konfigurasi ADC yang digunakan sebesar CK/8 yaitu 500 kHz. Untuk melakukan konversi diperlukan 13 *clock* dan *channel* yang digunakan sebanyak 1 buah sehingga frekuensi sampling *channel* sebesar :

$$\begin{aligned} f_{\text{sampling}} &= \frac{\text{frekuensi ADC}}{1 \times 13} \\ &= \frac{500000 \text{ Hz}}{1 \times 13} \\ &= 38461.5385 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Hal ini sudah sangat mencukupi teorema Nyquist karena frekuensi sinyal masukan hanya sebesar 50 Hz.

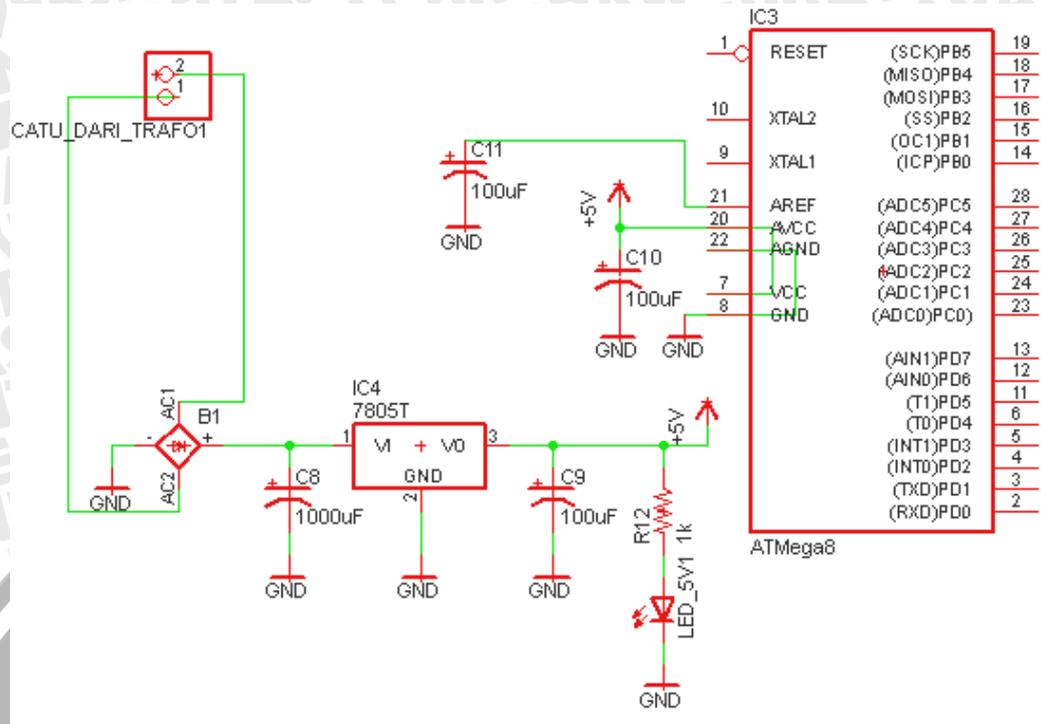
Hasil konversi data diperoleh dari perhitungan:

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= \frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{ref}}} \times 2^8 \\ &= \frac{V_{\text{in}}}{5} \times 255 \\ &= 51 V_{\text{in}} \end{aligned}$$

Data hasil pengkonversian tersebut disimpan pada *ADC Data Register* 8 bit yang mana register tersebut terdiri dari 2 buah register yaitu *Register ADCL* dan *Register ADCH*.

4.2.5.2 Perancangan Rangkaian Catu Mikrokontroler

Untuk dapat mengoperasikan mikrokontroler dibutuhkan catu pada mikrokontroler tersebut, berikut ini adalah rangkaian dari rangkaian catu mikrokontroler.



Gambar 4.10. Rangkaian catu Mikrokontroler ATmega8

Sumber : hasil perancangan

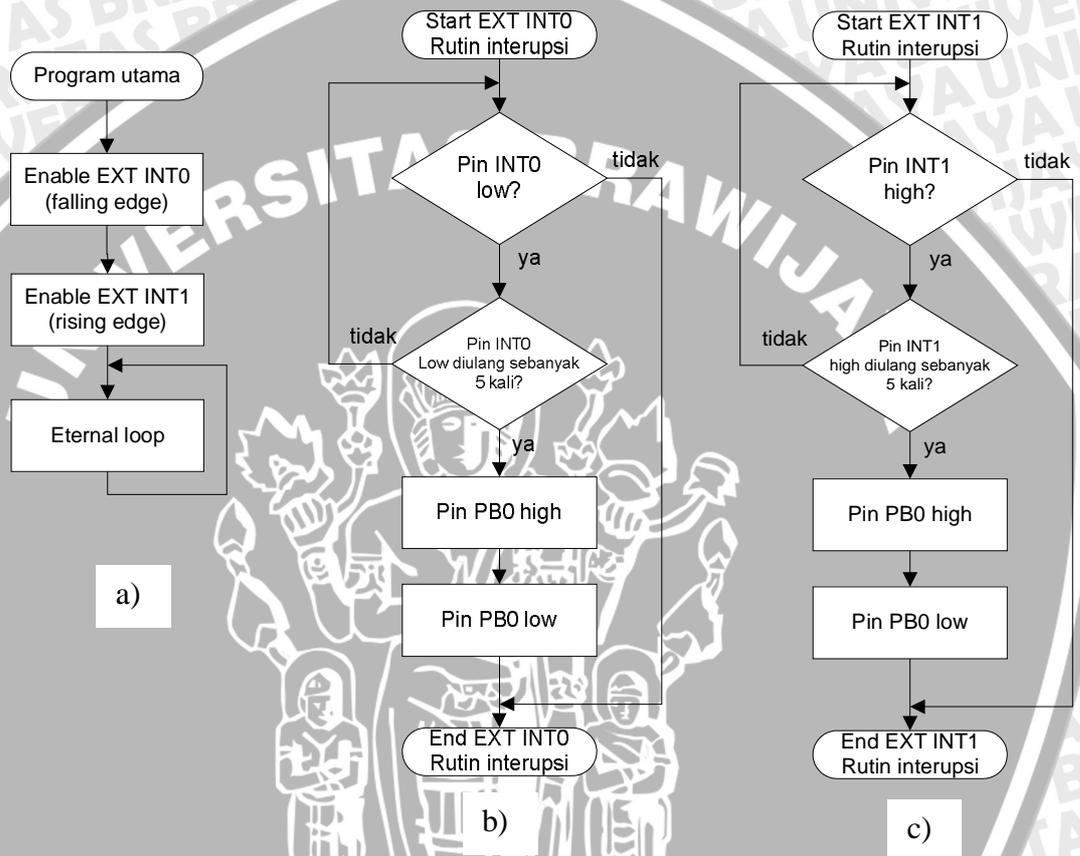
Gambar 4.10 diatas adalah rangkaian catu dari mikrokontroler, masukan ke pin VCC mikrokontroler adalah 5 volt yang dihasilkan melalui trafo yang keluarannya sebesar 7.5 V. Dari trafo akan disearahkan dengan penyearah sehingga keluarannya menjadi searah (DC). Agar tegangannya menjadi 5 V maka diturunkan melalui regulator (7805) sehingga tegangan masukan pada mikrokontroler kurang lebih menjadi 5V.

4.3 Pembuatan perangkat lunak (software)

Perancangan perangkat lunak yang dibuat menggunakan bahasa C untuk mikrokontroller ATmega8. Program dibuat menggunakan *software compiler* CodeVision AVR. Pembuatan program pada mikrokontroler ATmega8 terdiri dari 2 tahap. Tahap yang pertama adalah pembuatan program *Zero Crossing Detector* dan tahap yang kedua adalah pembuatan program pada mikrokontroler untuk mengendalikan sudut penyalan pada triac.

4.3.1 Perangkat lunak Zero Crossing Detector

Berdasarkan perancangan mekanisme sistem pengaturan tegangan pada motor kapasitor, maka diperlukan suatu pembuatan program *Zero Crossing Detector*. Diagram alir pembuatan program *Zero Crossing Detector* adalah seperti dalam Gambar 4.11. Dalam program zero crossing detector ini digunakan 2 eksternal interrupt yaitu ExtInt0 dan ExtInt1



Gambar 4.11. Flowchart pada ExtInt
Sumber: Perancangan

Penjelasan flowchart dalam Gambar 4.11 adalah sebagai berikut:

1. Rutin interupsi eksternal adalah rutin untuk mendeteksi adanya satu siklus gelombang telah terjadi. Seperti pada dasar teori tentang *Zero Cross Detector* yang telah dijelaskan di perancangan hardware bahwa interval antara terjadinya *Zero Cross* (ditandai dengan sebuah interupsi eksternal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11.a) sama dengan periode dari satu buah gelombang sinusoida masukan.
2. Pada Gambar 4.11.b dan Gambar 4.11.c berfungsi untuk menampilkan zero cross yang akan terjadi setelah menerima interupsi eksternal. Untuk

mengecek sinyal masukan tersebut noise atau bukan maka pada rutin ditambahkan perulangan lima kali pengecekan pin INT0 dan pin INT1 setelah terjadi interupsi. Pada INT0, *Zero Cross* terjadi pada kondisi low maka sinyal masukan dianggap noise jika pada lima kali pengecekan pin INT0 tidak selalu dalam keadaan low. Sebaliknya pada INT1, *Zero Cross* terjadi pada kondisi high maka sinyal masukan dianggap noise jika pada lima kali pengecekan pin INT1 tidak selalu dalam keadaan high.

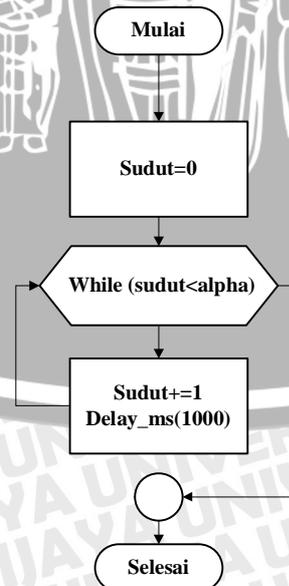
3. Setelah dicek sinyal masukan bukan noise, berarti sinyal tersebut dalam keadaan melewati nol, dalam keadaan ini pin keluaran PB0 diberi logika high dan di low kan lagi biar bisa dilihat di osiloskop.

4.3.2 Perangkat lunak pengaturan sudut penyalan triac

Perancangan perangkat lunak pengaturan sudut penyalan triac dilakukan setelah program dari zerocrossing selesai. Pada tahap ini jika pada PORTD.2 dan PORTD.3 sudah nol maka akan digunakan delay untuk mengatur lama dari logika high sehingga pengaturan sudut penyalan bergantung dari lama logika high pada zerocrossing tersebut.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari diagram alir berikut:

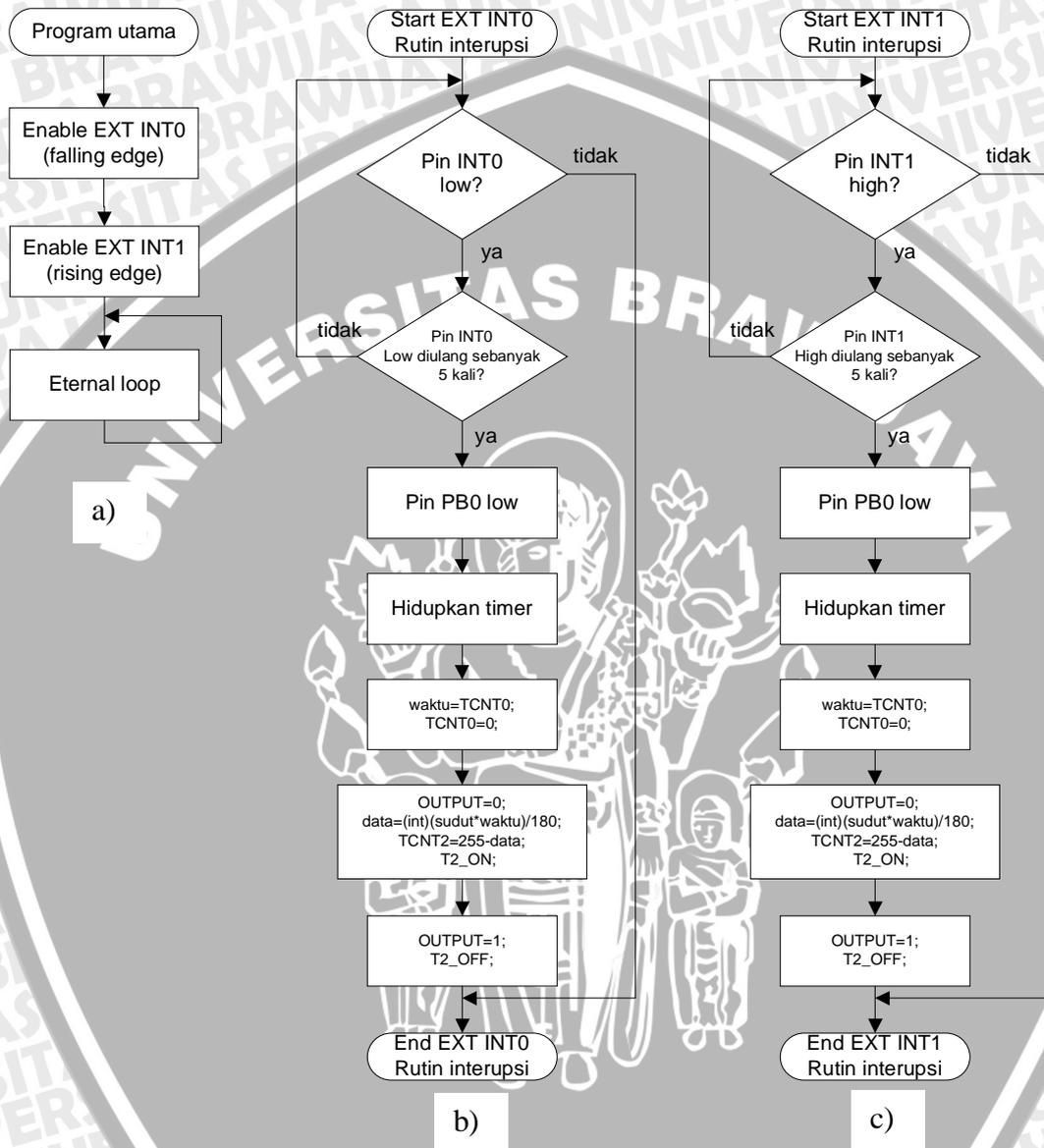
Flowchat Program Utama :



Gambar 4.12. Flowchart program utama

Sumber: Perancangan

Flowchat EXT INT zero crossing detector :



Gambar 4.13. Flowchart pengaturan sudut penyalan triac

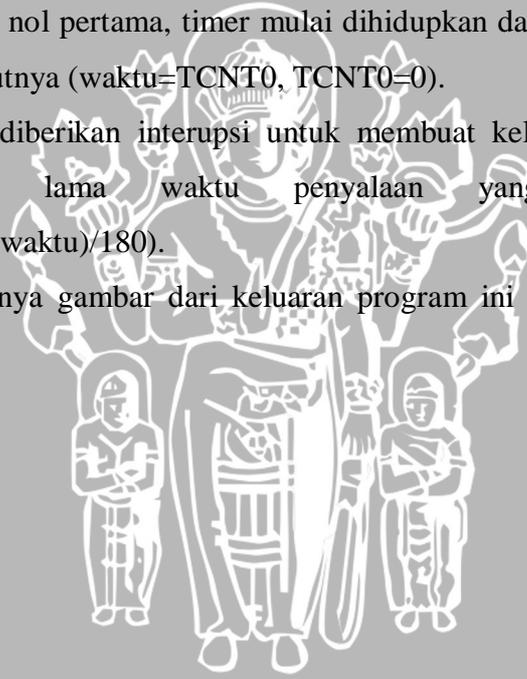
Sumber: Perancangan

Penjelasan dari flowchart pada gambar 4.12 di atas adalah sebagai berikut :

1. Program utama pada pembuatan perangkat lunak ini seperti yang terlihat pada flowchart Gambar 4.12 di atas berisi pengaturan besarnya sudut penyalan.
2. Untuk pendeteksian nol menggunakan zerocrossing seperti yang telah dijelaskan sebelumnya yaitu untuk mengecek sinyal masukan berupa noise atau bukan

digunakan perulangan sebanyak 5 kali dapat di lihat pada flowchart EXT INT *zerocrossing detector* di atas

3. Perancangan ini menggunakan dua buah pin interupsi untuk mendeteksi tepi naik dan tepi turun (PIN_INT0 dan PIN_INT1) maka perhitungan timer selalu mulai dan berhenti saat mendeteksi nol saja baik saat tepi naik dan tepi turun.
4. Untuk mengecek sinyal masukan tersebut noise atau bukan maka pada rutin ditambahkan perulangan lima kali pengecekan pin INT0 dan pin INT1 setelah terjadi interupsi. Pada INT0, *Zero Cross* terjadi pada kondisi low maka sinyal masukan dianggap noise jika pada lima kali pengecekan pin INT0 tidak selalu dalam keadaan low. Sebaliknya pada INT1, *Zero Cross* terjadi pada kondisi high maka sinyal masukan dianggap noise jika pada lima kali pengecekan pin INT1 tidak selalu dalam keadaan high.
5. Saat pendeteksian nol pertama, timer mulai dihidupkan dan menghitung sampai deteksi nol selanjutnya ($waktu = TCNT0$, $TCNT0 = 0$).
6. Setelah itu baru diberikan interupsi untuk membuat keluaran berlogika satu sesuai dengan lama waktu penyalaan yang kita inginkan ($data = (int)(sudut * waktu) / 180$).
7. Untuk lebih jelasnya gambar dari keluaran program ini akan dijelaskan pada pengujian.



BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dilakukan dengan menguji setiap blok dari sistem supaya diketahui performansi dan kesesuaian dengan perancangan, sedangkan analisis dilakukan dengan mengolah data hasil pengujian.

Pengujian yang dilakukan terdiri dari :

- a) Pengujian rangkaian trigger triac.
- b) Pengujian rangkaian *zerocrossing detector*.
- c) Pengujian sensor arus.
- d) Pengujian rangkaian catu mikrokontroller
- e) Pengambilan data dari motor kapasitor
- f) Pengujian kinerja keseluruhan alat penghemat energi pada motor kapasitor.

5.1 Pengujian rangkaian trigger triac

5.1.1 Tujuan

Mengetahui apakah hasil rancangan rangkaian pentriggeran triac dapat berfungsi dengan baik.

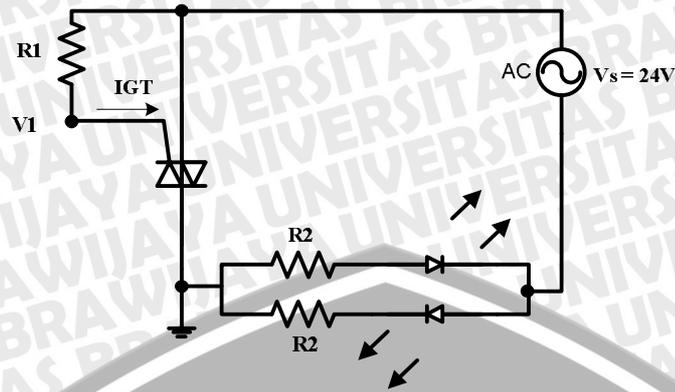
5.1.2 Peralatan

Peralatan-peralatan yang digunakan adalah

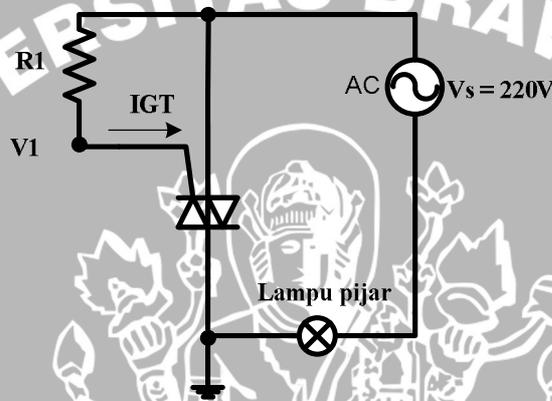
1. Triac
2. Resistor
3. Catu daya AC 220V/50Hz.
4. Lampu pijar 15 W
5. LED

5.1.3 Rangkaian Pengujian

Rangkaian pengujian ditunjukkan dalam Gambar 5.1



(a)



(b)

Gambar 5.1. Rangkaian pengujian pentriggeran triac

(a) Tegangan masukan 24 volt

(b) Tegangan masukan 220 volt

Sumber: Perancangan.

5.1.4 Prosedur Pengujian

1. Sebelum dilakukan pengujian terlebih dahulu harus dihitung besaran-besaran yang ada pada rangkaian. Berikut adalah perhitungannya:

Perhitungan pada gambar 5.1 (a)

$$I_{GT} = 50 \text{ mA} \text{ diketahui dari datasheet triac}$$

$$V_1 = 0.85 \text{ V} \text{ diketahui dari datasheet triac}$$

$$R_1 = \frac{24 - V_1}{I_{GT}} = \frac{24 - 0.85}{50 \times 10^{-3}} = 463 \Omega$$

$$R_2 = \frac{24 - V_D}{I_{GT}} = \frac{24 - 0.7}{50 \times 10^{-3}} = 470 \Omega$$

2. Rangkaian untuk tegangan masukan 24 volt ditunjukkan seperti pada Gambar 5.1 (a).
3. Rangkaian untuk tegangan masukan 220 volt ditunjukkan seperti pada gambar 5.1 (b).
4. Beban yang digunakan untuk tegangan masukan 24 volt adalah 2 buah LED.
5. Beban yang digunakan untuk tegangan masukan 220 volt adalah lampu pijar 15 W.

5.1.5 Hasil pengujian dan analisis

Pengujian rangkaian pada Gambar 5.1a menggunakan tegangan masukan 24 volt dengan beban 2 buah LED yang dipasang antiparalel. Perhitungan besaran-besarannya telah ditunjukkan sebelumnya. Pada rangkaian pengujian ini kedua LED menyala yang menunjukkan bahwa rangkaian pengujian pentriggeran triac berhasil.

Setelah dilakukan pengujian dengan tegangan masukan 24 volt maka dilanjutkan dengan pengujian tegangan masukan 220 volt, pada pengujian dengan tegangan masukan 220 volt, resistor yang digunakan dilakukan perhitungan ulang lagi sesuai dengan tegangan masukan sehingga sesuai dengan arus masukan gate dari triac. Beban yang digunakan adalah lampu pijar 15 W. Pada pengujian dengan tegangan masukan 220 volt ini berhasil dengan menyalanya lampu.

Dari hasil pengujian ini, untuk mengaktifkan triac dibutuhkan pemicuan gate. Sesuai dengan datasheet untuk memicu gate triac dibutuhkan arus sebesar 50mA, sehingga bisa dilakukan perhitungan untuk pemicuan gate tersebut seperti yang telah dilakukan pada pengujian di atas. Sehingga hasil dari pemicuan gate tersebut triac bisa aktif ditunjukkan dengan gelombang keluaran yang berbentuk sinusoida dan bisa mencatu beban. Perlu juga diketahui bahwa dalam pengujian ini masih belum dilakukan pengaturan sudut penyalan gate triac.

5.2 Pengujian rangkaian zerocrossing detector

5.2.1 Tujuan

Mendeteksi sinyal sinusoida pada jala-jala saat melewati nol.

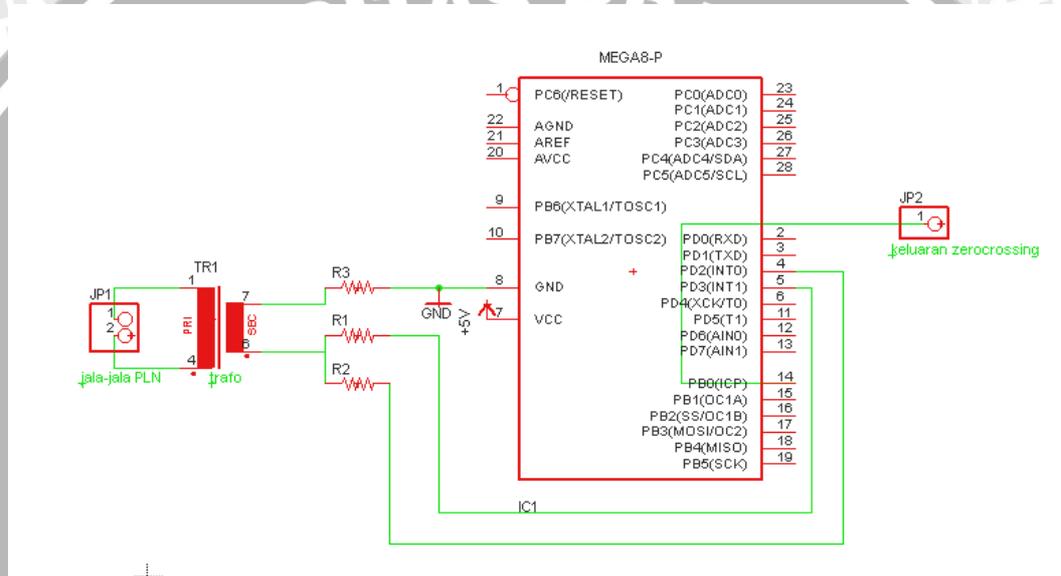
5.2.2 Peralatan

Peralatan-peralatan yang digunakan adalah

1. Resistor 1M Ohm
2. ATMega8
3. Transformator stepdown
4. Osiloskop

5.2.3 Rangkaian Pengujian

Rangkaian pengujian ditunjukkan dalam Gambar 5.2 berikut (untuk gambar yang lebih jelas dapat dilihat di lampiran).



Gambar 5.2. Rangkaian pengujian zerocrossing detector.

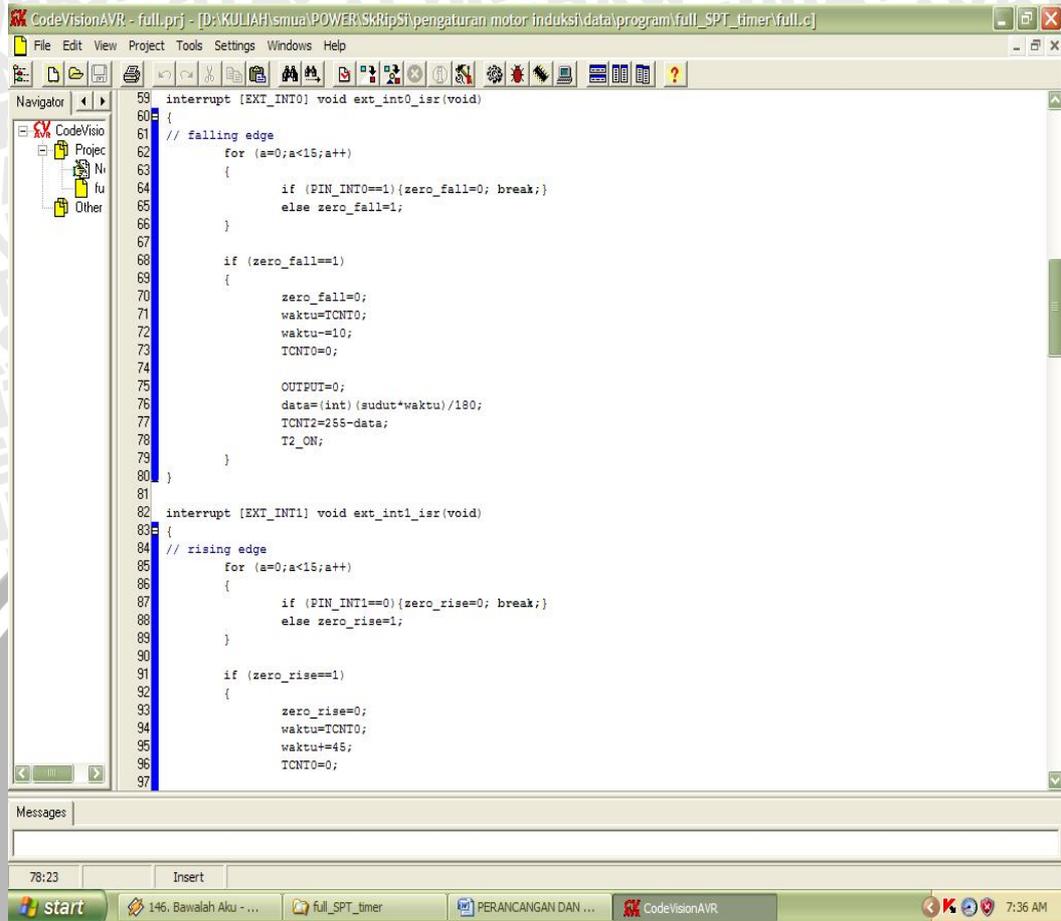
Sumber: Perancangan.

5.2.4 Prosedur Pengujian

1. Rangkaian *Zerocrossing detector* dihubungkan seperti Gambar 5.2.
2. Pembuatan program

Pembuatan software rangkaian zerocrossing pada mikrokontroler Atmega8 ini menggunakan bahasa C pada software CodeVision AVR sesuai dengan perancangan.

Proses program yang dibuat ditunjukkan dalam Gambar 5.3. Program lengkap untuk pembuatan alat dapat dilihat dalam lampiran.



```
59 interrupt [EXT_INT0] void ext_int0_isr(void)
60 {
61 // falling edge
62 for (a=0;a<15;a++)
63 {
64 if (FIN_INT0==1){zero_fall=0; break;}
65 else zero_fall=1;
66 }
67
68 if (zero_fall==1)
69 {
70 zero_fall=0;
71 waktu=TCNT0;
72 waktu-=10;
73 TCNT0=0;
74
75 OUTPUT=0;
76 data=(int)(sudut*waktu)/180;
77 TCNT2=255-data;
78 T2_ON;
79 }
80 }
81
82 interrupt [EXT_INT1] void ext_int1_isr(void)
83 {
84 // rising edge
85 for (a=0;a<15;a++)
86 {
87 if (FIN_INT1==0){zero_rise=0; break;}
88 else zero_rise=1;
89 }
90
91 if (zero_rise==1)
92 {
93 zero_rise=0;
94 waktu=TCNT0;
95 waktu+=45;
96 TCNT0=0;
97 }
```

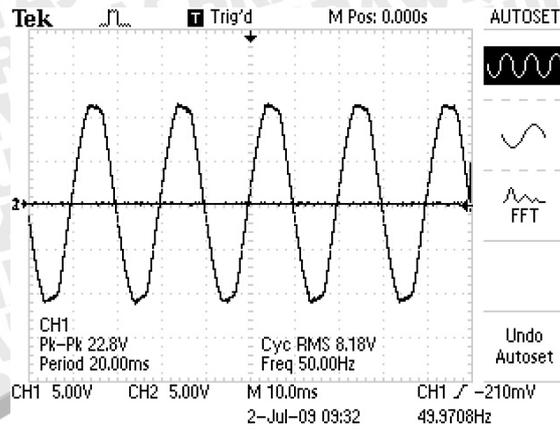
Gambar 5.3. Proses pembuatan program dengan bahasa C

5.2.5 Hasil pengujian dan analisis

Untuk menguji keberhasilan alat dan untuk menganalisis kinerja alat tersebut, maka dilakukan serangkaian pengujian. Yaitu pengujian sinyal masukan dan menguji terjadinya zero cross.

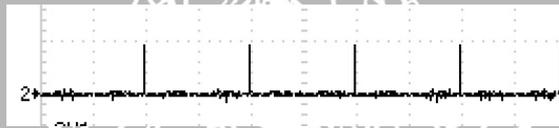
Alat-alat yang digunakan:

- *Project board*
- *DC power supply*
- *Oscilloscope*
- Mikrokontroler ATmega8
- Minimum sistem ATmega8



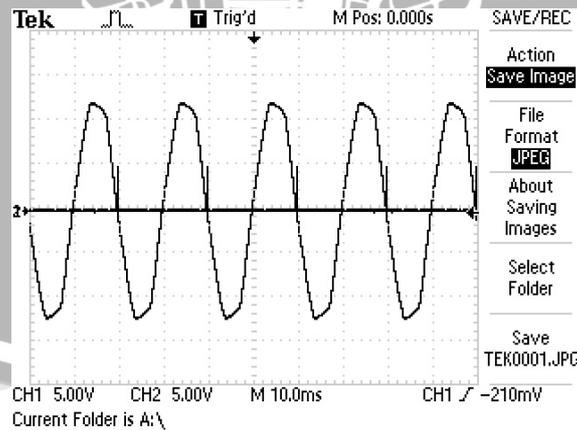
Gambar 5.4. Sinyal masukan jala-jala

Sinyal tegangan jala-jala PLN sebagai masukan dari mikrokontroler dihubungkan dengan channel satu pada osiloscope dan frekuensi sebesar 50Hz. Gambar 5.5 menunjukkan sinyal keluaran pada pin mikrokontroler.



Gambar 5.5. Sinyal keluaran pada pin mikrokontroler

Sinyal keluaran ini merupakan kondisi logika pada mikrokontroler (PORTB.0), yang merupakan indicator terjadinya interupsi eksternal. Gambar 5.6 menunjukkan Sinyal masukan dan sinyal keluaran.



Gambar 5.6. Sinyal masukan dan sinyal keluaran

Sinyal masukan pada Channel 1 dan sinyal keluaran pada Channel 2 di dual. Berdasarkan Gambar 5.6 dapat dilihat bahwa terjadi interupsi eksternal

mikrokontroler saat zero cross atau saat sinyal sinusoida menuju negative. Dan satu siklus sinusoida dapat ditandai dengan rentang antara titik 1(sinyal keluaran) dengan titik yang lain.

Zerocrossing ini digunakan sebagai masukan mikrokontroller untuk mengatur sudut penyalaan pada triac.

5.3 Pengujian sensor arus

5.3.1 Tujuan

Mengetahui apakah sensor arus dapat mendeteksi perubahan arus dan membacanya dalam bentuk tegangan yang ditunjukkan dengan perubahan tegangan keluaran pada sensor arus saat arus berubah.

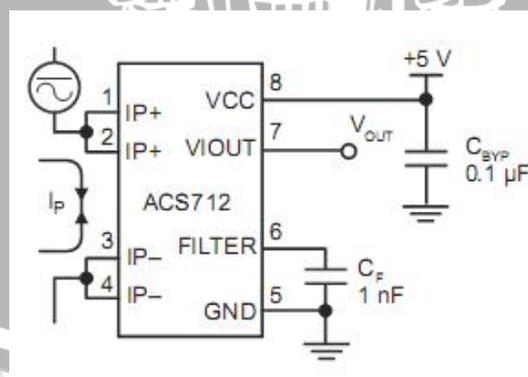
5.3.2 Peralatan

Peralatan-peralatan yang digunakan adalah

1. Baterai
2. kapasitor 0.1 uF dan 1 nF
3. beban variabel resistif
4. sensor arus ACS712
5. sumber AC 220 V

5.3.3 Rangkaian pengujian

Rangkaian pengujian ditunjukkan dalam Gambar 5.4 berikut.



Gambar 5.7. Rangkaian pengujian sensor arus ACS712

Sumber: data sheet ACS712

5.3.4 Prosedur pengujian

1. Komponen-komponen dihubungkan seperti pada Gambar 5.4.

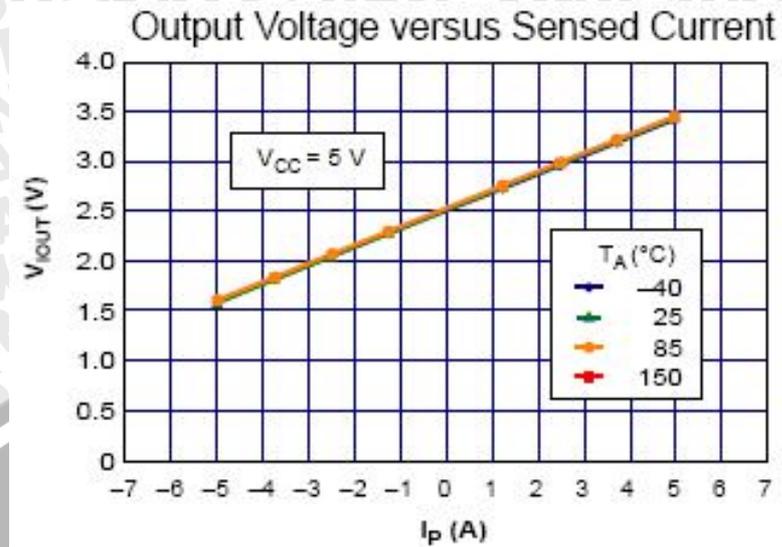
2. Baterai sebagai sumber tegangan masukan bagi sensor arus.
3. Beban yang digunakan adalah beban variabel resistif dengan tegangan 220 V.
4. Pengambilan data saat ada perubahan arus.

5.3.5 Hasil pengujian dan analisis

Tabel 5.1 Hasil pengujian sensor arus ACS712

No.	V	Beban (Ohm)	Arus (A)	V out (V)
1	220	73,33	3,00	3,06
2	220	75,86	2,90	3,04
3	220	78,57	2,80	3,02
4	220	81,48	2,70	3,00
5	220	84,61	2,60	2,98
6	220	88,00	2,50	2,96
7	220	91,66	2,40	2,94
8	220	95,65	2,30	2,93
9	220	100,00	2,20	2,91
10	220	104,76	2,10	2,89
11	220	110,00	2,00	2,87
12	220	115,78	1,90	2,85
13	220	122,22	1,80	2,83
14	220	129,41	1,70	2,81
15	220	137,50	1,60	2,80
16	220	146,66	1,50	2,78
17	220	157,14	1,40	2,76
18	220	169,23	1,30	2,74
19	220	183,33	1,20	2,72
20	220	200,00	1,10	2,70

Dari hasil pengujian seperti yang terlihat pada tabel sudah sesuai dengan karakteristik dari sensor arus ini yang mempunyai sensitifitas 185 mV/A yang bisa ditunjukkan pada grafik di bawah ini.



Gambar 5.8. Karakteristik sensor arus ACS712

Sumber: data sheet ACS712

Dari tabel hasil pengujian di atas dapat diketahui besarnya arus yang dikonversikan ke tegangan yang nantinya akan menjadi masukan mikrokontroler untuk menyeimbangkan tegangan masukan atau mengatur sudut penyalan triac sesuai dengan besarnya beban dari motor.

5.4 Pengujian rangkaian catu mikrokontroler

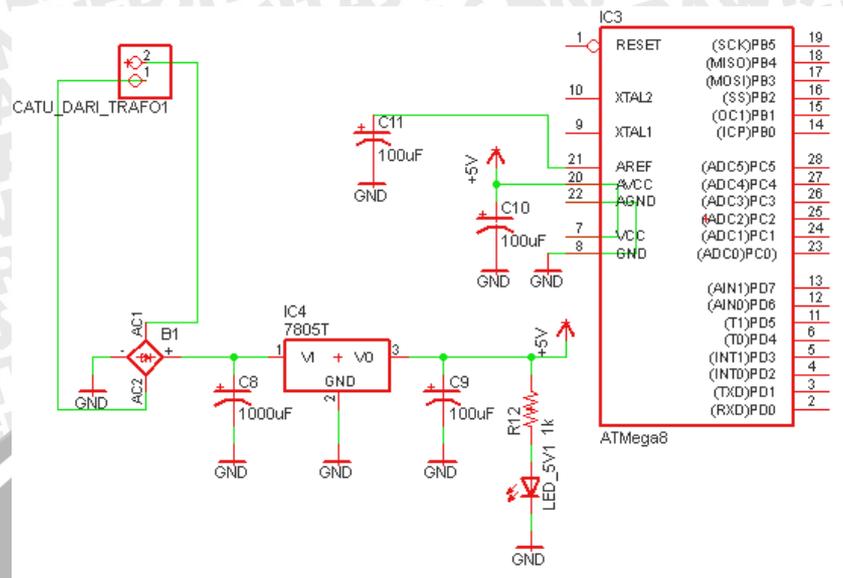
5.4.1 Tujuan

Mengetahui apakah rangkaian catu hasil perancangan bisa mencatu mikrokontroler dengan baik yang ditunjukkan oleh keluaran tegangan sebesar 5V.

5.4.2 Peralatan

1. Mikrokontroler ATmega8
2. Kapasitor
3. Transformator
4. Regulator 7805
5. Resistor
6. kuprok

5.4.3 Rangkaian pengujian



Gambar 5.9. Rangkaian pengujian catu mikrokontroller

Sumber: Perancangan

5.4.4 Prosedur pengujian

1. Komponen – komponen dihubungkan seperti pada Gambar 5.9.
2. Sumber tegangan diambil dari trafo sebesar 7.5V
3. Ukur tegangan keluaran dari rangkaian, jika keluarannya 5V berarti rangkaian dapat digunakan sebagai catu dari mikrokontroller

5.4.5 Hasil pengujian dan analisis

Dari hasil pengujian rangkaian catu mikrokontroller berhasil ditunjukkan dengan keluaran tegangan 4.99 karena mikrokontroller membutuhkan tegangan masukan sebesar $\pm 5V$ agar mikrokontroller bisa bekerja dengan baik.

5.5 Pengambilan data dari motor kapasitor

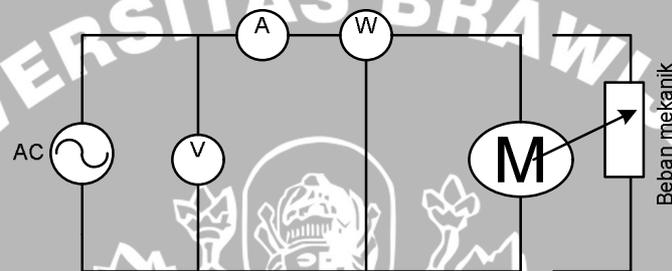
5.5.1 Tujuan

Mengetahui besar tegangan masukan minimal yang dibutuhkan motor kapasitor sesuai dengan besarnya beban. Setelah didapat besarnya tegangan yang sesuai maka akan digunakan sebagai referensi pada alat dalam mengatur sudut penyalan triac sehingga tegangan masukan motor sesuai dengan yang diharapkan.

5.5.2 Peralatan

1. motor kapasitor
2. watt meter
3. ampere meter
4. volt meter
5. beban mekanik
6. tacho meter
7. AC 220 V

5.5.3 Rangkaian Pengujian



Gambar 5.10. Rangkaian pengambilan data motor kapasitor

Gambar di atas adalah rangkaian pengujian dengan menggunakan motor kapasitor. Karena data yang ingin diambil adalah besaran arus, tegangan, dan daya maka pada rangkaian tersebut diberi alat ukur seperti yang terlihat pada gambar rangkaian di atas.

5.5.4 Prosedur Pengujian

1. Komponen dihubungkan seperti pada gambar 5.10.
2. Besaran-besaran yang diambil dalam pengujian adalah tegangan masukan motor (VLL), putaran motor (n_r), arus masukan motor (IL), daya aktif (P), dan daya reaktif (Q).
3. Pengambilan data pertama dilakukan saat motor tanpa beban dengan variasi tegangan masukan.
4. Pengambilan data selanjutnya dilakukan dengan motor berbeban mulai dari 0.4 – 2 Nm dengan variasi tegangan masukan.

5.5.5 Hasil pengujian dan analisis

1. Tanpa beban

Tabel 5.2 Tanpa beban

VLL (V)	Nr (rpm)	IL (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	COS PHI
220	1492	1,65	170	280	327,57	0,52
215	1490	1,5	160	250	296,82	0,54
210	1490	1,35	150	200	250,00	0,60
205	1490	1,25	140	190	236,01	0,59
200	1490	1,15	130	160	206,16	0,63
195	1490	1,05	120	140	184,39	0,65
190	1489	0,95	110	115	159,14	0,69
185	1489	0,85	100	100	141,42	0,71
180	1490	0,8	100	90	134,54	0,74
175	1489	0,75	90	80	120,42	0,75
170	1500	0,7	90	70	114,02	0,79
165	1493	0,65	80	60	100,00	0,80
160	1496	0,55	80	50	94,34	0,85
155	1496	0,5	70	40	80,62	0,87
150	1494	0,5	70	30	76,16	0,92
145	1496	0,45	65	25	69,64	0,93
140	1494	0,45	60	20	63,25	0,95
135	1493	0,4	55	15	57,01	0,96
130	1491	0,4	50	10	50,99	0,98
125	1493	0,35	50	10	50,99	0,98
120	1496	0,35	50	8	50,64	0,99
115	1495	0,35	40	5	40,31	0,99
110	1494	0,34	40	0	40,00	1,00
105	1493	0,3	35	0	35,00	1,00
100	1491	0,3	30	0	30,00	1,00
95	1490	0,3	30	0	30,00	1,00
90	1492	0,3	30	0	30,00	1,00
85	1493	0,25	30	0	30,00	1,00
80	1490	0,25	25	0	25,00	1,00
75	1488	0,25	20	0	20,00	1,00
70	1490	0,25	20	0	20,00	1,00
65	1487	0,23	20	0	20,00	1,00
60	1488	0,2	15	0	15,00	1,00
55	1487	0,2	15	0	15,00	1,00
50	1489	0,2	10	0	10,00	1,00
45	1486	0,2	10	0	10,00	1,00
40	1481	0,18	10	0	10,00	1,00
35	1475	0,15	10	0	10,00	1,00
30	1469	0,15	8	0	8,00	1,00
25	1451	0,15	8	0	8,00	1,00
20	1400	0,2	8	0	8,00	1,00
15	0	0,00	0	0	0,00	-

Tabel pengujian tanpa beban di atas digunakan untuk membantu perhitungan secara teori yang akan dijelaskan pada pengujian selanjutnya dan untuk mengetahui besarnya tegangan masukan yang sesuai dengan daya masukan untuk menghemat energi dari motor kapasitor ini.

2. Beban 2 Nm

Tabel 5.3. Beban 2 Nm

VLL (V)	Nr (rpm)	IL (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	COS PHI
220	1424	2,13	460	200	501,60	0,92
215	1416	2,15	450	180	484,66	0,93
210	1410	2,15	445	160	472,89	0,94
205	1405	2,18	435	150	460,14	0,95
200	1400	2,19	435	140	456,97	0,95

Dari Tabel 5.3 tersebut tegangan yang sesuai untuk torsi beban sebesar 2 Nm adalah 220 V karena pada beban sebesar ini motor masih menanggung beban nominalnya sehingga motor masih akan bekerja dengan baik yang dapat dilihat pada putarannya yang masih nominal.

3. Beban 1,9 Nm

Tabel 5.4. Beban 1,9 Nm

VLL (V)	Nr (rpm)	IL (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	COS PHI
220	1430	2,02	440	200	483,32	0,91
215	1420	2,02	430	175	464,25	0,93
210	1409	2,03	420	160	449,44	0,93
205	1418	2,06	420	140	442,72	0,95
200	1407	2,12	415	130	434,89	0,95

Dari Tabel 5.4 tersebut tegangan yang sesuai untuk torsi beban sebesar 1,9 Nm adalah 215 V karena pada beban sebesar ini motor masih berputar yang mendekati nominal dan besarnya daya masukan lebih kecil dengan faktor daya yang lebih besar.

4. Beban 1,8 Nm

Tabel 5.5. Beban 1,8 Nm

VLL (V)	Nr (rpm)	IL (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	COS PHI
220	1434	1,94	420	190	460,98	0,91
215	1432	1,92	410	170	443,85	0,92
210	1420	1,96	410	150	436,58	0,94
205	1419	1,98	400	140	423,79	0,94
200	1430	2	400	130	420,59	0,95
195	1421	2,02	390	110	405,22	0,96
190	1410	2,06	385	100	397,78	0,97
185	1405	2,1	375	100	388,10	0,97

Dari Tabel 5.5 tersebut tegangan yang sesuai untuk torsi beban sebesar 1,8 Nm adalah 205 V karena pada beban sebesar ini motor masih berputar yang mendekati nominal dan besarnya daya masukan lebih kecil dengan faktor daya yang lebih besar.

5. Beban 1,7 Nm

Tabel 5.6. Beban 1,7 Nm

VLL (V)	Nr (rpm)	IL (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	COS PHI
220	1437	1,87	410	190	451,88	0,91
215	1430	1,86	400	170	434,63	0,92
210	1428	1,86	390	150	417,85	0,93
205	1422	1,88	380	140	404,97	0,94
200	1420	1,88	370	130	392,17	0,94
195	1411	1,92	370	120	388,97	0,95
190	1400	2	370	110	386,01	0,96
185	1380	2,04	365	100	378,45	0,96

Dari Tabel 5.6 tersebut tegangan yang sesuai untuk torsi beban sebesar 1,7 Nm adalah 200 V karena pada beban sebesar ini motor masih berputar yang mendekati nominal dan besarnya daya masukan lebih kecil dengan faktor daya yang lebih besar.

6. Beban 1,6 Nm

Tabel 5.7. Beban 1,6 Nm

VLL (V)	Nr (rpm)	IL (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	COS PHI
220	1433	1,84	390	200	438,29	0,89
215	1428	1,8	385	200	433,85	0,89
210	1421	1,8	375	160	407,71	0,92
205	1418	1,81	370	140	395,60	0,94
200	1413	1,83	365	130	387,46	0,94
195	1413	1,8	360	110	376,43	0,96
190	1409	1,89	350	100	364,01	0,96
185	1402	1,92	300	100	316,23	0,95

Dari Tabel 5.7 tersebut tegangan yang sesuai untuk torsi beban sebesar 1,6 Nm adalah 195 V karena pada beban sebesar ini motor masih berputar yang mendekati nominal dan besarnya daya masukan lebih kecil dengan faktor daya yang lebih besar.

7. Beban 1,5 Nm

Tabel 5.8. Beban 1,5 Nm

VLL (V)	Nr (rpm)	IL (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	COS PHI
220	1440	1,78	380	190	424,85	0,89
215	1440	1,73	370	170	407,19	0,91
210	1434	1,73	360	150	390,00	0,92
205	1430	1,73	350	140	376,96	0,93
200	1430	1,75	350	120	370,00	0,95
195	1424	1,77	340	110	357,35	0,95
190	1416	1,8	330	100	344,82	0,96
185	1408	1,83	330	90	342,05	0,96

Dari Tabel 5.8 tersebut tegangan yang sesuai untuk torsi beban sebesar 1,5 Nm adalah 195 V karena pada beban sebesar ini motor masih berputar yang mendekati nominal dan besarnya daya masukan lebih kecil dengan faktor daya yang lebih besar.

8. Beban 1,4 Nm

Tabel 5.9. Beban 1,4 Nm

VLL (V)	Nr (rpm)	IL (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	COS PHI
220	1442	1,77	365	210	421,10	0,87
215	1439	1,7	350	180	393,57	0,89
210	1437	1,65	340	160	375,77	0,90
205	1435	1,64	330	140	358,47	0,92
200	1425	1,64	330	130	354,68	0,93
195	1425	1,67	320	110	338,38	0,95
190	1420	1,68	310	100	325,73	0,95
185	1416	1,7	300	90	313,21	0,96
180	1411	1,72	300	80	310,48	0,97
175	1408	1,76	300	80	310,48	0,97

Dari Tabel 5.9 tersebut tegangan yang sesuai untuk torsi beban sebesar 1,4 Nm adalah 190 V karena pada beban sebesar ini motor masih berputar yang mendekati nominal dan besarnya daya masukan lebih kecil dengan faktor daya yang lebih besar.

9. Beban 1,3 Nm

Tabel 5.10. Beban 1,3 Nm

VLL (V)	Nr (rpm)	IL (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	COS PHI
220	1441	1,75	350	210	408,17	0,86
215	1441	1,66	350	180	393,57	0,89
210	1436	1,6	330	160	366,74	0,90
205	1431	1,58	320	140	349,28	0,92
200	1430	1,58	310	120	332,42	0,93
195	1429	1,61	300	100	316,23	0,95
190	1424	1,62	300	100	316,23	0,95
185	1423	1,63	300	90	313,21	0,96
180	1424	1,66	290	80	300,83	0,96
175	1416	1,69	290	70	298,33	0,97
170	1415	1,71	285	70	293,47	0,97
165	1401	1,76	280	70	288,62	0,97

Dari Tabel 5.10 tersebut tegangan yang sesuai untuk torsi beban sebesar 1,3 Nm adalah 180 V karena pada beban sebesar ini motor masih berputar yang mendekati nominal dan besarnya daya masukan lebih kecil dengan faktor daya yang lebih besar.

10. Beban 1,2 Nm

Tabel 5.11. Beban 1,2 Nm

VLL (V)	Nr (rpm)	IL (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	COS PHI
220	1446	1,71	340	210	399,62	0,85
215	1441	1,6	320	180	367,15	0,87
210	1450	1,53	315	160	353,31	0,89
205	1442	1,49	300	140	331,06	0,91
200	1438	1,5	300	120	323,11	0,93
195	1435	1,5	290	100	306,76	0,95
190	1434	1,52	280	90	294,11	0,95
185	1430	1,53	280	85	292,62	0,96
180	1426	1,55	270	80	281,60	0,96
175	1415	1,57	270	70	278,93	0,97
170	1410	1,57	270	70	278,93	0,97
165	1405	1,62	260	65	268,00	0,97

Dari Tabel 5.11 tersebut tegangan yang sesuai untuk torsi beban sebesar 1,2 Nm adalah 170 V karena pada beban sebesar ini motor masih berputar yang mendekati nominal dan besarnya daya masukan lebih kecil dengan faktor daya yang lebih besar.

11. Beban 1,1 Nm

Tabel 5.12. Beban 1,1 Nm

VLL (V)	Nr (rpm)	IL (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	COS PHI
220	1449	1,69	320	220	388,33	0,82
215	1442	1,59	310	190	363,59	0,85
210	1446	1,49	300	160	340,00	0,88
205	1441	1,44	290	150	326,50	0,89
200	1443	1,42	180	125	219,15	0,82
195	1438	1,43	270	110	291,55	0,93
190	1435	1,44	270	100	287,92	0,94
185	1435	1,45	260	80	272,03	0,96
180	1427	1,47	260	70	269,26	0,97
175	1423	1,49	250	65	258,31	0,97
170	1422	1,51	250	60	257,10	0,97
165	1418	1,53	245	50	250,05	0,98
160	1415	1,57	245	50	250,05	0,98
155	1408	1,6	240	50	245,15	0,98

Dari Tabel 5.12 tersebut tegangan yang sesuai untuk torsi beban sebesar 1,1 Nm adalah 160 V karena pada beban sebesar ini motor masih berputar yang mendekati nominal dan besarnya daya masukan lebih kecil dengan faktor daya yang lebih besar.

12. Beban 1 Nm

Tabel 5.13. Beban 1 Nm

VLL (V)	Nr (rpm)	IL (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	COS PHI
220	1443	1,67	330	200	385,88	0,86
215	1450	1,57	320	180	367,15	0,87
210	1449	1,52	310	160	348,86	0,89
205	1446	1,48	300	140	331,06	0,91
200	1444	1,48	295	130	322,37	0,92
195	1444	1,49	280	105	299,04	0,94
190	1437	1,5	280	100	297,32	0,94
185	1434	1,51	270	90	284,60	0,95
180	1434	1,53	265	70	274,09	0,97
175	1427	1,56	260	65	268,00	0,97
170	1425	1,58	260	60	266,83	0,97
165	1422	1,6	255	55	260,86	0,98
160	1421	1,63	250	50	254,95	0,98
155	1403	1,68	250	50	254,95	0,98

Dari Tabel 5.13 tersebut tegangan yang sesuai untuk torsi beban sebesar 1 Nm adalah 160 V karena pada beban sebesar ini motor masih berputar yang mendekati nominal dan besarnya daya masukan lebih kecil dengan faktor daya yang lebih besar.

13. Beban 0,9 Nm

Tabel 5.14. Beban 0,9 Nm

VLL (V)	Nr (rpm)	IL (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	COS PHI
220	1455	1,53	300	180	349,86	0,86
215	1458	1,48	300	160	340,00	0,88
210	1446	1,42	290	140	322,02	0,90
205	1443	1,42	280	120	304,63	0,92
200	1438	1,42	270	110	291,55	0,93
195	1438	1,43	265	100	283,24	0,94
190	1434	1,44	260	90	275,14	0,94
185	1432	1,46	260	80	272,03	0,96
180	1431	1,47	250	70	259,62	0,96
175	1426	1,5	250	60	257,10	0,97
170	1422	1,52	240	55	246,22	0,97
165	1419	1,56	240	50	245,15	0,98
160	1412	1,59	240	50	245,15	0,98
155	1415	1,62	240	50	245,15	0,98
150	1397	1,67	235	50	240,26	0,98

Dari Tabel 5.14 tersebut tegangan yang sesuai untuk torsi beban sebesar 0,9 Nm adalah 150 V karena pada beban sebesar ini motor masih berputar yang mendekati nominal dan besarnya daya masukan lebih kecil dengan faktor daya yang lebih besar.

14. Beban 0,8 Nm

Tabel 5.15. Beban 0,8 Nm

VLL (V)	Nr (rpm)	IL (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	COS PHI
220	1454	1,63	310	210	374,43	0,83
215	1452	1,52	300	190	355,11	0,84
210	1460	1,44	290	160	331,21	0,88
205	1455	1,38	280	140	313,05	0,89
200	1466	1,37	270	120	295,47	0,91
195	1456	1,37	265	110	286,92	0,92
190	1452	1,37	260	100	278,57	0,93
185	1445	1,39	250	80	262,49	0,95
180	1444	1,4	245	75	256,22	0,96
175	1442	1,41	245	65	253,48	0,97
170	1436	1,43	240	55	246,22	0,97
165	1430	1,45	235	50	240,26	0,98
160	1426	1,47	230	50	235,37	0,98
155	1409	1,55	230	40	233,45	0,99

Dari Tabel 5.15 tersebut tegangan yang sesuai untuk torsi beban sebesar 0,8 Nm adalah 145 V karena pada beban sebesar ini motor masih berputar yang mendekati nominal dan besarnya daya masukan lebih kecil dengan faktor daya yang lebih besar.

15. Beban 0,7 Nm

Tabel 5.16. Beban 0,7 Nm

VLL (V)	Nr (rpm)	IL (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	COS PHI
220	1454	1,61	290	220	364,01	0,80
215	1453	1,49	280	180	332,87	0,84
210	1450	1,41	275	160	318,16	0,86
205	1450	1,35	270	140	304,14	0,89
200	1446	1,33	260	125	288,49	0,90
195	1448	1,33	255	110	277,71	0,92
190	1442	1,33	250	100	269,26	0,93
185	1448	1,35	240	80	252,98	0,95
180	1444	1,35	235	75	246,68	0,95
175	1441	1,37	230	60	237,70	0,97
170	1440	1,38	230	55	236,48	0,97
165	1427	1,4	225	50	230,49	0,98
160	1425	1,42	220	45	224,56	0,98
155	1422	1,45	220	45	224,56	0,98
150	1414	1,48	220	40	223,61	0,98
145	1404	1,52	215	40	218,69	0,98

Dari Tabel 5.16 tersebut tegangan yang sesuai untuk torsi beban sebesar 0,7 Nm adalah 140 V karena pada beban sebesar ini motor masih berputar yang mendekati nominal dan besarnya daya masukan lebih kecil dengan faktor daya yang lebih besar.

16. Beban 0,6 Nm

Tabel 5.17. Beban 0.6 Nm

VLL (V)	Nr (rpm)	IL (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	COS PHI
220	1453	1,6	285	220	360,03	0,79
215	1455	1,49	270	200	336,01	0,80
210	1453	1,4	265	175	317,57	0,83
205	1455	1,31	250	150	291,55	0,86
200	1452	1,27	250	140	286,53	0,87
195	1452	1,25	240	120	268,33	0,89
190	1450	1,24	240	100	260,00	0,92
185	1449	1,25	230	90	246,98	0,93
180	1456	1,25	225	75	237,17	0,95
175	1453	1,27	220	60	228,04	0,96
170	1445	1,28	215	50	220,74	0,97
165	1445	1,3	210	50	215,87	0,97
160	1445	1,31	205	40	208,87	0,98
155	1445	1,32	200	40	203,96	0,98
150	1438	1,35	200	35	203,04	0,99
145	1426	1,38	200	35	203,04	0,99
140	1421	1,41	200	35	203,04	0,99
135	1406	1,46	200	35	203,04	0,99

Dari Tabel 5.17 tersebut tegangan yang sesuai untuk torsi beban sebesar 0,6 Nm adalah 140 V karena pada beban sebesar ini motor masih berputar yang mendekati nominal dan besarnya daya masukan lebih kecil dengan faktor daya yang lebih besar.

17. Beban 0,5 Nm

Tabel 5.18. Beban 0.5 Nm

VLL (V)	Nr (rpm)	IL (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	COS PHI
220	1478	1,59	270	230	354,68	0,76
215	1466	1,45	260	190	322,02	0,81
210	1466	1,76	250	170	302,32	0,83
205	1465	1,26	235	150	278,79	0,84
200	1459	1,19	230	130	264,20	0,87
195	1461	1,14	220	110	245,97	0,89

VLL (V)	Nr (rpm)	IL (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	COS PHI
190	1461	1,14	215	95	235,05	0,91
185	1456	1,15	205	80	220,06	0,93
180	1452	1,15	200	70	211,90	0,94
175	1455	1,15	200	60	208,81	0,96
170	1449	1,16	190	50	196,47	0,97
165	1444	1,17	185	40	189,27	0,98
160	1450	1,17	180	40	184,39	0,98
155	1439	1,19	180	35	183,37	0,98
150	1439	1,2	170	30	172,63	0,98
145	1433	1,22	170	25	171,83	0,99
140	1424	1,22	170	25	171,83	0,99
135	1419	1,27	170	25	171,83	0,99
130	1412	1,28	175	25	176,78	0,99

Dari Tabel 5.18 tersebut tegangan yang sesuai untuk torsi beban sebesar 0,5 Nm adalah 130 V karena pada beban sebesar ini motor masih berputar yang mendekati nominal dan besarnya daya masukan lebih kecil dengan faktor daya yang lebih besar.

18. Beban 0,4 Nm

Tabel 5.19. Beban 0.4 Nm

VLL (V)	Nr (rpm)	IL (A)	P (W)	Q (var)	S (VA)	COS PHI
220	1460	1,57	250	230	339,71	0,74
215	1463	1,49	250	200	320,16	0,78
210	1464	1,37	240	180	300,00	0,80
205	1462	1,26	230	160	280,18	0,82
200	1462	1,17	220	140	260,77	0,84
195	1460	1,09	210	120	241,87	0,87
190	1459	1,07	200	100	223,61	0,89
185	1456	1,06	200	90	219,32	0,91
180	1455	1,06	190	80	206,16	0,92
175	1452	1,06	185	70	197,80	0,94
170	1452	1,07	180	60	189,74	0,95
165	1449	1,07	170	50	177,20	0,96
160	1445	1,08	170	40	174,64	0,97
155	1444	1,08	170	40	174,64	0,97
150	1441	1,09	160	35	163,78	0,98
145	1435	1,1	160	30	162,79	0,98
140	1433	1,11	155	30	157,88	0,98
135	1424	1,14	150	25	152,07	0,99
130	1420	1,15	150	25	152,07	0,99
125	1420	1,18	150	20	151,33	0,99

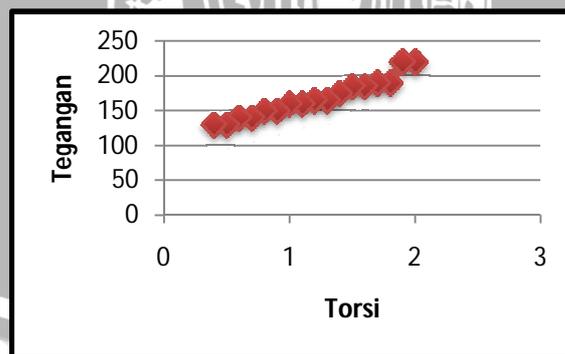
Dari Tabel 5.14 tersebut tegangan yang sesuai untuk torsi beban sebesar 0,4 Nm adalah 125 V karena pada beban sebesar ini motor

masih berputar yang mendekati nominal dan besarnya daya masukan lebih kecil dengan faktor daya yang lebih besar.

Dari hasil pengambilan data motor kapasitor tersebut didapatkan besar tegangan minimum yang masih dapat menanggung beban sehingga nantinya akan bisa diaplikasikan ke alat untuk dilakukan penghematan energi. Hasilnya adalah sebagai berikut.

Tabel 5.20. Besarnya tegangan yang akan diaplikasikan sesuai dengan besarnya torsi beban

Torsi (Nm)	Tegangan (V)
2,00	220
1,90	215
1,80	205
1,70	200
1,60	195
1,50	195
1,40	190
1,30	180
1,20	175
1,10	170
1,00	160
0,90	150
0,80	145
0,70	140
0,60	140
0,50	130
0,40	125



Gambar 5.11. Grafik hubungan tegangan masukan terhadap Torsi beban

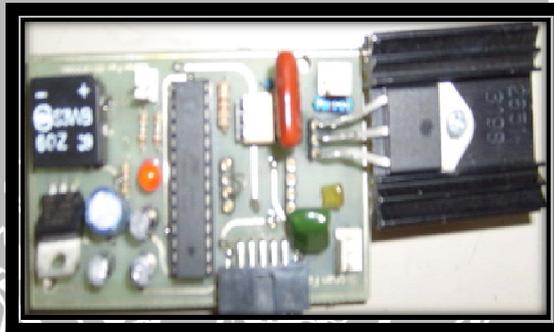
Dari tabel dan gambar tersebut bisa terlihat bahwa dengan torsi beban yang semakin kecil maka tegangan masukan yang dibutuhkan motor kapasitor juga akan semakin kecil.

5.6.4 Prosedur pengujian

1. Semua bagian penyusun alat penghemat energi motor kapasitor dihubungkan seperti pada Gambar 5.12.
2. Pada setiap perubahan beban sesuai tabel pada pengambilan data motor kapasitor, diamati perubahan arus, tegangan, dan dayanya.
3. Pada pengujian pertama beban yang digunakan adalah beban lampu.
4. Pengujian selanjutnya pada motor kapasitor.

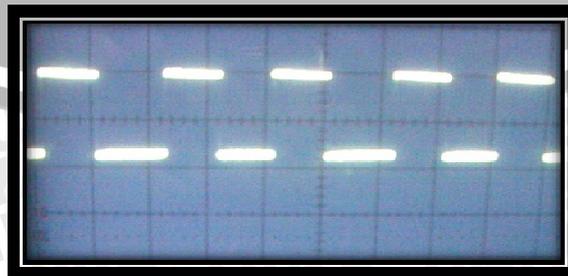
5.6.5 Hasil pengujian dan analisis

Berikut ini adalah gambar keseluruhan dari alat penghemat energi pada motor kapasitor.



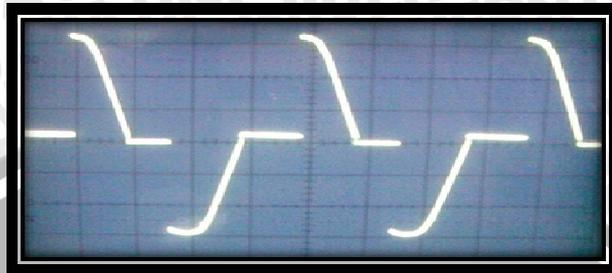
Gambar 5.13. Alat tampak atas

Sebelum dilakukan uji coba terhadap motor kapasitor, alat terlebih dahulu diuji pada beban lampu atau beban resistif. Dalam pengujian untuk beban resistif ini tidak diambil besaran-besarnya karena hanya memastikan alat dapat bekerja atau tidak. Berikut adalah gambar gelombang keluaran dari mikrokontroler.



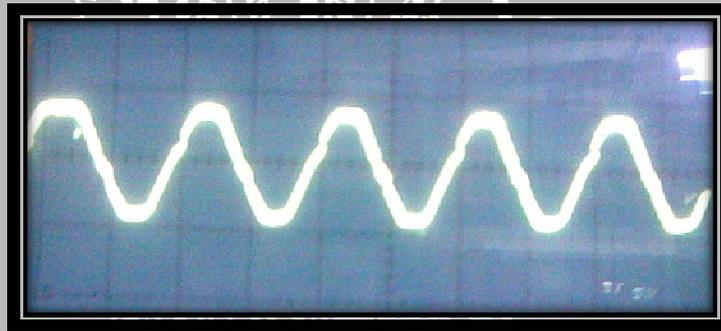
Gambar 5.14. Sinyal keluaran dari mikrokontroler

Gambar diatas adalah sinyal keluaran dari mikrokontroller saat sudut penyalan 90° yang nantinya akan memicu gate dari triac. Berikut ini adalah gambar keluaran dari triac.



Gambar 5.15. Sinyal keluaran dari triac (beban resistif) saat sudut penyalan 90°

Gambar dibawah ini adalah gelombang keluaran dari jala-jala PLN (220V) yang berbentuk sinusoida murni.



Gambar 5.16. Keluaran jala-jala PLN (220V)

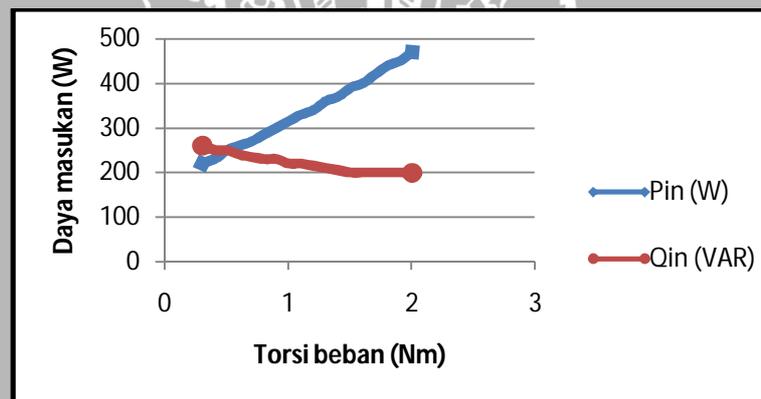
1. Hasil Pengujian Sebelum Menggunakan Alat Penghemat Energi Pada Motor Kapasitor

Tabel 5.21. Hasil pengujian sebelum menggunakan alat penghemat energi pada motor kapasitor

No.	$V_{\text{jala-jala}}$ (V)	Torsi Beban (Nm)	N_r (rpm)	I_{in} (masukan motor) (A)	P_{in} (W)	Q_{in} (Var)	S (VA)	COS PHI
1	220	2	1418	2,19	470	200	510,78	0,92
2	220	1,9	1419	2,07	450	200	492,44	0,91
3	220	1,8	1427	2,02	440	200	483,32	0,91
4	220	1,7	1432	1,94	420	200	465,19	0,90

No.	$V_{\text{jala-jala}}$ (V)	Torsi Beban (Nm)	N_r (rpm)	I_{in} (masuk motor) (A)	P_{in} (W)	Q_{in} (Var)	S (VA)	COS PHI
5	220	1,6	1434	1,9	400	200	447,21	0,89
6	220	1,5	1443	1,85	390	200	438,29	0,89
7	220	1,4	1443	1,8	370	205	423,00	0,87
10	220	1,3	1453	1,76	360	210	416,77	0,86
11	220	1,2	1453	1,72	340	215	402,27	0,85
12	220	1,1	1454	1,7	330	220	396,61	0,83
15	220	1	1451	1,68	315	220	384,22	0,82
16	220	0,9	1453	1,66	300	230	378,02	0,79
17	220	0,8	1460	1,65	285	230	366,23	0,78
18	220	0,7	1458	1,64	270	235	357,95	0,75
19	220	0,6	1462	1,63	260	240	353,84	0,73
20	220	0,5	1467	1,63	250	250	353,55	0,71
21	220	0,4	1478	1,63	230	250	339,71	0,68

Dari data di atas dapat dibuat grafik perbandingan antara daya nyata dan daya reaktif terhadap torsi.



Gambar 5.17. Grafik perbandingan antara daya nyata dan daya reaktif terhadap torsi sebelum menggunakan alat penghemat energi.

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa pada tegangan yang tetap (tegangan nominal 220V), semakin besar torsi beban maka P (daya nyata) akan semakin besar, dan juga sebaliknya pada Q (daya reaktif), semakin besar torsi beban maka Q akan semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa jika motor kapasitor diberi masukan tegangan nominal (220V) dan torsi di ubah-ubah, maka semakin kecil torsi beban daya reaktif yang dihasilkan juga besar, sehingga faktor dayanya juga akan semakin kecil.

Setelah diketahui besarnya nilai – nilai pada Tabel 5.21 maka bisa dihitung besarnya nilai dari daya keluaran motor dan efisiensinya. Berikut ini adalah perhitungan dari efisiensi dari motor saat sebelum pengaturan tegangan menggunakan alat penghemat energi pada torsi beban yang berbeda.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \dots\dots\dots(5.1)$$

dengan,

P_{out} = daya keluaran motor

P_{in} = daya masukan motor

$$P_{out} = \tau \times \omega \dots\dots\dots(5.2)$$

dengan,

τ = Torsi beban

ω = kecepatan sudut

$$P_{out} = \tau \times \frac{2 \times \pi \times n_r}{60} \dots\dots\dots(5.3)$$

dengan,

π = 3.14

n_r = kecepatan putar motor

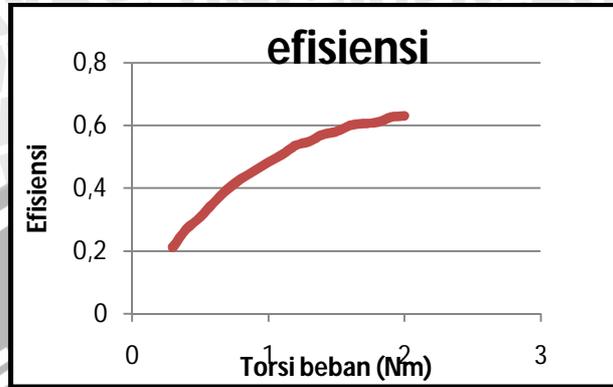
Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 5.22. Daya keluaran dan efisiensi saat sebelum menggunakan alat penghemat energi

Torsi Beban (Nm)	Pout (W)	Efisiensi
2	296,83	0,63
1,9	282,19	0,63
1,8	268,85	0,61
1,7	254,8	0,61
1,6	240,15	0,6
1,5	226,55	0,58
1,4	211,45	0,57
1,3	197,7	0,55
1,2	182,5	0,54
1,1	167,4	0,51
1	151,87	0,48
0,9	136,87	0,46
0,8	122,25	0,43
0,7	106,82	0,4
0,6	91,81	0,35
0,5	76,77	0,31
0,4	61,88	0,27



Dari data di atas bisa dibuat sebuah grafik efisiensi motor terhadap torsi beban. Berikut ini adalah efisiensi motor saat masih belum menggunakan alat penghemat energi.



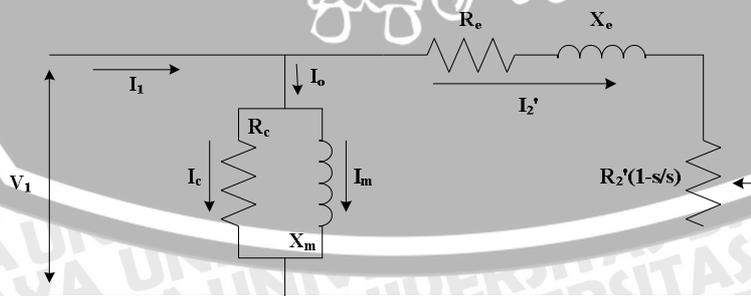
Gambar 5.18. Grafik efisiensi motor terhadap torsi sebelum menggunakan alat penghemat energi

Dari grafik dan hasil perhitungan di atas dapat dilihat bahwa semakin kecil torsi beban maka efisiensi motor akan semakin kecil.

Data hasil pengujian di atas adalah data pengujian secara praktek, perhitungan secara teori sebagai berikut.

Untuk mengetahui perhitungan secara teori dibutuhkan besarnya parameter-parameter pada motor, namun pada nameplate motor tersebut tidak dicantumkan besarnya parameter – parameter motor sehingga dibutuhkan pengujian terlebih dahulu untuk mengetahui parameter – parameter tersebut. Berikut ini adalah perhitungannya.

Rangkaian ekivalen motor induksi sebagai berikut

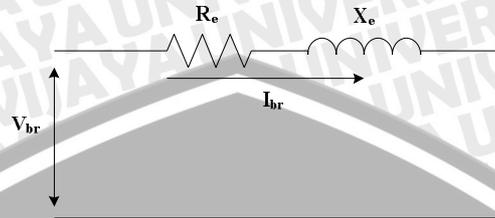


Gambar 5.19. Rangkaian ekivalen motor induksi

Sumber : Teknik Tenaga Listrik I, Ir. Soemarwanto (1988:52)

Untuk mendapatkan besarnya parameter – parameter motor dilakukan beberapa pengujian sebagai berikut:

- Pengujian blok rotor



Gambar 5.20. Rangkaian pengujian blok rotor motor induksi
 Sumber : Teknik Tenaga Listrik I, Ir. Soemarwanto (1988:32)

pada pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan besarnya R_e dan X_e .

Dari pengujian didapatkan

$$V_{br} = 80 \text{ V}$$

$$I_{br} = 2,4 \text{ A}$$

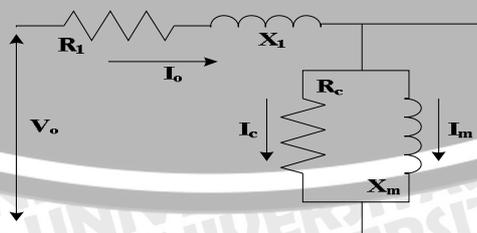
$$P_{br} = 170 \text{ W}$$

$$Z_{br} = \frac{V_{br}}{I_{br}} = \frac{80}{2,4} = 33,33 \Omega \dots\dots\dots(5.4)$$

$$R_e = \frac{P_{br}}{I_{br}^2} = \frac{170}{2,4^2} = 29,52 \Omega \dots\dots\dots(5.5)$$

$$X_e = \sqrt{Z_e^2 - R_e^2} = 15,48 \Omega \dots\dots\dots(5.6)$$

- Pengujian tanpa beban



Gambar 5.21. Rangkaian pengujian tanpa rotor motor induksi
 Sumber : Teknik Tenaga Listrik I, Ir. Soemarwanto (1988:31)



Dari pengujian didapatkan

$$V_o = 220 \text{ V}$$

$$I_o = 1,68 \text{ A}$$

$$P_o = 170 \text{ W}$$

Pada waktu keadaan tanpa beban, maka daya masuk yang terukur terdiri dari rugi inti (P_c), rugi tembaga beban nol dan rugi gesek bantalan serta angin.

$$P_o = P_c + I^2 R_e + P_{f+w} \dots\dots\dots(5.7)$$

Besarnya rugi tembaga dalam keadaan berbeban akan berubah sesuai dengan perubahan arus I, sedangkan rugi gesek bantalan serta angin besarnya tetap. Besarnya rugi gesek bantalan serta angin pada motor ini diketahui sebesar:

$$P_{f+w} = 10 \text{ W}$$

❖ Sebelum menggunakan alat penghemat energi

Untuk perhitungan secara teori ini dicontohkan satu perhitungan yang nantinya akan dibandingkan dengan hasil pengukuran yaitu pada saat sebelum menggunakan alat penghemat energi atau tegangan masih nominal (220 V) dan dengan torsi beban sebesar 0,4 Nm.

Pada saat tanpa beban dengan tegangan masukan 220 V didapatkan besarnya daya masukan yaitu :

$$P_o = 170 \text{ W (} P_o \text{ bisa dilihat pada tabel 5.2 saat tegangan 220 V)}$$

$$P_o = P_{\text{rugi-rugi}}$$

$$P_o = P_c + I^2 R_e + P_{f+w}$$

Pada saat berbeban 0,4 Nm dapat dihitung besarnya daya masukan motor yaitu:

$$P_{in} = P_{out} + P_{\text{rugi-rugi}} \dots\dots\dots(5.8)$$



P_{out} telah diketahui dari perhitungan sebelumnya saat torsi bebannya 0,4 sebesar :

$$P_{out} = 61,89 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} \text{Rugi tembaga atau } P_{cu} &= I^2 \times R_e \\ &= 1,63^2 \times 29,52 \\ &= 78,43 \text{ W} \end{aligned}$$

(I adalah besarnya arus masukan, saat beban 0,4 Nm, bisa dilihat pada Tabel 5.21)

$$\text{Rugi gesek bantalan serta angin } P_{f+w} = 10 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} \text{Rugi besi } P_c &= P_o - (P_{cu} + P_{f+w}) \\ &= 170 - (78,43 + 10) \\ &= 81,57 \text{ W} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} P_{in} &= P_{out} + P_{\text{rugi-rugi}} \\ &= P_{out} + P_c + P_{cu} + P_{f+w} \\ &= 61,89 + 81,57 + 78,43 + 10 \\ &= 231,89 \text{ W} \end{aligned}$$

Sehingga bisa dicari besarnya efisiensi

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{61,89}{231,89} = 0,27$$

2. Hasil Pengujian Setelah Menggunakan Alat Penghemat Energi Pada Motor Kapasitor

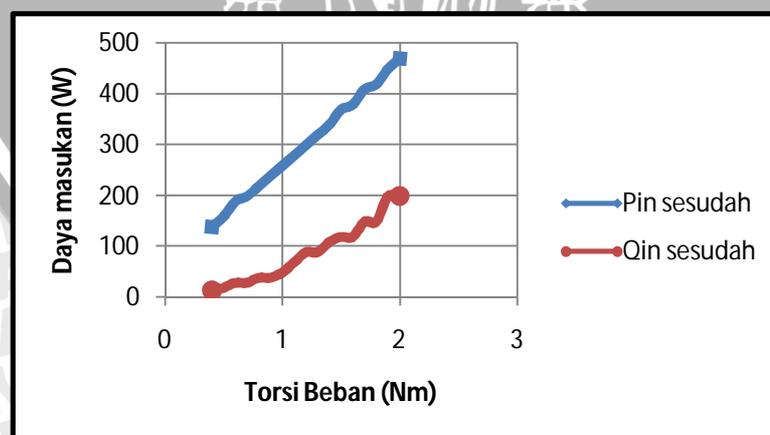
Dari hasil pengambilan data pada motor kapasitor dapat diketahui tegangan yang dibutuhkan sesuai dengan besarnya torsi beban sehingga bisa dilakukan penghematan energi pada motor kapasitor. Berikut ini adalah data yang diambil

dari motor kapasitor setelah adanya penyesuaian tegangan saat torsi beban berubah menggunakan pengaturan sudut penyalaan pada triac.

Tabel 5.23. Hasil pengujian alat penghemat energi pada motor kapasitor.

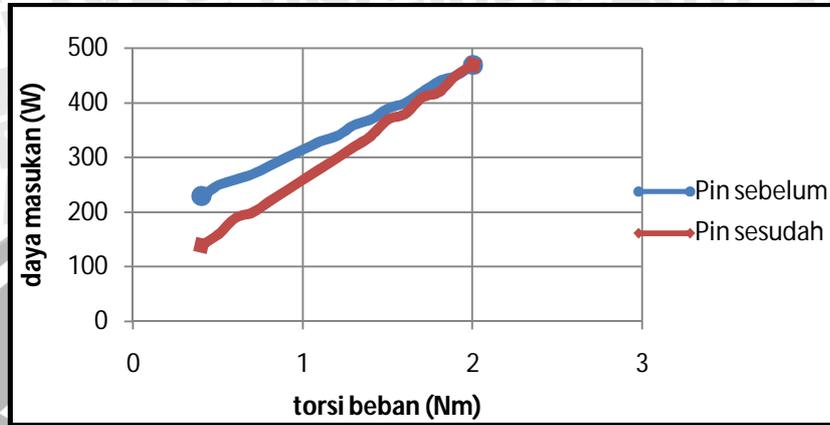
No.	Torsi Beban (Nm)	V-jala-jala (V)	N_r (rpm)	V_{in} (keluaran triac) (V)	I_{in} (keluaran triac) (A)	P_{in} (W)	Q_{in} (Var)	S (VA)	COS PHI
1	2	220	1418	220	2,19	470	200	510,78	0,92
2	1,9	220	1419	220	2,07	450	200	492,44	0,91
3	1,8	220	1403	200	1,88	420	150	445,98	0,94
4	1,7	220	1416	205	1,81	410	150	436,58	0,94
5	1,6	220	1426	195	1,69	380	120	398,50	0,95
6	1,5	220	1431	195	1,64	370	120	388,97	0,95
7	1,4	220	1425	190	1,52	340	110	357,35	0,95
8	1,3	220	1415	175	1,48	320	90	332,42	0,96
9	1,2	220	1430	180	1,38	300	90	313,21	0,96
10	1,1	220	1420	170	1,33	280	70	288,62	0,97
11	1	220	1420	160	1,26	260	50	264,76	0,98
12	0,9	220	1428	145	1,19	240	40	243,31	0,99
13	0,8	220	1432	150	1,08	220	40	223,61	0,98
14	0,7	220	1431	140	1,05	200	30	202,24	0,99
15	0,6	220	1443	140	0,97	190	30	192,35	0,99
16	0,5	220	1439	125	0,91	160	20	161,25	0,99

Setelah menggunakan alat penghemat energi didapatkan besaran besaran yang ditunjukkan pada grafik berikut ini.



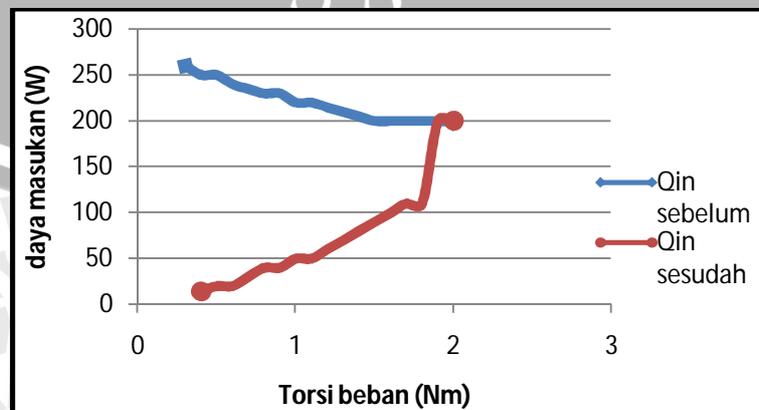
Gambar 5.22. Grafik perbandingan daya aktif dan daya reaktif terhadap torsi sesudah menggunakan alat penghemat energi

Gambar diatas menunjukkan daya nyata dan daya reaktif sesudah menggunakan alat penghemat energi dengan variasi torsi. Berikut ini adalah grafik perbandingan daya aktif sebelum dan sesudah menggunakan alat penghemat energi.



Gambar 5.23. Perbandingan daya masukan motor sesudah dan sebelum menggunakan alat penghemat energi

Gambar diatas merupakan perbandingan daya nyata (P) sebelum dan sesudah menggunakan alat penghemat energi. Grafik di atas menunjukkan bahwa semakin kecil torsi beban maka pengurangan tegangan akan membuat daya nyata (P) juga akan semakin kecil dibandingkan dengan sebelum dilakukan pengurangan tegangan. Dari sisi daya nyata (P) sudah bisa dilakukan penghematan energi. Perbandingan selanjutnya adalah perbandingan antara daya reaktif masukan (Q) sebelum dan sesudah menggunakan alat penghemat energi yang ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 5.24. Perbandingan daya reaktif motor sesudah dan sebelum menggunakan alat penghemat energi

Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa saat beban motor semakin kecil dan dilakukan pengurangan tegangan maka daya reaktifnya akan semakin kecil jauh dibandingkan dengan sebelum dilakukan pengurangan tegangan. Efisiensi dari motor diperoleh dari perhitungan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \dots\dots\dots(5.9)$$

dengan,

P_{out} = daya keluaran motor

P_{in} = daya masukan motor

$$P_{out} = \tau \times \omega$$

dengan,(5.10)

τ = Torsi beban

ω = kecepatan sudut

$$P_{out} = \tau \times \frac{2 \times \pi \times n_r}{60} \dots\dots\dots(5.11)$$

dengan,

$\pi = 3.14$

n_r = kecepatan putar motor

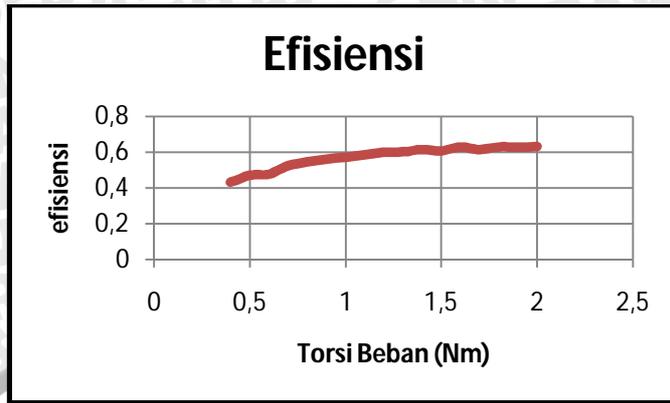
Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 5.24. Daya keluaran motor dan efisiensi setelah dilakukan pengurangan tegangan

Torsi Beban (Nm)	Pout motor (W)	efisiensi
2	296,83	0,63
1,9	282,19	0,63
1,8	264,33	0,63
1,7	251,95	0,61
1,6	238,81	0,63
1,5	224,67	0,61
1,4	208,81	0,61
1,3	192,53	0,60
1,2	179,61	0,60
1,1	163,49	0,58
1	148,63	0,57
0,9	134,52	0,56
0,8	119,91	0,55
0,7	104,84	0,52
0,6	90,62	0,48
0,5	75,31	0,47
0,4	60,50	0,43

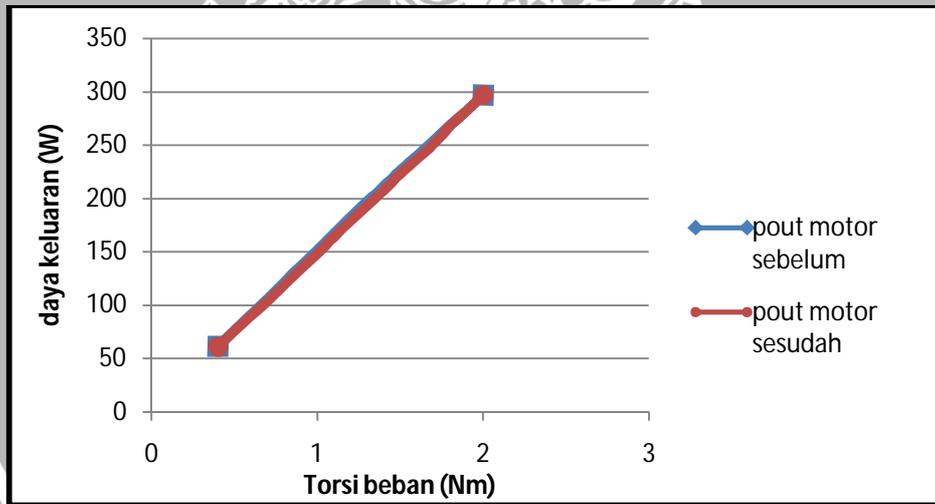


Berikut ini adalah grafik efisiensi terhadap torsi beban.



Gambar 5.25. Grafik efisiensi terhadap torsi setelah menggunakan alat penghemat energi

Setelah dilakukan perhitungan torsi motor maka dapat dibandingkan efisiensi sebelum dan sesudah menggunakan alat penghemat energi. Grafik di bawah ini menunjukkan perbandingan daya keluaran motor dan efisiensi sebelum dan sesudah menggunakan alat penghemat energi.



Gambar 5.26. Grafik daya keluaran motor sebelum dan sesudah menggunakan alat penghemat energi

Perhitungan secara teori dicontohkan satu perhitungan yang nantinya akan dibandingkan dengan hasil pengukuran yaitu pada saat sesudah menggunakan alat penghemat energi atau tegangan sudah dikurangi sesuai dengan torsi beban sebesar 0,4 Nm.

Pada saat tanpa beban dengan tegangan sebesar 125 V didapatkan besarnya daya masukan yaitu :

$$P_o = 50 \text{ W} \quad (P_o \text{ bisa dilihat pada tabel 5.2 saat tegangan 125 V})$$

$$P_o = P_{\text{rugi-rugi}}$$

$$P_o = P_c + I^2 R_e + P_{f+w}$$

Pada saat berbeban 0,4 Nm dapat dihitung besarnya daya masukan motor yaitu

$$P_{in} = P_{out} + P_{\text{rugi-rugi}}$$

P_{out} telah diketahui dari perhitungan sebelumnya saat torsi bebannya 0,4 sebesar :

$$P_{out} = 60,50 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} \text{Rugi tembaga atau } P_{cu} &= I^2 \times R_e \\ &= 0,91^2 \times 29,52 \\ &= 24,45 \text{ W} \end{aligned}$$

(I adalah besarnya arus masukan, saat beban 0,4 Nm, bisa dilihat pada Tabel 5.23)

Rugi gesek bantalan serta angin

$$P_{f+w} = 10 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} \text{Rugi besi } P_c &= P_o - (P_{cu} + P_{f+w}) \\ &= 50 - (24,45 + 10) \\ &= 15,55 \text{ W} \end{aligned}$$

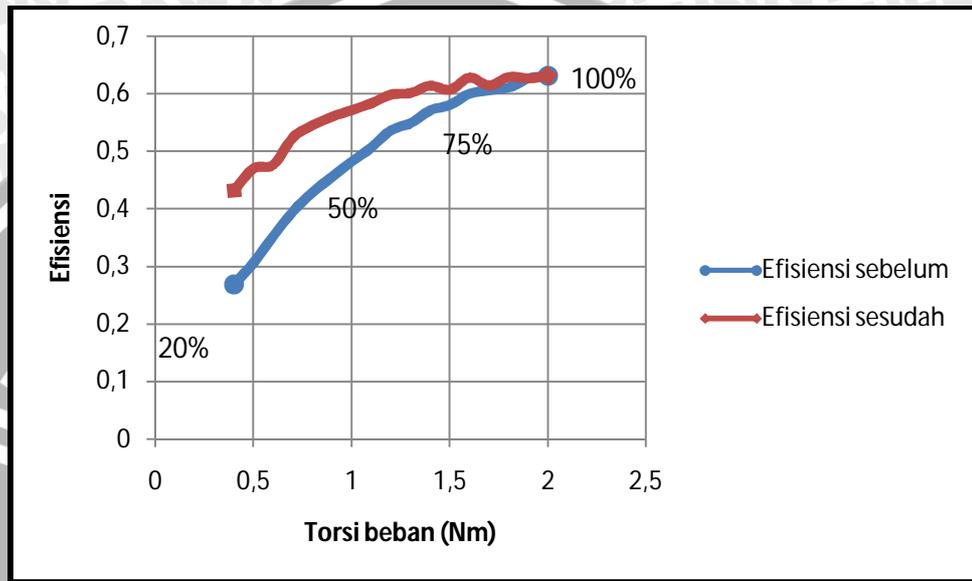
Sehingga:

$$\begin{aligned} P_{in} &= P_{out} + P_{\text{rugi-rugi}} \\ &= P_{out} + P_c + P_{cu} + P_{f+w} \\ &= 60,50 + 15,55 + 24,45 + 10 \\ &= 110,50 \text{ W} \end{aligned}$$

Sehingga bisa dicari besarnya efisiensi

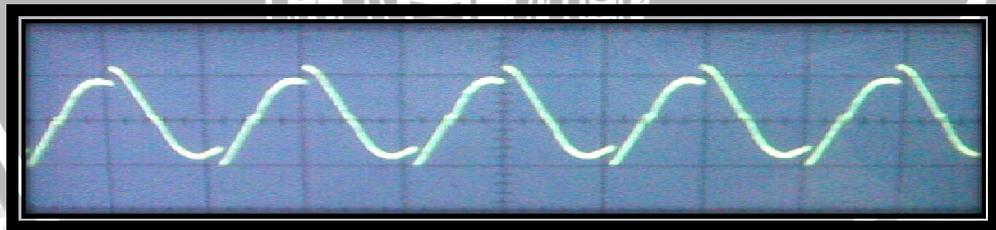
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{60,50}{110,50} = 0,55$$

Dari Gambar 5.26 dapat dilihat bahwa daya keluaran sebelum dan sesudah menggunakan alat penghemat energi mendekati sama, sehingga dengan daya keluaran yang mendekati sama dan daya masukan sesudah menggunakan alat penghemat energi semakin kecil maka efisiensi dari motor juga akan meningkat, hal ini dapat dilihat dari grafik di bawah ini.



Gambar 5.27. Grafik perbandingan efisiensi sebelum dan sesudah menggunakan alat penghemat energi

Tegangan keluaran dari triac saat berbeban motor setelah diatur sudut penyalannya adalah sebagai berikut:



Gambar 5.28. Sinyal keluaran dari triac saat dilakukan pengaturan sudut penyalan

Dari hasil data mengenai penghematan daya dan peningkatan efisiensi tersebut di atas bisa dihitung besarnya penghematan dalam rupiah. Perhitungannya sebagai berikut.

Tabel 5.25. Besar pemakaian tenaga listrik pada motor kapasitor.

Motor	Torsi (Nm)	Tegangan masukan (V)	Kebutuhan (watt)	Lama pemakaian (jam/hari)	Pemakaian tenaga listrik (kWh/hari)	kWh/bulan
Sebelum pengaturan tegangan	0,7	220	270	6	1,62	48,6
Sesudah pengaturan tegangan	0,7	200	200	6	1,2	36

Tabel di atas menunjukkan besar pemakaian tenaga listrik menggunakan motor kapasitor sesuai dengan yang dipakai dalam pengujian. Torsi yang ditunjukkan pada tabel di atas sebesar 0,7 Nm dan lama pemakaian diasumsikan selama 6 jam/hari karena, nilai ini diambil sesuai dengan kebutuhan maksimum pemakaian motor-motor listrik pada rumah tangga, misalnya pada pompa air. Sehingga di dapat nilai besar pemakaian seperti tabel di atas. Ketika tegangan masukan motor nominal (220V) maka daya masukan pada motor saat torsi 0,7 Nm sebesar 270 watt sehingga pemakaian tenaga listrik sebesar 48.6 kWh/bulan. sesuai dengan pengujian bahwa motor dengan torsi 0,7 Nm tidak perlu diberi masukan tegangan nominal, jadi sesuai dengan data pengujian bahwa dengan torsi beban 0,7 Nm, motor bisa diberi tegangan masukan sebesar 200 V sehingga daya masukan motor menjadi 200 watt dan jika diakumulasikan pemakaian energinya menjadi 36 kWh/bulan.

Setelah diketahui besar pemakaiannya, selanjutnya dilakukan perhitungan besarnya biaya yang harus dikeluarkan sesuai dengan konsumsi daya yang digunakan. Berikut ini adalah perhitungannya.

Tabel 5.26. Besar biaya listrik sebelum menggunakan alat penghemat energi.

	kWh/bulan	Tingkat Tarif	Tarif/KWh	Biaya/bulan	Biaya/tahun
Penggunaan	20	0 s.d 20 kWh	225	Rp 4.500,-	Rp 54.000,-
	28,6	20 s.d 60 kWh	360	Rp 10.296,-	Rp 123.552,-
		diatas 60 kWh	415		
Jumlah				Rp. 14.796,-	Rp. 177.552,-

Tabel di atas adalah perhitungan biaya sebelum menggunakan alat penghemat energi. Jenis tarif yang digunakan adalah tarif dasar listrik pada rumah tangga sesuai dengan yang diterapkan oleh PLN. Tingkat tarif pada tabel di atas adalah tingkatan besarnya penggunaan daya listrik dalam kWh sehingga

biaya yang dibebankan sesuai dengan banyaknya penggunaan tenaga listrik. Besarnya biaya setelah menggunakan alat penghemat energi adalah sebagai berikut.

Tabel 5.27. Besar biaya listrik setelah menggunakan alat penghemat energi.

	KWh/bulan	Tingkat Tarif	Tarif/KWh	Biaya/bulan	Biaya/tahun
Penggunaan	20	0 s.d 20 kWh	225	Rp 4.500,-	Rp 54.000,-
	16	20 s.d 60 kWh	360	Rp 5.760,-	Rp 69.120,-
		diatas 60 kWh	415		
Jumlah				Rp 10.260,-	Rp 123.120,-

Setelah menggunakan alat penghemat energi maka besarnya biaya akan didapat seperti tabel di atas. Dari kedua tabel biaya tersebut dapat dibandingkan besarnya biaya yang harus dikeluarkan selama satu tahun adalah.

Tabel 5.28. Perbandingan biaya listrik sebelum dan sesudah menggunakan alat penghemat energi.

Motor	Torsi (Nm)	Tegangan masukan (V)	Kebutuhan (watt)	Lama pemakaian (jam/hari)	Biaya/bulan	Biaya/tahun
Sebelum pengaturan tegangan	0,7	220	270	6	Rp 14.796,-	Rp 177.552,-
Sesudah pengaturan tegangan	0,7	200	200	6	Rp 10.260,-	Rp 123.120,-
Selisih					Rp 4.536,-	Rp 54.432,-

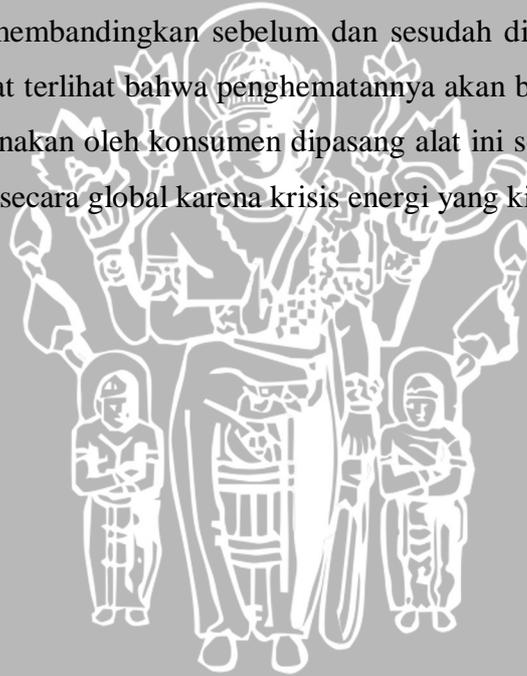
Dari tabel di atas terlihat bahwa selisih sesudah dan sesudah menggunakan alat penghemat energi dalam waktu satu tahun tidak terlalu besar karena ini masih penghematan pada satu motor saja. Jika alat ini diterapkan pada setiap motor yang ada maka besarnya perhematan akan berdampak besar dalam penghematan energi yang kita ketahui saat ini dalam keadaan krisis energi.

5.7 Kesimpulan Pengujian

Dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa penghematan energi dapat dilakukan dengan mengurangi tegangan masukan motor pada saat motor berbeban ringan. Penghematan energi tidak akan efektif bila beban motor lebih besar dari 0,75 beban nominal. Agar dapat bekerja secara otomatis maka perubahan tegangan dapat dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler dan pemasangan triac pada terminal motor.

Daya reaktif juga semakin kecil, hal ini berarti faktor daya saat berbeban kecil bisa diperbaiki dengan pengurangan tegangan. Sehingga efisiensi akan semakin baik jika dibandingkan dengan sebelum dilakukan pengurangan tegangan dengan daya keluaran motor yang mendekati tetap.

Setelah dilakukan perhitungan besarnya biaya pada motor kapasitor yang dilakukan dengan membandingkan sebelum dan sesudah dilakukan pengurangan tegangan maka dapat terlihat bahwa penghematannya akan besar jika setiap motor kapasitor yang digunakan oleh konsumen dipasang alat ini sehingga penghematan energi bisa tercapai secara global karena krisis energi yang kita hadapi sekarang.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Semakin kecil beban pada motor induksi, maka semakin kecil pula tegangan masukan yang diperlukan.
2. Pengurangan tegangan masukan motor induksi saat bebannya berkurang akan membuat daya masukannya juga akan semakin kecil sehingga bisa dilakukan penghematan energi.
3. Pembuatan alat yang dapat digunakan untuk mengurangi tegangan masukan pada motor kapasitor secara otomatis dapat dilakukan dengan menggunakan triac dengan mengatur sudut penyalanya menggunakan mikrokontroler.
4. Motor kapasitor yang digunakan dalam skripsi ini dapat dilakukan penghematan energi apabila beban motor berada di bawah 75% beban nominalnya.

6.2 Saran

Beberapa hal yang direkomendasikan untuk pengembangan lebih lanjut adalah:

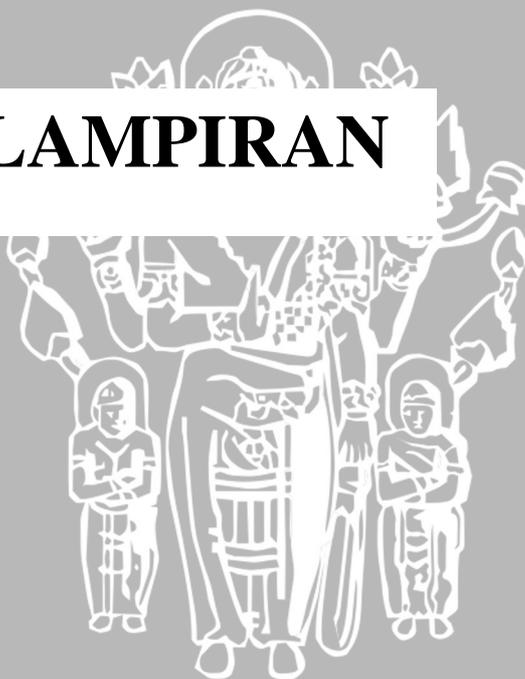
1. Perlu adanya pendingin pada triac karena pada pengaplikasian alat ini triac mudah sekali panas.
2. Sistem dapat digunakan untuk motor dengan kapasitas yang lebih besar dengan syarat triac yang digunakan memiliki kapasitas yang lebih besar pula.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmel. 2002. *ATmega8, 8-bit AVR Microcontroller with 8 kbytes in System Programable Flash*, www.datasheetarchive.com/datasheet-bb.html. Diakses tanggal: 20 maret 2009.
- Atmel. AVR182: Zero Cross Detector, <http://www.atmel.com>
- Boldea Ion, Nasar Syed.2002.*The Induction Machine Handbook*. Boca Raton London New York Washington, D.C.:CRC Press
- K.Bose Bimal. 2002. *Modern Power Electronics and AC Drives*. USA : Prentice Hall PTR
- Khater, F.M.H., Novotny, D.W., 1986, *An Equivalent Circuit Model for Phase Back Voltage Control of AC Machines, III Transaction on Industry Application Vol. IA-22*.
- L.Skvarenina Timothy. 2002. *the Power Electronics Handbook, industrial Electronics Series*. London : CRC Press
- Malvino, A.P. 1996. *Prinsip – Prinsip Elektronika*, edisi kedua. diterjemahkan oleh Hanapi Gunawan. Jakarta: Erlangga.
- P.Kazmierkowski Marian, R.Krishnan , Frede Blaabjerg. 2002. *Control in Power Electronics*. USA : Elsevier Science
- Santoso, Hari Ir. 2001. *Diktat Dasar Perancangan Mesin Elektrik*. Malang
- Soemarwanto, Ir. 1988. *Teknik Tenaga Listrik*.Malang
- Universitat Politecnica de catalunya. 2002. *Improvements in Direct Torque control of Induction Motors*. Terrassa

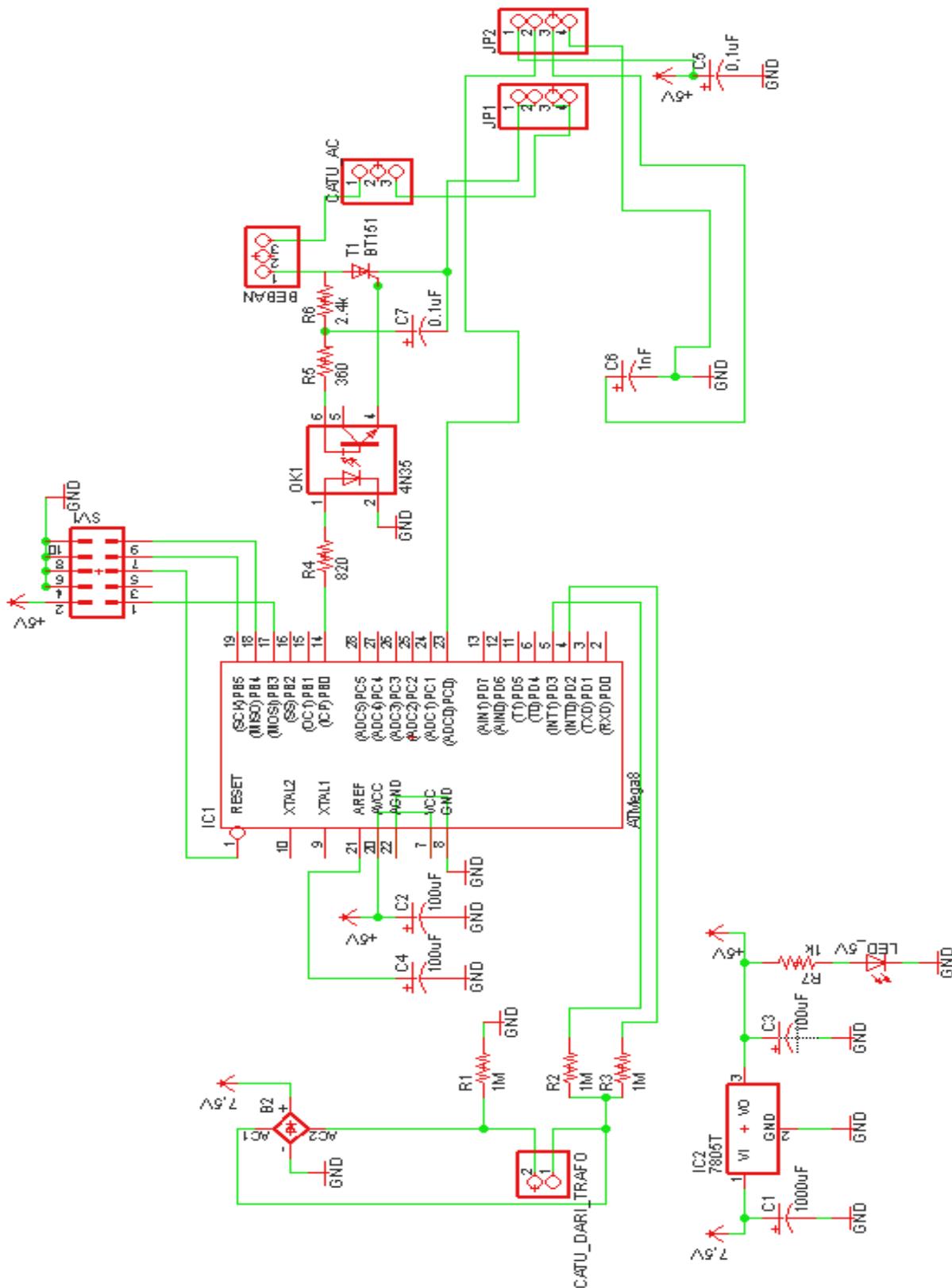
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN



LAMPIRAN I

Skema Alat

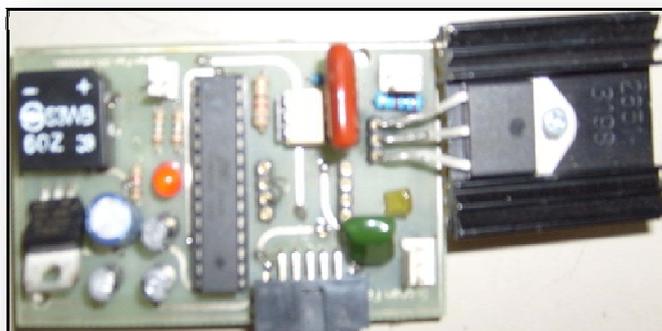


Gambar L.1. Skema alat keseluruhan

LAMPIRAN II

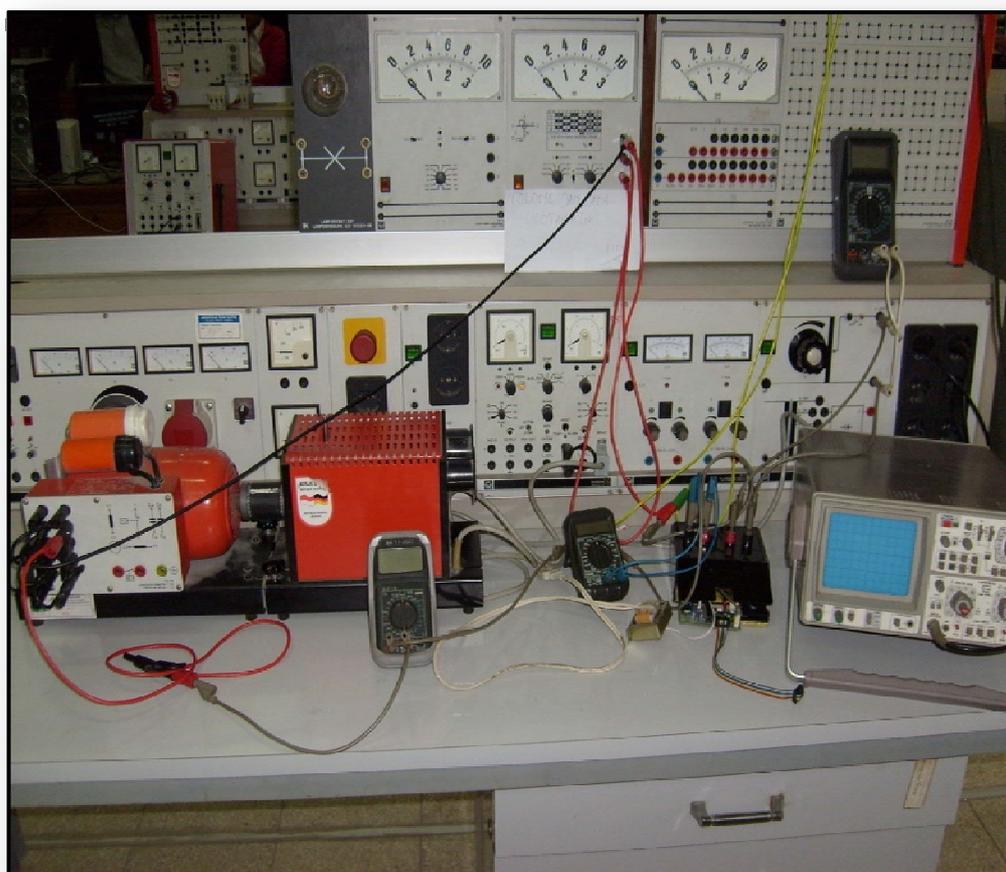
Foto Alat

Alat tampak atas



Gambar L.2. Alat tampak atas

Pengujian alat



Gambar L.1. Pengujian alat

LAMPIRAN III

Listing Program

This program was produced by the
CodeWizardAVR V1.25.7 beta 5 Standard
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2007 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
<http://www.hpinfotech.com>

Project :
Version :
Date : 18/11/2009
Author : Subhan Fajri
Company : Elektro UB
Comments:

Chip type : ATmega8
Program type : Application
Clock frequency : 8,000000 MHz
Memory model : Small
External SRAM size : 0
Data Stack size : 256

```
#include <mega8.h>
```

```
#include <delay.h>
```

```
char data_adc,sudut_adc,batas_min,batas_max,alpha;
```

```
#define ADC_VREF_TYPE 0x60
```

```
// ADC interrupt service routine
interrupt [ADC_INT] void adc_isr(void)
```

```
{
    ADCSRA.6 = 0;
    ADCSRA.7 = 0;
```

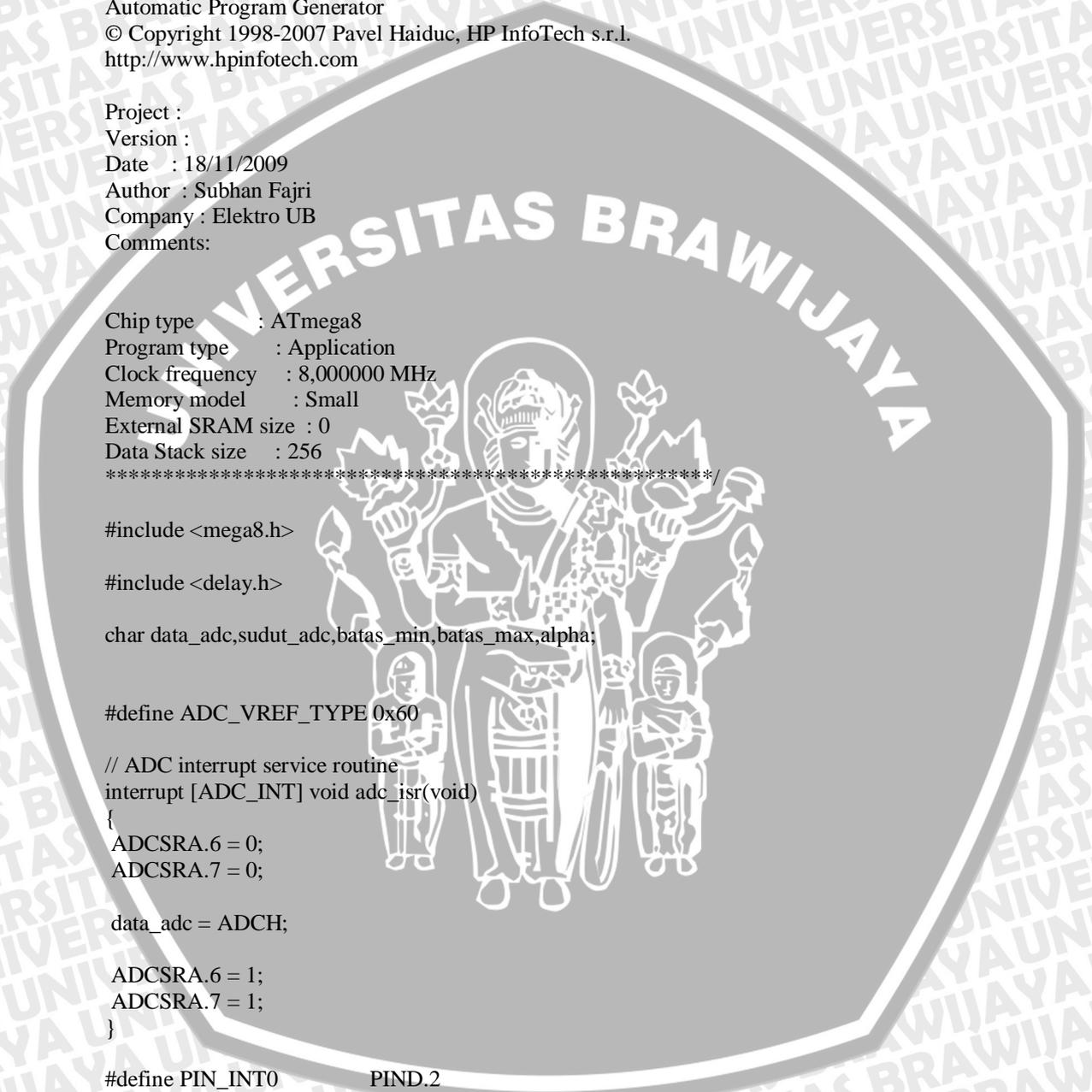
```
data_adc = ADCH;
```

```
ADCSRA.6 = 1;
ADCSRA.7 = 1;
```

```
}
```

```
#define PIN_INT0      PIND.2
#define PIN_INT1      PIND.3
#define OUTPUT        PORTB.0
```

```
#define T0_ON         TCCR0=0x05
#define T0_OFF        TCCR0=0
#define T2_ON         TCCR2=0x07
#define T2_OFF        TCCR2=0
```



```
char a;
unsigned char zero_rise,zero_fall;
unsigned int waktu,data,sudut;
```

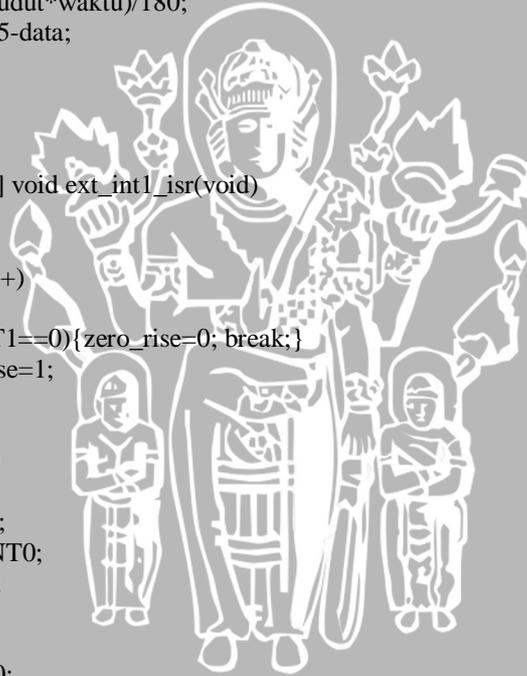
```
interrupt [EXT_INT0] void ext_int0_isr(void)
{
// falling edge
for (a=0;a<15;a++)
{
if (PIN_INT0==1){zero_fall=0; break;}
else zero_fall=1;
}
if (zero_fall==1)
{
zero_fall=0;
waktu=TCNT0;
waktu-=10;
TCNT0=0;

OUTPUT=0;
data=(int)(sudut*waktu)/180;
TCNT2=255-data;
T2_ON;
}
}
```

```
interrupt [EXT_INT1] void ext_int1_isr(void)
{
// rising edge
for (a=0;a<15;a++)
{
if (PIN_INT1==0){zero_rise=0; break;}
else zero_rise=1;
}
if (zero_rise==1)
{
zero_rise=0;
waktu=TCNT0;
waktu+=45;
TCNT0=0;

OUTPUT=0;
data=(int)(sudut*waktu)/180;
TCNT2=255-data;
T2_ON;
}
}
```

```
// Timer 2 overflow interrupt service routine
interrupt [TIM2_OVF] void timer2_ovf_isr(void)
{
// Place your code here
OUTPUT=1;
T2_OFF;
}
```



```
void main(void)
{
PORTB=0xFF;
DDRB=0xFF;

PORTC=0x00;
DDRC=0x00;

PORTD=0x00;
DDRD=0x00;

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 7.813 kHz
TCCR0=0x05;
TCNT0=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 7.813 kHz
// Mode: Normal top=FFh
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
//TCCR2=0x07;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: On
// INT0 Mode: Falling Edge
// INT1: On
// INT1 Mode: Rising Edge
GICR|=0xC0;
MCUCR=0x0E;
GIFR=0xC0;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x40;

ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 500,000 kHz
// ADC Voltage Reference: AVCC pin
// Only the 8 most significant bits of
// the AD conversion result are used
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xFF;
ADCSRA=0xCC;

// Global enable interrupts
#asm("sei")
```



```
sudut=0;
```

```
while(1)
{
```

```
    if ((data_adc<=0x81)&&(data_adc>=0x7B))
```

```
    {
        alpha=70;
```

```
    }
    else if ((data_adc<=0x88)&&(data_adc>=0x82))
```

```
    {
        alpha=75;
```

```
    }
    else if ((data_adc<=0x89)&&(data_adc>=0x8F))
```

```
    {
        alpha=90;
```

```
    }
    else alpha=0;
```

```
while(sudut<alpha)
```

```
{
    sudut+=1;
    delay_ms(1000);
}
```

```
sudut_adc=data_adc;
batas_min=sudut_adc-6;
batas_max=sudut_adc+6;
```

```
while ((sudut_adc>=batas_min)&&(sudut_adc<=batas_max))
```

```
{
    sudut_adc=data_adc;
}
```

```
while (sudut>0)
```

```
{
    sudut-=1;
    delay_ms(1000);
}
```

```
};
```

```
}
```

