

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN *LABORATORY*
WORKBENCH PENGENDALIAN KECEPATAN PUTARAN
MOTOR DC DENGAN PENGUATAN TERPISAH**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh:

TYAS KARTIKA SARI

NIM. 0510630101

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

MALANG

2010

LEMBAR PERSETUJUAN

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN *LABORATORY*
WORKBENCH PENGENDALIAN KECEPATAN PUTARAN
MOTOR DC DENGAN PENGUATAN TERPISAH**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:
TYAS KARTIKA SARI
NIM. 0510630101-63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Rini Nur Hasanah, ST., MSc
NIP. 19680122 199512 2 001

Adharul Muttaqin, ST.MT
NIP. 19760121 200501 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN LABORATORY
WORKBENCH PENGENDALIAN KECEPATAN PUTARAN
MOTOR DC DENGAN PENGUATAN TERPISAH**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**TYAS KARTIKA SARI
NIM. 0510630101-63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 26 Januari 2010

DOSEN PENGUJI

Ir. M. Julius St, MS.
NIP. 19540720 198203 1 002

Moch. Rif'an, ST., MT
NIP. 19710301 200012 1 001

Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D
NIP. 19730520 200801 1 013

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Rudy Yuwono, ST., M.Sc
NIP. 19710615 199802 1 003

PENGANTAR

Assalamualaikum wr.wb. Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik dari jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, bimbingan serta dorongan dari semua pihak penyelesaian skripsi ini tidak mungkin bisa terwujud. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu dan Bapak tercinta, yang telah banyak memberikan kasih sayang, dukungan dan doa yang tiada henti-hentinya.
2. Bapak Rudy Yuwono ST.,M.Sc selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak M.Aziz Muslim ST.,MT.,Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak M. Julius ST, Ir., MS selaku Ketua Dosen Keahlian Konsentrasi Elektronika.
5. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah ST.,M.Sc dan Bapak Adharul Muttaqin ST, MT selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini serta atas segala bentuk bantuan dan saran yang membangun.
6. Dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Sahabat-sahabatku Anggi, Nufa, dina, Shinta, Iyra, Dwi, Eko, Andi, Agung, Syauqy, Rizal, Ms Asep, Fajri, Fido yang telah banyak memberikan bantuan, dukungan dan semangatnya.
8. Rekan-rekan Asisten Laboratorium Elektronika Daya, Asisten Laboratorium Dasar Elektronika.
9. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro Brawijaya, keluarga besar Streamline terima kasih untuk semuanya.

10. Teman-teman kost Watu Mujur II/No.3 terima kasih atas dukungan dan kesediaannya mendengarkan segala curhatku. Mb' Sophy, Mb' Dyah terima kasih atas segala nasihatnya.

11. Semua rekan-rekan dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Semoga Allah Yang Maha Pengasih senantiasa memberikan karunia-Nya atas jasa dan bantuannya yang telah diberikan kepada penulis.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut. Wassalamualaikum wr.wb.

Malang, Januari 2010

Penulis



ABSTRAK

TYAS KARTIKA SARI. Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya. Januari 2010, *Perancangan dan Pembuatan Laboratory Workbench Pengendalian Kecepatan Putaran Motor DC dengan Penguatan Terpisah.*

Dosen Pembimbing : Dr. Rini Nur Hasanah ST.,M.Sc. dan Adharul Muttaqin ST, MT.

Kegiatan praktikum di jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya memegang peranan yang cukup penting dalam menunjang kegiatan perkuliahan. Selama ini peralatan yang ada di laboratorium yang ada di jurusan Teknik Elektro umumnya berasal dari luar negeri, oleh karenanya apabila terjadi kerusakan alat dan komponen maka akan terjadi kesulitan dalam pengadaan komponen dan pembenahan alat tersebut. Pembuatan *Laboratory Workbench* Pengendalian Kecepatan Putaran Motor DC dengan Penguatan Terpisah ini diharapkan dapat memberikan kemudahan-kemudahan dalam pelaksanaan praktikum. Perangkat keras utama dalam pembuatan alat ini yaitu penyearah terkontrol penuh satu fasa sebagai pengendali kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah yang menggunakan SCR sebagai komponen utama, mikrokontroler ATmega8535, optocoupler. Pengaturan kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah ini dilakukan dengan mengubah besar sudut penyalan SCR melalui *potensiorotary* yang besarnya sesuai dengan keinginan pengguna. Setelah pengguna menentukan besar sudut penyalan SCR, misalnya besar sudut penyalan SCR yang digunakan 90° , maka sesuai dengan software yang telah dibuat dalam mikrokontroler, mikrokontroler akan memberikan sinyal pemicuan pada gate SCR berupa logika 1 sesuai dengan besar sudut penyalan yang telah ditentukan. Apabila gate SCR telah terpicu dengan memberikan arus pemicuan pada gate SCR, maka SCR tersebut akan aktif sehingga penyearah terkontrol penuh satu fasa telah bekerja dan akan mengendalikan kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah. Keluaran penyearah terkontrol penuh satu fasa berupa tegangan searah yang dapat dikontrol besarnya dengan cara mengubah-ubah besar sudut penyalan SCR, sehingga dengan memberikan sudut penyalan yang berubah-ubah maka tegangan keluaran penyearah terkontrol penuh satu fasa juga akan berubah akibatnya kecepatan putaran motor DC juga akan berubah. Semakin besar fasa sudut penyalan SCR tegangan keluaran penyearah terkontrol penuh satu yang dihasilkan semakin kecil sehingga kecepatan putaran motor DC juga semakin kecil. Nilai sudut penyalan minimal yang bisa diberikan sebesar 30° . Tegangan keluaran rangkaian penyearah terkontrol penuh satu fasa berupa tegangan variabel dari 0 V – 191 V

Kata kunci: motor DC, pengaturan kecepatan, mikrokontroler ATmega8535

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	1
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Transformator	4
2.2 Zero Crossing Detector.....	5
2.3 Mikrokontroler ATmega8535	7
2.3.1 Analog to Digital Converter	12
2.3.2 Timer/counter	13
2.4 Optocoupler	17
2.5 SCR.....	18
2.6 Motor DC.....	24
2.7 Sensor Arus.....	28
BAB 3 METODOLOGI	30
3.1 Studi Literatur.....	30
3.2 Perancangan Alat.....	31

3.2.1	Spesifikasi Alat.....	31
3.2.2	Langkah-langkah Perancangan alat	32
3.3	Pembuatan Alat.....	32
3.3.1	Perangkat Keras	32
3.3.2	Perangkat Lunak	32
3.3.3	Pengujian Sistem Secara Keseluruhan	32
3.4	Pengujian Alat	32
3.4.1	Pengujian Rangkaian Pentriggeran SCR.....	33
3.4.2	Pengujian Rangkaian Optocoupler.....	33
3.4.3	Pengujian Zero Crossing Detector	33
3.4.4	Pengujian Sensor Arus	33
3.4.5	Pengujian Keseluruhan Sistem.....	33
3.5	Pengambilan Kesimpulan dan Saran	33
BAB 4 PERANCANGAN DAN PEMBUATAN		35
4.1	Perancangan Diagram Blok	35
4.2	Perancangan Perangkat Keras.....	40
4.2.1	Perancangan Perangkat Keras Rangkaian SCR	40
4.2.2	Perancangan Perangkat Keras Unit Pelindung.....	45
4.2.3	Perancangan Perangkat Keras Rangkaian Antar Muka Mikrokontroler ATmega8535	47
4.2.4	Perancangan Perangkat keras Rangkaian <i>Zero Crossing Detector</i>	48
4.3	Perancangan Perangkat Lunak.....	51
4.3.1	Perancangan Perangkat lunak <i>Zero Crossing Detector</i>	51
4.3.2	Perancangan Perangkat Lunak Pengaturan Sudut Penyalaan SCR.....	53
BAB 5 PENGUJIAN DAN ANALISIS		56
5.1	Pengujian dan analisis rangkaian pentriggeran SCR.....	56
5.1.1	Tujuan Pengujian	56
5.1.2	Peralatan Pengujian.....	56
5.1.3	Prosedur Pengujian	57



5.1.4	Data Pengujian	58
5.1.5	Analisis Data Pengujian	60
5.2	Pengujian Rangkaian Optocoupler	60
5.2.1	Tujuan Pengujian	60
5.2.2	Peralatan Pengujian	60
5.2.3	Prosedur Pengujian	61
5.2.4	Data Hasil Pengujian	62
5.2.5	Analisis Data Pengujian	63
5.3	Pengujian dan analisis Rangkaian <i>Zero Cross Detector</i>	64
5.3.1	Tujuan Pengujian	64
5.3.2	Peralatan Pengujian.....	64
5.3.3	Prosedur Pengujian	64
5.3.4	Data Pengujian	67
5.3.5	Analisi Data Pengujian.....	69
5.4	Pengujian dan Analisis Sensor Arus.....	69
5.4.1	Peralatan Pengujian.....	69
5.4.2	Prosedur pengujian.....	69
5.4.3	Hasil Pengujian dan Analisis	70
5.5	Pengujian dan Analisis Sistem Secara Keseluruhan.....	71
5.5.1	Tujuan	71
5.5.2	Peralatan.....	71
5.5.3	Rangkaian Pengujian.....	72
5.5.4	Prosedur pengujian.....	73
5.5.5	Data pengujian	74
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN.....		83
6.1	Kesimpulan.....	83
6.2	Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA.....		85
LAMPIRAN		86



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema Konversi Energi Trafo.....	4
Gambar 2.2 Gambar Schematic Zero Cross Detektor.....	5
Gambar 2.3 Sinyal kotak sebagai masukan interupsi eksternal mikrokontroler..	6
Gambar 2.4 Gambar tampilan osiloscope sinyal kotak masukan interupsi eksternal mikrokontroler.....	7
Gambar 2.5 Diagram Blok Mikrokontroler ATmega8535.....	9
Gambar 2.6 Konfigurasi Pin Mikrokontroler ATmega8535.....	10
Gambar 2.7 Diagram prescaler ADC.....	13
Gambar 2.8 Mode phase correct PWM.....	14
Gambar 2.9 Mode FAST PWM.....	15
Gambar 2.10 Optocoupler.....	17
Gambar 2.11 Komponen SCR.....	18
Gambar 2.12 Simbol dan Susunan SCR.....	18
Gambar 2.13 Karakteristik SCR.....	20
Gambar 2.14 Karakteristik gate.....	21
Gambar 2.15 Penyalan SCR.....	22
Gambar 2.16. Rangkaian Terkontrol Penuh Satu Fasa.....	23
Gambar 2.17. Daerah Kerja Penyearah Terkontrol Penuh Satu Fasa.....	23
Gambar 2.18. Bentuk Gelombang Penyearah Terkontrol Penuh Satu Fasa.....	24
Gambar 2.19. Konstruksi Motor DC.....	25
Gambar 2.20. Interaksi antara Medan Magnet dan Penghantar yang dialiri Arus.....	25
Gambar 2.21. Rangkaian Motor DC dengan Penguatan Terpisah.....	27
Gambar 2.22. Pin-Pin dari Sensor Arus.....	28
Gambar 2.23 Sensor Arus Type ACS712.....	29
Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem.....	35
Gambar 4.2 Grafik Karakteristik Tegangan pada SCR.....	37
Gambar 4.3 Grafik Karakteristik Arus yang Mengalir pada SCR.....	37
Gambar 4.4 Sinyal Keluaran Mikrokontroler yang Digunakan Sebagai Pengaturan sudut penyalan SCR.....	38
Gambar 4.5 sinyal masukan gate SCR.....	39
Gambar 4.6 Rangkaian Terkontrol Satu Fasa.....	41

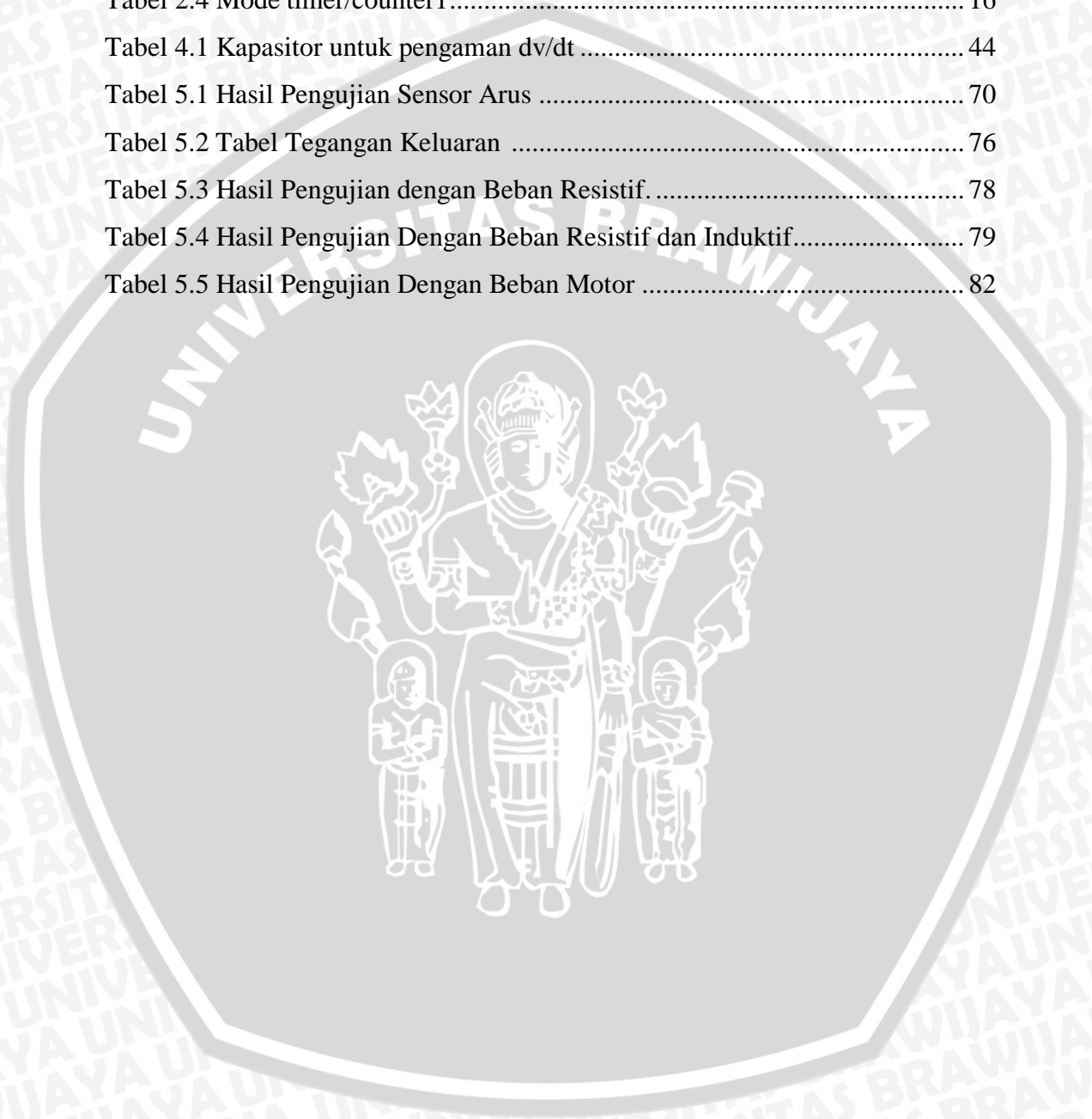


Gambar 4.7 Rangkaian Pentriggeran Gate SCR	41
Gambar 4.8 Langkah Kerja Perencanaan dan Pembuatan Rangkaian Terkontrol Penuh Satu Fasa	42
Gambar 4.9 Induktor pengaman di/dt	43
Gambar 4.10 Rangkaian pengaman dv/dt	44
Gambar 4.11 Rangkaian optocoupler.....	46
Gambar 4.12 Rangkaian Mikrokontroler ATmega8535.....	47
Gambar 4.13 Schematic Rangkaian Zero Crossing Detector	48
Gambar 4.14 Rangkaian Internal Zero Crossing Detector.....	49
Gambar 4.15 Rangkaian Eksternal Zero Crossing Detector	50
Gambar 4.16 Flowchart pada ExtIn0	51
Gambar 4.17 Flowchart pada ExtIn1	52
Gambar 4.18 Gelombang masukan pada mikrokontroler	52
Gambar 4.19 Sinyal Keluaran Zero Crossing Detector	53
Gambar 4.20 <i>Diagram Alir Perangkat Lunak Pengaturan Sudut Penyalaan SCR</i>	54
Gambar 5.1 Diagram Blok Pengujian Rangkaian Pentriggeran SCR.....	57
Gambar 5.2 Rangkaian Pengujian Pentriggeran SCR.....	58
Gambar 5.3 Sinyal Keluaran SCR	59
Gambar 5.4. Sinyal Keluaran SCR	59
Gambar 5.5 Beban Lampu Pijar.....	59
Gambar 5.6 Sinyal Keluaran SCR dengan Dioda sebagai Penyearah	60
Gambar 5.7 Diagram Blok Pengujian Rangkaian Optocoupler.....	64
Gambar 5.8 Rangkaian Pengujian Optocoupler	62
Gambar 5.9 Sinyal Keluaran Rangkaian Kuprok.....	63
Gambar 5.10 sinyal Keluaran dari Optocoupler Apabila dihubungkan dengan Mikrokontroler.....	63
Gambar 5.11 Sinyal Keluaran dari Optocoupler apabila tidak dihubungkan dengan mikrokontroler	63
Gambar 5.12 Rangkaian Zero Crossing Detector	65
Gambar 5.13 Diagram Alir Program Zero Crossing Detector	66
Gambar 5.14 Proses pembuatan program dalam bahasa C.....	67
Gambar 5.15 Pengujian rangkaian Zero Cross Detector	67

Gambar 5.16 Hasil Pengujian Rangkaian Zero Cross Detector yang Mendeteksi Adanya Interrupt pada Tepi Turun.....	68
Gambar 5.17 Hasil Pengujian Rangkaian Zero Cross Detector yang Mendeteksi Adanya Interrupt pada Tepi naik	68
Gambar 5.18 Hasil Pengujian Rangkaian Zero Cross Detector yang Mendeteksi Adanya Interrupt pada Tepi Turun dan Tepi naik.....	69
Gambar 5.19 Rangkaian Pengujian Sensor Arus	70
Gambar 5.20 karakteristik perubahan tegangan terhadap arus pada sensor arus ACS712.....	71
Gambar 5.21 Rangkaian Pengujian Keseluruhan	73
Gambar 5.22 Diagram Blok Pengujian Keseluruhan Sistem	74
Gambar 5.23 Pengujian Paralatan Penyearah Terkontrol Penuh Satu Fasa.....	74
Gambar 5.24 Gambar Gelombang Tegangan Keluaran Penyearah Terkontrol Penuh Satu Fasa hasil praktek.....	75
Gambar 5.25 Gambar Gelombang Tegangan Keluaran Penyearah Terkontrol Penuh Satu Fasa hasil simulasi	75
Gambar 5.26 Grafik Hasil Pengujian Rangkaian Penyearah Terkontrol Penuh Satu Fasa	78
Gambar 5.27 Grafik Hasil Pengujian Rangkaian Penyearah Terkontrol Penuh Satu Fasa	80
Gambar 5.28 Rangkaian Pengujian Penyearah Terkontrol Penuh satu fasa.....	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Fungsi tambahan dari port B.....	10
Tabel 2.2 Fungsi tambahan dari port D.....	11
Tabel 2.3 Mode timer/counter0.....	14
Tabel 2.4 Mode timer/counter1.....	16
Tabel 4.1 Kapasitor untuk pengaman dv/dt	44
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sensor Arus	70
Tabel 5.2 Tabel Tegangan Keluaran	76
Tabel 5.3 Hasil Pengujian dengan Beban Resistif.....	78
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Dengan Beban Resistif dan Induktif.....	79
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Dengan Beban Motor	82



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kesibukan bagi seorang mahasiswa pada dasarnya adalah mengikuti kegiatan perkuliahan. Di dalam perkuliahan mahasiswa akan memperoleh materi-materi yang disampaikan oleh dosen. Selain kegiatan perkuliahan seorang mahasiswa juga harus mengikuti kegiatan praktikum yang dilaksanakan di laboratorium. Praktikum sangat berguna untuk membantu dan memudahkan mahasiswa dalam memahami teori-teori yang telah diperoleh dalam perkuliahan, sehingga dengan adanya kegiatan praktikum mahasiswa dapat mempraktekkan apa yang telah diperoleh dari perkuliahan yang telah mereka ikuti.

Salah satu contoh kegiatan praktikum yang ada di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya adalah praktikum Elektronika Daya yang dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Daya. Peralatan untuk keperluan praktikum di Laboratorium Elektronika Daya sebagian besar berasal dari luar negeri, yaitu hasil kerja sama melalui proyek GTZ (*Deutsch Gessellschaft Fur Technische Zusammenarbiel GmbH*) yang bernama N55 antara pemerintah Indonesia dan pemerintah Jerman. Karena peralatan yang ada merupakan bantuan dari luar negeri, sehingga alat-alatnya pun dirakit di luar negeri. Komponen-komponennya juga berasal dari luar negeri, sehingga sering kali kalau ada kerusakan, suku cadang sulit diperoleh dan harganya juga relatif mahal karena harus diimpor dari luar negeri selain itu akan ditambah biaya bea cukai, pajak-pajak dan waktu pengiriman yang relatif lama.

Sebenarnya tujuan meningkatkan pemahaman teori melalui kegiatan praktikum di laboratorium dapat dilakukan tanpa harus menggunakan peralatan-peralatan bantuan dari luar negeri tersebut. Oleh karena itu skripsi ini dibuat dengan tujuan untuk merancang dan mewujudkan suatu *Laboratory Workbench* sehingga nantinya dapat digunakan untuk menggantikan peralatan yang ada di laboratorium apabila terjadi kerusakan. Pada skripsi ini akan dirancang suatu *Laboratory Workbench* Pengendalian Kecepatan Putaran Motor DC dengan Penguatan Terpisah.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang akan dibahas sebagai berikut:

- 1) Bagaimana kecepatan putaran motor DC dengan Penguatan Terpisah bisa diatur.
- 2) Bagaimana mengubah tegangan jangkar motor DC dengan menggunakan SCR (*Silicon Controlled Rectifier*).
- 3) Bagaimana suatu *Laboratory Workbench* untuk Pengendalian Kecepatan Putaran Motor DC dengan Penguatan Terpisah bisa dibuat.

1.3. Ruang Lingkup

Mengacu pada permasalahan yang ada maka dalam skripsi ini pembahasan hanya dibatasi pada:

1. Pembahasan *Laboratory Workbench* dikhususkan untuk sistem pengendalian kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah.
2. Motor yang digunakan adalah motor DC penguat terpisah yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:
 - Tegangan Jangkar : 220 V
 - Arus Jangkar : 2,2 A
 - Daya Motor : 0,3 kW
 - Tegangan Penguat (medan) : 220 V
 - Arus Medan : 0,45 A
 - n (kecepatan putaran) : 2000 rpm
3. Menggunakan mikrokontroler Atmega8535 sebagai pengendali sistem.
4. Beban yang digunakan pada motor berupa braker.
5. SCR digunakan sebagai komponen utama dalam rangkaian penyearah terkontrol penuh satu fasa.
6. Pembahasan difokuskan pada prinsip kerja dan analisa SCR sebagai rangkaian terkontrol penuh satu fasa yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah.
7. Pembahasan dibatasi pada rangkaian elektronika.

1.4. Tujuan

Tujuan penyusunan skripsi ini adalah merancang dan mewujudkan suatu *Laboratory Workbench* pengendalian kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah yang akan digunakan untuk meningkatkan pemahaman teori yang telah diperoleh di perkuliahan melalui kegiatan praktikum yang dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Daya.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Memuat teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan alat. Pengetahuan yang mendukung perencanaan dan perealisasiian dari *Laboratory Workbench* Pengendalian Kecepatan Putaran Motor DC dengan Penguatan Terpisah meliputi: Transformator, *Zero Crossing Detector*, ATmega8535, Optocoupler, SCR dan motor DC.

BAB III Metodologi

Memuat tahapan penyelesaian skripsi ini yang meliputi studi literatur, perancangan, pembuatan, pengujian, dan analisis serta pengambilan kesimpulan dan saran.

BAB IV Perancangan

Memuat perancangan dan pembuatan *Laboratory Workbench* Pengendalian Kecepatan Putaran Motor DC dengan Penguatan Terpisah.

BAB V Pengujian Alat

Memuat pengujian dan hasil analisis performansi dari *Laboratory Workbench* Pengendalian Kecepatan Putaran Motor DC dengan Penguatan Terpisah.

BAB VI Penutup

Memuat kesimpulan tentang *Laboratory Workbench* Pengendalian Kecepatan Putaran Motor DC dengan Penguatan Terpisah yang telah dibuat dan beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam merancang dan mewujudkan *Laboratory Workbench* pengendalian kecepatan putaran Motor DC dengan penguatan terpisah maka dibutuhkan pemahaman tentang berbagai hal yang mendukung sistem *Laboratory Workbench* pengendalian kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah. Pengetahuan yang mendukung perencanaan dan perealisasiian dari *Laboratory Workbench* meliputi Transformator, Metode *Zero Crossing Detector*, ATmega8535, Optocoupler, SCR dan motor DC penguat terpisah.

2.1. Transformator

Transformator dalam sistem *Laboratory Workbench* pengendalian kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah ini berfungsi untuk menurunkan tegangan masukan sumber PLN sebelum masuk ke komponen-komponen elektronika. Kata “Transformator” berasal dari kata “Transformasi” yang berarti “Perubahan”. Transformator atau biasa disingkat dengan kata Trafo adalah suatu peralatan listrik yang tidak berputar tetapi meneruskan tenaga listrik dari satu rangkaian ke rangkaian lain dengan frekuensi yang sama dan tegangan yang berubah melalui rangkaian magnetik (sirkuit magnetik). Skema konversi energi trafo dapat dilihat dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Skema Konversi Energi Trafo

Trafo pada sistem tenaga listrik disebut Trafo Tenaga. Trafo tenaga dibedakan menjadi 2 macam, yaitu :

1. Step up transformer atau trafo penaik tegangan
Berfungsi untuk menaikkan tegangan pusat pembangkit menjadi tegangan tinggi untuk ditransmisikan.

2. Step down transformer atau trafo penurun tegangan

Berfungsi untuk menurunkan tegangan saluran transmisi ke tegangan yang lebih rendah

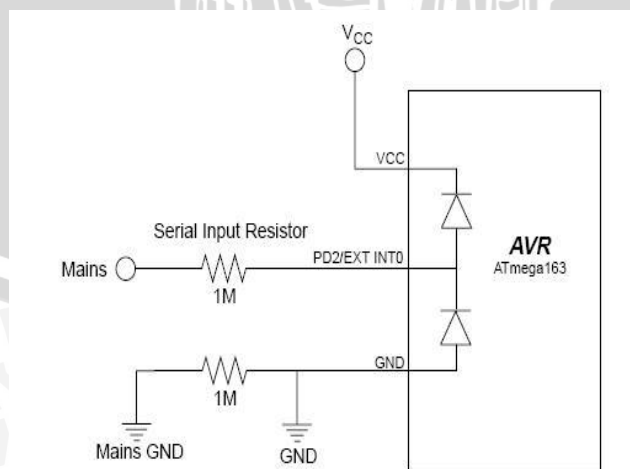
Di samping itu dikenal pula transformasi distribusi untuk merubah tegangan distribusi primer ke tegangan distribusi sekunder untuk didistribusikan ke konsumen.

Transformator dapat digunakan sebagai berikut :

- Untuk menyesuaikan tegangan setempat dengan tegangan pada peralatan listrik
- Untuk mengadakan pengukuran dari besaran listrik. Trafo yang dipergunakan untuk mengadakan pengukuran dari besaran listrik disebut trafo instrumen.
- Dalam bidang elektronika, trafo digunakan sebagai gandengan impedansi sumber dan beban, untuk memindahkan satu rangkaian dari rangkaian yang lain, untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan arus bolak-balik antara rangkaian.

2.2. Zero Crossing Detector

Zero Crossing Detector dalam sistem *Laboratory Workbench* pengendalian kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah ini berfungsi untuk mengetahui kapan sinyal masukan pada mikrokontroler bernilai nol. Hardware pemroses sinyal menggunakan dasar *zero crossing detektor* pada mikrokontroler ATmega8535. Rangkaian *zero crossing detektor* ditunjukkan dalam Gambar 2.2



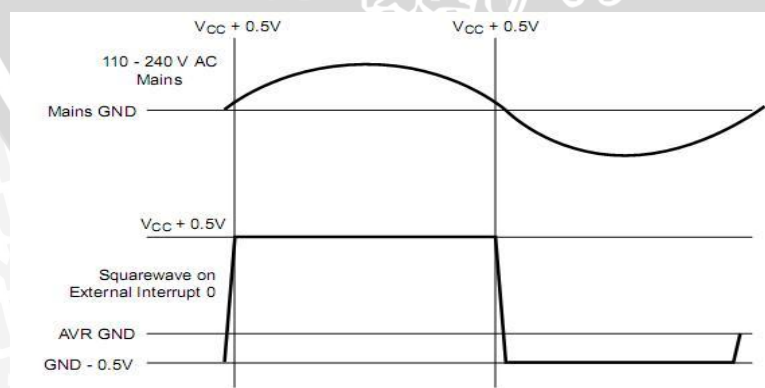
Gambar 2.2. Gambar Schematic Zero Cross Detektor
Sumber: Atmel, 2003: 2

Untuk melindungi Mikrokontroler dari tegangan diatas V_{CC} dan dibawah GND, mikrokontroler mempunyai dioda clamping internal pada pin I/O. Dioda tersebut terhubung dari pin ke V_{CC} dan GND, yang berfungsi menjaga semua sinyal masukan sesuai dengan tegangan operasi dari mikrokontroler. Semua tegangan yang lebih besar dari $V + 0,5V$ akan dipaksa turun sampai tegangan $V + 0,5V$ (0,5 adalah jatuh tegangan pada dioda). Dan semua tegangan dibawah GND $- 0,5V$ akan dipaksa naik sampai tegangan GND $- 0,5V$.

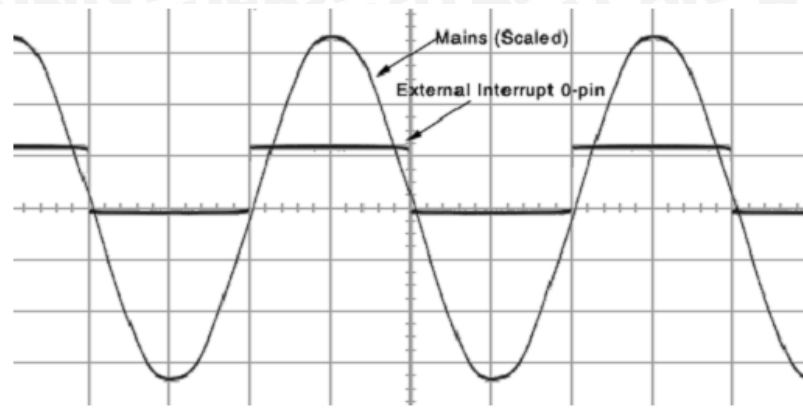
Dengan menambahkan sebuah resistor seri yang besar, dioda tersebut dapat digunakan untuk mengubah sebuah sinyal sinusoida tegangan tinggi menjadi sebuah sinyal kotak tegangan rendah dengan amplitudo tegangan yang sesuai dengan tegangan operasional mikrokontroler, karena dioda tersebut menyesuaikan tegangan tinggi masukan menjadi tegangan operasional mikrokontroler.

Sinyal kotak tegangan rendah sefasa 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 *zero cross* yang akurat dengan kode pemrograman yang singkat dan berbasiskan interupsi. Sinyal kotak sebenarnya adalah sinyal sinusoida AC dengan puncak positifnya terpotong pada tegangan $V_{CC} + 0,5V$ dan GND $- 0,5V$ seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.3.

Sinyal kotak tersebut terhubung dengan pin interupsi eksternal dari mikrokontroler sehingga memungkinkan untuk meletakkan rutin deteksi zero cross dalam rutin interupsi. Sinyal masukan sebenarnya ditunjukkan dalam Gambar 2.4



Gambar 2.3. Sinyal kotak sebagai masukan interupsi eksternal mikrokontroler
Sumber: Atmel, 2003: 3



Gambar 2.4. Gambar tampilan osiloscope sinyal kotak masukan interupsi eksternal mikrokontroler
Sumber: Atmel, 2003: 3

Dengan terdeteksinya sebuah *zero cross* (terjadi interupsi eksternal pada mikrokontroler) maka dapat diketahui adanya sebuah satu siklus gelombang yang terjadi. Karena interval antara terjadinya *zero cross* (ditandai dengan sebuah interupsi eksternal) sama dengan periode dari satu buah gelombang sinusoida masukan.

2.3. Mikrokontroler ATmega8535

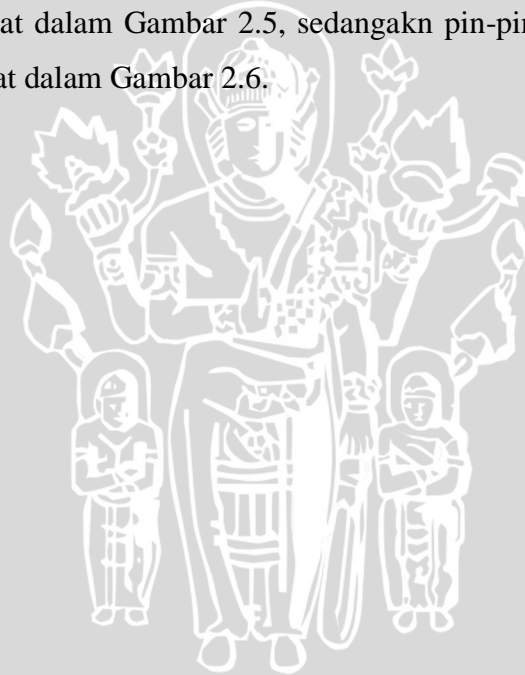
Mikrokontroler dalam sistem *Laboratory Workbench* pengendalian kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah ini berfungsi sebagai pengontrol sistem secara keseluruhan. Mikrokontroler ATmega8535 merupakan mikrokontroler AVR 8 bit buatan ATMEL terintegrasi dalam satu buah keping IC (*Integrated Circuit*). AVR menggunakan arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computing*) 8 bit. AVR pertama kali diperkenalkan pada tahun 1996.

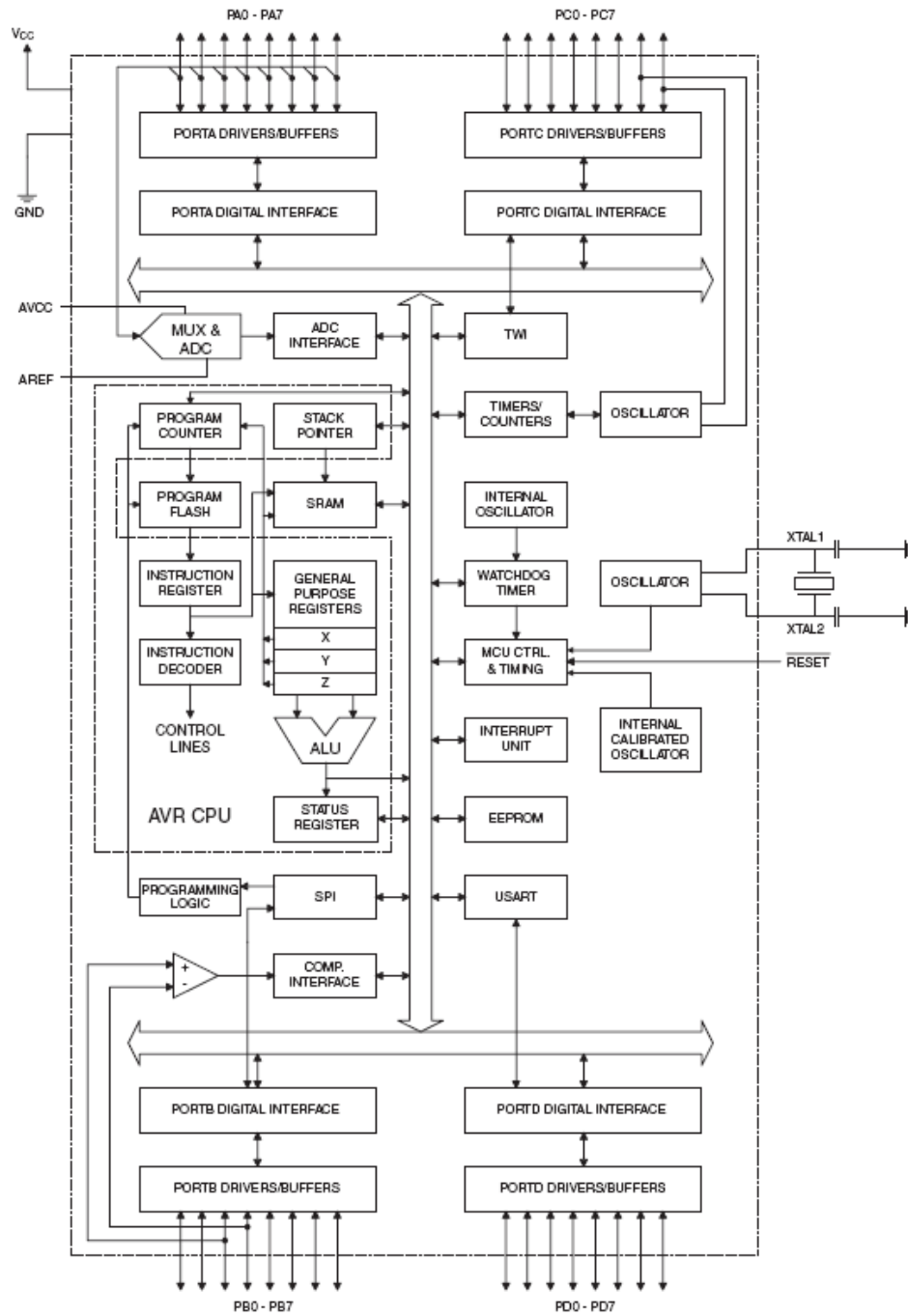
AVR mengkombinasikan arsitektur RISC, memori *flash* internal dan jumlah register yang besar (32 buah) untuk memperoleh ukuran kode program, kinerja dan konsumsi daya yang optimal. Sebagian besar instruksi AVR dieksekusi dalam satu siklus *clock*. Kelebihan lainnya, arsitektur AVR dirancang untuk bekerja secara efisien menggunakan bahasa tingkat tinggi C.

AVR menggunakan konsep arsitektur Harvard dengan memori dan bus terpisah untuk data dan program. Lebar bus program pada AVR adalah 16 bit, sedangkan lebar bus data adalah 8 bit. Memori program dieksekusi dengan *pipeline* satu tingkat. Saat instruksi sedang dieksekusi, instruksi selanjutnya dibaca dari memori program. Konsep ini memungkinkan instruksi dieksekusi dalam tiap-tiap siklus *clock*.

Mikrokontroler ini terdiri atas *CPU, on chip clock, timer, paralel* dan *serial I/O, RAM (Random Accesses Memory), dan EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory)*. Gambar 1 menunjukkan blok diagram mikrokontroler ATmega8535. Mikrokontroler ATmega8535 adalah sebuah mikrokontroler CMOS 8-bit performa tinggi yang hemat daya dengan 8 kbytes *downloadable Flash programmable and erasable read-only memory (Flash PEROM)* dan 512 bytes EEPROM dan 1 kbytes SRAM internal.

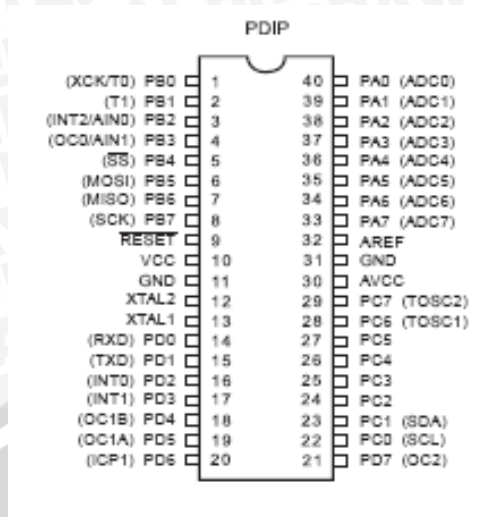
Mikrokontroler ini dibuat menggunakan teknologi *high-density nonvolatile memory* milik Atmel. *On-chip downloadable* Flash memungkinkan memori program untuk diprogram ulang di dalam sistem melalui sebuah antarmuka serial SPI atau dengan sebuah programmer memori nonvolatile yang konvensional. Dilengkapi dengan 8 ADC (*Analog to Digital Converter*) internal. Blok diagram mikrokontroler ATmega8535 dapat dilihat dalam Gambar 2.5, sedangkan pin-pin dari mikrokontroler ATmega8535 dapat dilihat dalam Gambar 2.6.





Gambar 2.5. Diagram Blok Mikrokontroler ATmega8535
 Sumber: ATmega8535 datasheet





Gambar 2.6. Konfigurasi Pin Mikrokontroler ATmega8535
 Sumber: ATmega8535 datasheet

Penjelasan masing-masing pin:

1. VCC Power supply
2. GND Ground
3. AREF Analog input referensi untuk ADC
4. AVCC Power supply untuk ADC
5. RESET Merupakan pin yang digunakan untuk mereset mikrokontroler.
6. XTAL1 Input untuk inverting oscillator amplifier dan input bagi clock internal.
7. XTAL2 Output inverting oscillator amplifier.
8. PORT A Port A merupakan Port I/O 8 bit dua arah dengan pull-up internal sekaligus sebagai input analog untuk ADC.
9. PORT B Port B merupakan Port I/O dua arah . Fungsi tambahan dari Port B seperti yang terlihat dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1. Fungsi tambahan dari port B

• Port Pin	• Fungsi tambahan
• PB7	• SCK (Bus serial clock SPI)
• PB6	• MISO (Bus Master Input/Slave Output SPI)
• PB5	• MOSI (Bus Master Output/Slave Input SPI)
• PB4	• SS (Pemilih input slave SPI)
• PB3	• OCO (output compare match pada timer/counter 0), AN1 (Input inverting analog komparator)
• PB2	• AN2 (Input noninverting analog komparator)



	INT0
• PB1	• T1 (Input counter pada timer/counter 1)
• PB0	• T0 (Input counter pada timer/counter 0), XCK (Input/output klok eksternal dari USART)

Sumber: ATmega8535 datasheet

10. PORT C Port C merupakan Port I/O dua arah dan pin fungsi khusus yaitu TWI, komparator analog, dan Timer Oscillator.

11. PORT D Port D merupakan Port I/O dua arah . Fungsi tambahan dari Port D seperti yang terlihat dalam Tabel 2.2.

- Tabel 2.2. Fungsi tambahan dari port D

• Port pin	• Fungsi tambahan
• PD7	• OC2 (Output Compare pada timer/counter 2)
• PD6	• ICP1
• PD5	• OC1A (Output compare A pada timer/counter 1)
• PD4	• OC1B (Output Compare B pada timer1)
• PD3	• INT1 (Interupt eksternal 1)
• PD2	• INT0 (Interupt eksternal 0)
• PD1	• TXD (output pin pada USART)
• PD0	• RDX (Input pin pada USART)

Sumber: ATmega8535 datasheet

Mikrokontroler ATmega8535 dilengkapi dengan fasilitas-fasilitas sebagai berikut:

- 32x8 bit register serbaguna;
- 8 Kbyte Downloadable Flash memori;
- 512 byte EEPROM;
- 1 kbytes SRAM internal;
- 8 ADC (*Analog to Digital Converter*);
- 4 buah PWM;
- Analog komparator;
- 23 programmable I/O;
- 40 pin PDIP;
- 1 buah timer/counter 16 bit;

- 2 buah timer/counter 8 bit;
- programmable UART (serial port);
- SPI serial interface;
- Programmable watchdog timer;
- Internal osilator;
- Frekuensi kerja 0 sampai 8 MHz; dan
- Tegangan operasi antara 2,7 volt sampai 5,5 volt.

2.3.1 Analog To Digital Converter (ADC)

Mikrokontroler ATmega8535 memiliki fasilitas Analog To digital Converter (ADC) yang sudah built-in dalam chip. Mikrokontroler ATmega8535 memiliki resolusi ADC 10-bit dengan 8 channel input dan mendukung 16 macam penguat beda. Rangkaian internal ADC ini memiliki catu daya tersendiri yaitu pin AVCC. Tegangan AVCC harus sama dengan $VCC \pm 0.3$ V. Data hasil konversi ADC dirumuskan sebagai berikut:

- Untuk konversi tunggal

$$ADC = \frac{V_{IN} \cdot 1024}{V_{REF}} \quad (2-1)$$

V_{in} : tegangan masukan pada pin yang dipilih

V_{ref} : tegangan referensi yang dipilih

- Untuk penguat beda

$$ADC = \frac{(V_{POS} - V_{NEG}) \cdot GAIN 512}{V_{REF}} \quad (2-2)$$

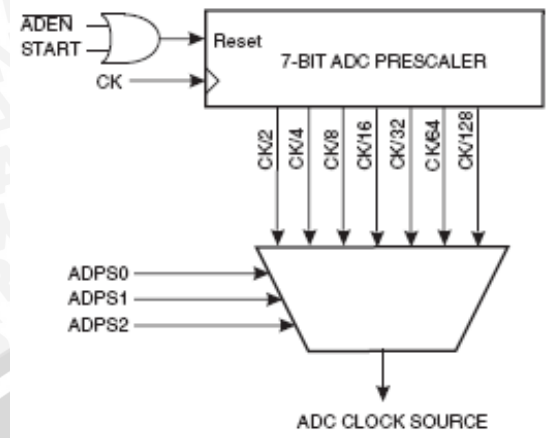
V_{pos} : tegangan masukan pada pin positif

V_{neg} : tegangan masukan pada pin negatif

Gain : faktor penguatan

V_{ref} : tegangan referensi yang dipilih

Untuk mengatur mode dan cara kerja ADC dilakukan melalui register ADMUX, ADCSRA, ADCL, ADCH dan SFIOR. Untuk penjelasan lebih lanjut mengenai register-register tersebut dapat dilihat dalam lampiran datasheet mikrolontroler ATmega8535. Modul ADC memiliki *prescaler* untuk mengatur besar *clock* pada ADC yang pada akhirnya akan mengatur kecepatan konversi ADC. Gambar 2.7 ini menjelaskan diagram *prescaler* ADC :



Gambar 2.7. Diagram prescaler ADC
Sumber : ATmega8 datasheet, 2006

Meskipun ADC memiliki resolusi 10 bit, tetapi hasil pembacaan ADC bisa disesuaikan menjadi 8 bit.

2.3.2 Timer/Counter

Mikrokontroler ATmega8535 memiliki 3 modul timer yang terdiri dari 2 buah timer/counter 8-bit dan 1 buah timer/counter 16-bit. Ketiga modul timer/counter ini dapat diatur dalam mode yang berbeda secara individu dan tidak saling mempengaruhi satu sama lain. Selain itu semua timer/counter juga dapat difungsikan sebagai sumber interupsi. Masing-masing timer/counter memiliki register tertentu yang digunakan untuk mengatur mode dan cara kerjanya tetapi ada dua register yang digunakan secara bersama-sama yaitu register TIMSK dan register TIFR.

2.3.2.1 Timer/Counter0

Timer/counter0 merupakan modul timer/counter 8-bit yang dapat berfungsi sebagai pencacah tunggal, pembangkit PWM 8-bit, pembangkit frekuensi, pencacah kejadian eksternal, pembangkit interupsi *overflow* dan pembangkit interupsi *compare match*. Mode kerja timer/counter0 dapat ditentukan dengan mengatur register TCCR0, TCNT0, OCR0 serta TIMSK dan TIFR. Mode operasi timer/counter 0 digambarkan dalam Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3. Mode Timer/Counter 0

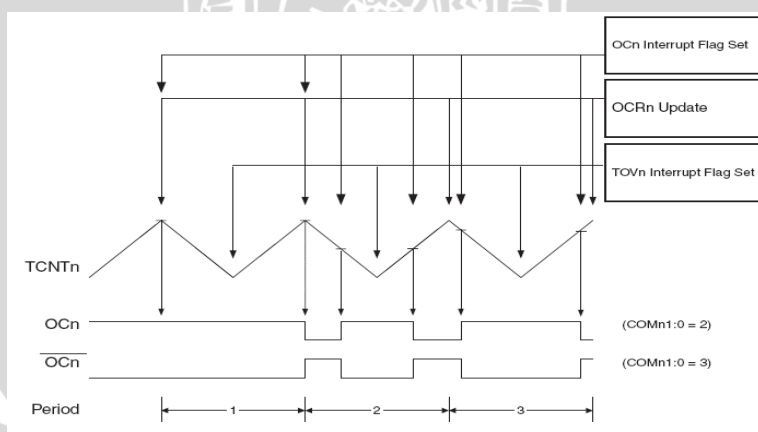
Mode	WGM01 (CTC0)	WGM00 (PWM0)	Mode of Operation	TOP	Update of OCR0	TOV0 Flag Set on
0	0	0	Normal	0xFF	Immediate	MAX
1	0	1	PWM, Phase Correct	0xFF	TOP	BOTTOM
2	1	0	CTC	OCR0	Immediate	MAX
3	1	1	Fast PWM	0xFF	BOTTOM	MAX

a) Mode 0

Timer/counter 0 berfungsi sebagai pencacah tunggal yang dapat mencacah dari 0x00 sampai dengan 0xFF. Setelah mencapai nilai maksimum yaitu 0xFF maka register counter (TCNT0) akan reset atau kembali ke 0x00. Mode ini disebut mode normal.

b) Mode 1

Timer/counter 0 berfungsi sebagai *phase correct* PWM (PCP). Mode ini digunakan untuk menghasilkan sinyal PWM dimana nilai register counter (TCNT0) yang mencacah naik dan turun secara terus menerus akan selalu dibandingkan dengan register pembanding OCR0. Hasil perbandingan register TCNT0 dan OCR0 digunakan untuk membangkitkan sinyal PWM yang dikeluarkan pada pin OC0 seperti dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Mode Phase Correct PWM
Sumber : ATmega8535 datasheet, 2006

c) Mode 2

Timer/counter 0 berfungsi sebagai *clear time on compare match* (CTC). Maksudnya adalah register counter (TCNT0) akan mencacah naik kemudian akan direset atau kembali menjadi 0x00 pada saat nilai TCNT0 sama dengan OCR0.

Dengan mengatur pola keluaran OC0 bergilir toggle dapat dibangkitkan gelombang kotak dengan frekuensi:

$$f_{OC0} = \frac{f_{osc}}{(2 * N)(1 + OCR0)} \quad (2-3)$$

f_{OC0} : frekuensi output OC0 mode CTC

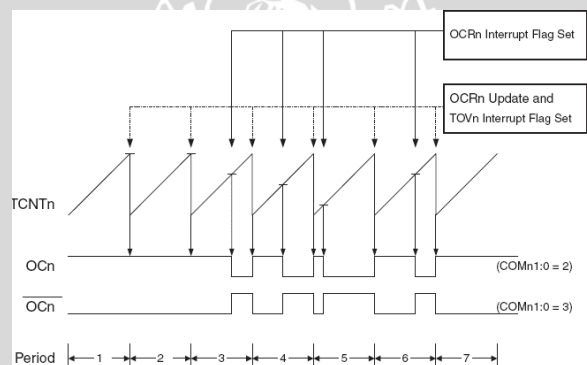
f_{osc} : frekuensi kristal/osilator

N : skala clock

OCR0 : isi register OCR

d) Mode 3

Timer/counter 0 berfungsi sebagai fast PWM. Mode ini hampir sama dengan mode phase correct PWM, hanya perbedaannya adalah register counter (TCNT0) mencacah naik saja dan tidak pernah mencacah turun seperti terlihat dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Mode Fast PWM

Sumber : ATmega8535 datasheet, 2006

2.3.2.2 Timer/counter1

Timer/counter1 merupakan modul timer/counter 16-bit yang dapat berfungsi sebagai pencacah tunggal, pembangkit PWM 16-bit, pembangkit frekuensi, pencacah event eksternal dan sebagai pembangkit interupsi yang terdiri dari 4 sumber pemicu yaitu: 1 interupsi *overflow*, 2 interupsi *output compare match* dan 1 interupsi input capture. Mode kerja timer/counter1 dapat ditentukan dengan mengatur register TCCR1A, TCCR1B, TCNT1H, TCNT1L, OCR1AH, OCR1AL, OCR1BH, OCR1BL serta TIMSK dan TIFR. Mode operasi timer/counter 1 dijelaskan dalam Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4. Mode Timer/Counter 1

Mode	WGM13	WGM12 (CTC1)	WGM11 (PWM11)	WGM10 (PWM10)	Timer/Counter Mode of Operation	TOP	Update of OCR1X at	TOV1 Flag Set on
0	0	0	0	0	Normal	0xFFFF	Immediate	MAX
1	0	0	0	1	PWM, Phase Correct, 8-bit	0x00FF	TOP	BOTTOM
2	0	0	1	0	PWM, Phase Correct, 9-bit	0x01FF	TOP	BOTTOM
3	0	0	1	1	PWM, Phase Correct, 10-bit	0x03FF	TOP	BOTTOM
4	0	1	0	0	CTC	OCR1A	Immediate	MAX
5	0	1	0	1	Fast PWM, 8-bit	0x00FF	BOTTOM	TOP
6	0	1	1	0	Fast PWM, 9-bit	0x01FF	BOTTOM	TOP
7	0	1	1	1	Fast PWM, 10-bit	0x03FF	BOTTOM	TOP
8	1	0	0	0	PWM, Phase and Frequency Correct	ICR1	BOTTOM	BOTTOM
9	1	0	0	1	PWM, Phase and Frequency Correct	OCR1A	BOTTOM	BOTTOM
10	1	0	1	0	PWM, Phase Correct	ICR1	TOP	BOTTOM
11	1	0	1	1	PWM, Phase Correct	OCR1A	TOP	BOTTOM
12	1	1	0	0	CTC	ICR1	Immediate	MAX
13	1	1	0	1	Reserved	-	-	-
14	1	1	1	0	Fast PWM	ICR1	BOTTOM	TOP
15	1	1	1	1	Fast PWM	OCR1A	BOTTOM	TOP

Prinsip dan cara kerja mode operasi pada timer/counter1 sama dengan seperti yang dijelaskan pada timer/counter 0. Perbedaannya adalah timer/counter1 memiliki ukuran register yang lebih besar yaitu 2 byte sehingga dalam satu code dapat memiliki beberapa pilihan ukuran data misalnya 8-bit, 9-bit, 10-bit.

2.3.2.3 Timer/counter2

Timer/counter2 merupakan modul timer/counter 8-bit yang dapat berfungsi sebagai pencacah tunggal, pembangkit PWM 8-bit, pembangkit frekuensi, pencacah event eksternal, pembangkit interupsi *overflow* dan pembangkit interupsi *output compare match*.

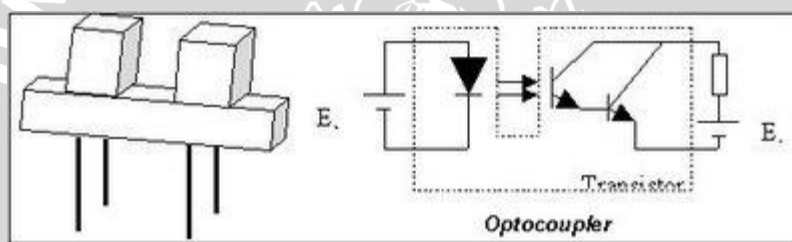
Mode kerja timer/counter2 sama persis dengan mode kerja timer/counter0, hanya saja pada timer/counter 2 memiliki satu fitur tambahan yaitu *asynchronous* mode. Perbedaan *synchronous* dan *asynchronous* hanya terletak pada sumber clock saja. Jika pada mode *synchronous* seperti yang digunakan pada timer/couter0 dan timer/counter1 memiliki sumber clock yang berasal dari kristal yang terhubung melalui pin XTAL1 dan XTAL2 maka pada mode *asynchrnous* memiliki sumber clock eksternal yang terhubung melalui pin TOSC1 dan TOSC2.

Untuk mode *synchronous*, pengaturan mode kerja timer/counter2 dilakukan dengan menggunakan register TCCR2, TCNT2 dan OCR2 serta TIMSK dan TIFR. Sedangkan untuk mode *asynchronous* dilakukan dengan menggunakan register ASSR.

2.4. Optocoupler

Optocoupler dalam sistem *Laboratory Workbench* pengendalian kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah ini berfungsi sebagai pengisolasi sinyal listrik antara input dan output. Optocoupler adalah alat yang dipakai untuk mengkopel cahaya dari suatu sumber ke detektor tanpa adanya perantara. Oleh karena itu piranti ini disebut dengan optoisolator/optocoupler.

Sinyal listrik dalam bentuk arus pada input diubah menjadi sinyal optik dengan menggunakan sumber cahaya (biasanya LED). Sinyal optik tersebut akan diterima oleh detektor untuk diubah kembali menjadi sinyal listrik. Umumnya optocoupler dipakai untuk mengisolasi sinyal listrik yang ada pada input dan output sehingga dapat digunakan transmisi sinyal antar rangkaian [Motorola Semiconductor, 1989: 7-10]. Bentuk dan diagram rangkaian optocoupler dapat dilihat dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Rangkaian Optocoupler

2.4.1 Prinsip Kerja Optocoupler

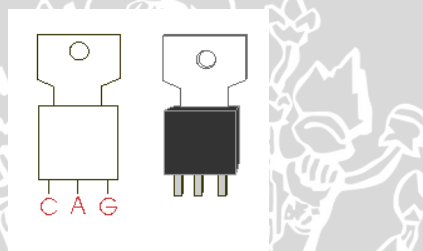
Optocoupler memiliki sebuah LED yang dihubungkan dengan masukan dan sebuah dioda yang dihubungkan dengan keluaran. Prinsip kerja dari optocoupler adalah jika antara transistor dan LED dihalangi maka transistor akan off sehingga output dari kolektor akan berlogika high. Sebaliknya jika antara transistor dan LED tidak dihalangi maka transistor akan on sehingga outputnya akan berlogika low.

Dengan mengetahui prinsip kerja dari phototransistor ini maka harus dibuat penghalang antara transistor dan LED, pada penghalang itu diberi sedikit lubang. Penghalang itu harus dibuat seporos dengan roda tersebut. Sehingga ketika berputar output dari transistor akan mengalami high dan low. Penghalang yang biasanya digunakan adalah jeruji roda. Ketika roda berputar, maka ruji-ruji pada roda akan memotong cahaya yang dipancarkan oleh LED, sehingga akan mengalir arus yang melewati resistor output. Karena tegangan output sama dengan tegangan suplai

dikurangi tegangan yang melewati resistor. Sehingga ketika masukan berubah, intensitas cahaya berubah, maka tegangan keluaran juga berubah.

2.5. SCR

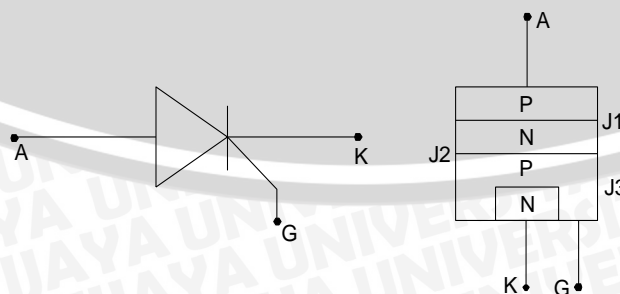
SCR dalam sistem *Laboratory Workbench* pengendalian kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah ini berfungsi sebagai pengatur kecepatan dari putaran motor DC penguat terpisah. SCR merupakan komponen semikonduktor daya yang termasuk dalam jenis *thyristor*. Fungsi utama SCR adalah sebagai saklar elektronik, yang dalam aplikasinya saat ini dipakai secara luas menggantikan saklar atau relay mekanik. Pada prinsipnya SCR mempunyai aplikasi yang sama dengan dioda hanya keluaran SCR dapat dikontrol melalui penyulutan pada terminal *gatenya*. Piranti ini dapat beroperasi sampai tegangan beberapa ratus volt dan dapat membawa arus sampai ratusan ampere. Gambar 2.11 adalah Gambar dari komponen SCR:



Gambar 2.11. Komponen SCR
Sumber: www.technologystudent.com

2.5.1 Prinsip Kerja SCR

SCR memiliki tiga persambungan dan tersusun atas empat lapisan *silicon* p-n-p-n, simbolnya sama dengan dioda penyearah dengan terminal tambahan yang disebut *gate*. *Gate* inilah yang mengizinkan pengendalian operasi penyearahan. Simbol dan susunan SCR dapat dilihat pada Gambar 2.12.:



Gambar 2.12. Simbol dan susunan SCR
Sumber: Rashid, 1993:75

SCR mempunyai tiga cara kerja yaitu *reverse blocking* (bias mundur), *forward blocking* (bias maju), dan *forward conduction*.

SCR dikatakan *reverse blocking* apabila anoda lebih negatif dari pada katoda. Dalam kondisi *reverse blocking* hanya arus bocor yang mengalir. Pada keadaan ini SCR dapat dikatakan bersifat seperti dua dioda terhubung seri yang mendapat tegangan balik, bila tegangan balik diperbesar maka arus bocor akan naik pula, dan bila tegangan balik terus diperbesar akhirnya akan mencapai kondisi *breakdown*. Dalam kondisi *breakdown* apabila dibiarkan terus menerus diberi tegangan akan menyebabkan kerusakan pada SCR sehingga harus diperhatikan tegangan balik maksimum tidak boleh melebihi tegangan *breakdown* SCR.

SCR dikatakan dalam keadaan *forward blocking* apabila anoda mendapat tegangan positif terhadap katoda, tetapi tidak ada sinyal *gate*. Dalam keadaan ini SCR berperan sebagai resistansi tinggi sehingga hanya arus bocor kecil yang mengalir.

SCR dapat berubah dari kondisi belum menghantar menjadi menghantar yang disebut *forward conduction* karena sebab-sebab berikut: (Rashid, 1993:77)

- **Tegangan bias maju melebihi tegangan *breakover***

Pada kondisi ini, bila tegangan bias maju terus bertambah tetapi tanpa adanya sinyal *gate*, maka pada suatu harga tertentu akan terjadi *breakdown*. Tegangan bias yang diperlukan untuk mencapai kondisi ini disebut *forward break over voltage* (V_{bo}). Pada tegangan ini, SCR akan berubah sifatnya dari keadaan tak menghantar dengan arus yang kecil dan tegangan besar menjadi kondisi menghantar dengan tegangan kecil dan arus yang tergantung pada beban.

- **Efek dv/dt**

SCR dapat menghantar walaupun tidak diberi sinyal *gate* apabila terjadi kenaikan tegangan maju yang sangat cepat. Gejala kenaikan tegangan maju yang sangat cepat yang menyebabkan SCR dapat menghantar dinamakan efek dv/dt . Peningkatan yang sangat cepat dari tegangan anoda akan mengakibatkan arus transien pada *gate* yang cukup untuk membuat SCR menghantar. Efek ini tidak dipergunakan dalam pengendalian SCR, oleh sebab itu dalam suatu rangkaian yang menggunakan SCR perlu dipasang pengaman terhadap efek dv/dt .

- **Trigger pada *gate***

SCR akan menghantar apabila diberikan bias maju di antara *gate* dan katoda sedangkan anode positif terhadap katoda, akan tetapi dengan tegangan bias maju kurang dari V_{bo} . SCR tidak akan menghantar bila tidak ada tegangan antara katoda dan *gate* yang menghasilkan arus *gate* yang cukup untuk membuat SCR

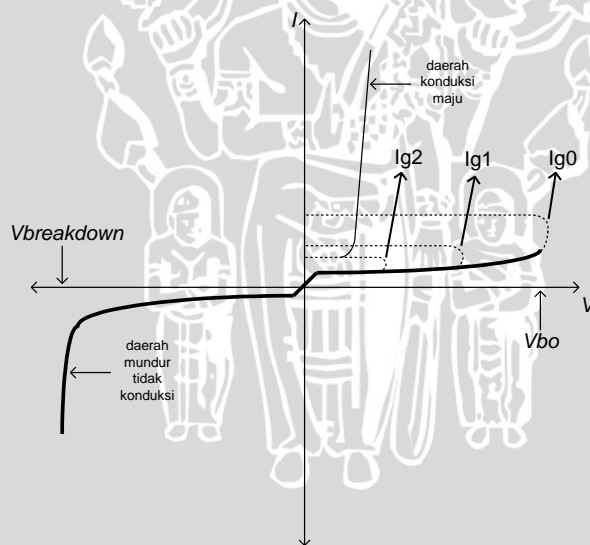
dalam kondisi menghantar. Dalam kondisi menghantar, SCR akan bersifat seperti dioda yang sedang menghantar. Apabila SCR sudah dalam kondisi menghantar, maka sinyal *gate* akan kehilangan kemampuan untuk mengontrol SCR yang berarti bahwa SCR tidak akan *off* walaupun arus *gate* dihilangkan.

SCR akan *off* bila arus pada SCR berkurang sampai di bawah nilai yang disebut *holding current*. Arus *gate* harus memenuhi syarat yaitu arus *gate* harus tetap ada sampai arus anode mencapai nilai yang disebut *latching current*. Bila hal ini tidak terpenuhi, SCR akan kembali *off*.

- Temperatur

Akibat kenaikan temperatur dan temperatur itu meningkat cukup tinggi maka akan terjadi peningkatan jumlah pasangan elektron-hole sehingga arus bocor akan meningkat pula. Peningkatan arus bocor tersebut cukup membuat SCR menjadi konduksi.

Berdasarkan prinsip kerja SCR maka didapatkan grafik karakteristik dari SCR:



Gambar 2.13. Karakteristik SCR
Sumber: Rashid, 1993:75

2.5.2 Switching SCR

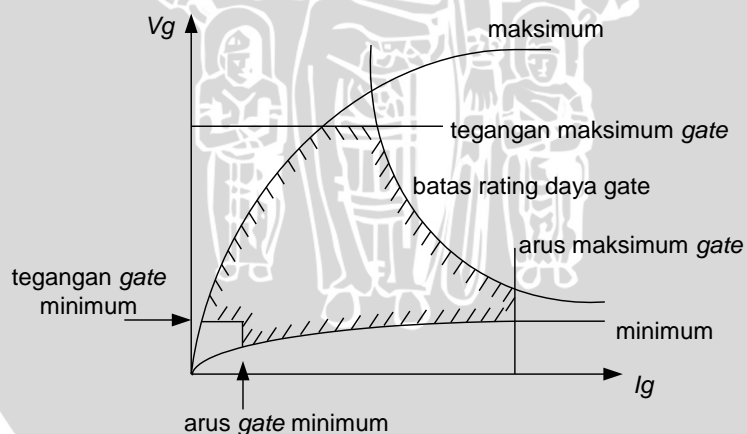
SCR akan menghantar apabila dalam keadaan terbias maju diberi sinyal *gate*. Untuk kembali dalam kondisi *off* maka tegangan anoda positif dihilangkan sehingga tidak akan mengalir arus anoda. Proses ini disebut dengan komutasi *natural*. Cara lain untuk membuat SCR *off* adalah dengan memaksa arus anoda menjadi nol, proses ini disebut dengan komutasi paksa. Walaupun demikian, apabila tegangan bias maju

diberikan sesaat setelah arus anoda menjadi nol, SCR tidak akan mampu kembali ke keadaan *forward blocking* dan akan mulai konduksi kembali meskipun tidak dipicu. Karena itu penting untuk menjaga agar SCR tetap terbias mundur untuk beberapa saat ketika arus anoda menjadi nol sebelum diberikan bias maju berikutnya.

Waktu penyalan t_{on} (*turn on time*) dari SCR adalah selang waktu yang dihitung mulai diberikannya sinyal *trigger* sampai tercapai kondisi mantap SCR menghantar. Waktu pemadaman t_{off} (*turn off time*) adalah selang waktu minimum ketika arus keadaan menghantar menjadi nol dan ketika SCR dapat menahan bias maju tanpa terjadi kondisi menghantar pada SCR.

2.5.3 Karakteristik Gate SCR

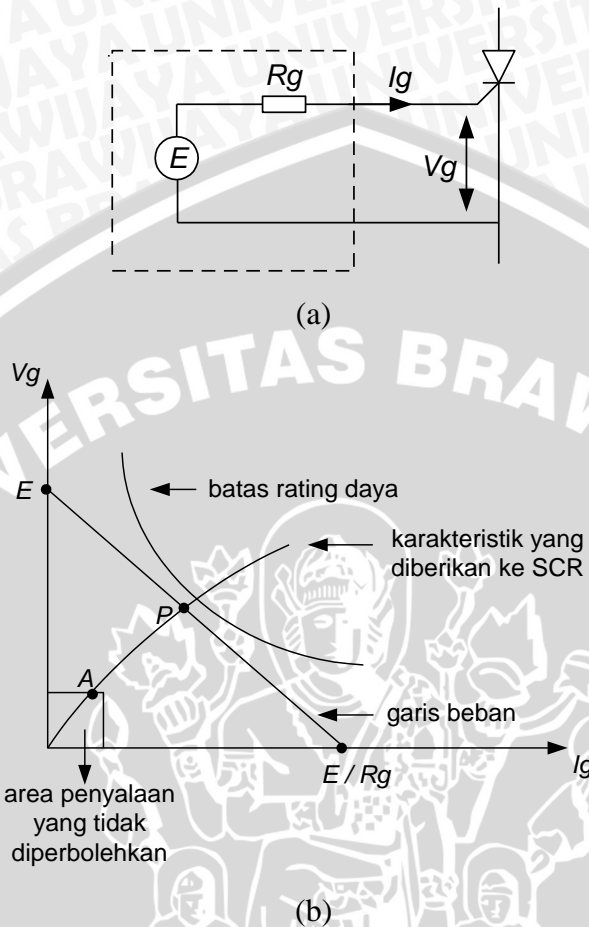
Untuk mendapatkan rangkaian penyalan yang baik dari suatu SCR maka yang perlu diperhatikan adalah karakteristik *gate* SCR tersebut. Dalam karakteristik *gate* harus diperhatikan tegangan dan arus *gate* pada nilai maksimum dan minimumnya. Berdasarkan tegangan dan arus tersebut maka daerah penyalan SCR dapat ditentukan seperti dalam Gambar 2.14. Arus yang mengalir dan tegangan pada *gate* diharapkan tidak melebihi harga maksimum yang diijinkan, akan tetapi untuk memenuhi kebutuhan penyalan juga tidak boleh kurang dari harga minimumnya.



Gambar 2.14. Karakteristik gate
Sumber: Cyril, 1993:11

Rangkaian penyalan SCR dapat direncanakan dengan bantuan garis beban seperti pada Gambar 2.15b. Garis beban dapat didapatkan berdasarkan rangkaian ekuivalen dari penyalan SCR seperti pada Gambar 2.15a. yang terdiri dari sumber tegangan yang dihubungkan seri dengan tahanan *gate*. Ketika *gate* diberi sinyal maka arus akan naik sehingga mencapai kondisi mantap yaitu titik *P*, akan tetapi SCR harus

sudah menghantar sebelum titik P dicapai dan sesudah titik A . Untuk itu parameter-parameter dari rangkaian penyalan harus dipilih sehingga akan diperoleh garis beban yang terletak di atas titik A tetapi masih dalam batas titik P .



Gambar 2.15. Penyalan SCR (a) Rangkaian ekivalen (b) grafik penyalan dengan garis beban
Sumber: Cyril, 1993:12

2.5.4 Penyearah Terkontrol Penuh Satu Fasa

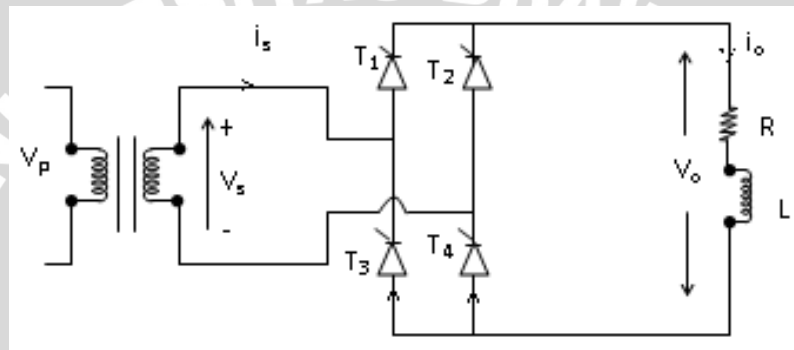
Dalam penyearahan dapat digunakan diode atau thyristor. Penyearahan yang menggunakan diode akan menghasilkan tegangan keluaran yang tetap. Untuk dapat menghasilkan tegangan keluaran yang terkontrol salah satunya adalah dengan menggunakan thyristor. Tegangan keluaran penyearahan dengan menggunakan thyristor dapat dikendalikan bergantung pada sudut penyalan thyristor. thyristor kontrol-fasa (*phase-control-thyristor*) dinyalakan dengan memberikan pulsa pendek pada gatenya.

Penyearah fasa terkontrol (*phase controlled*) adalah merupakan penyearah yang sederhana dan murah. Karena penyearah ini mengkonversikan tegangan AC ke DC, penyearah ini disebut converter AC ke DC (*AC-to-DC converter*) dan banyak

digunakan dalam aplikasi industri terutama penggerak listrik dengan kecepatan variabel (*variable speed drives*), yang mencakup level daya hingga megawatt.

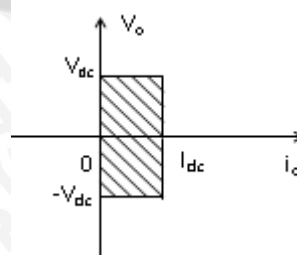
Konverter dengan fasa terkontrol dapat diklasifikasikan pada dua tipe, bergantung pada supply masukan, yaitu: konverter satu fasa dan konverter tiga fasa. Setiap tipe dapat dibagi lagi menjadi : semikonverter (*semiconverter*), konverter penuh (*full converter*), konverter ganda (*dual converter*).

Konverter penuh merupakan konverter dua kuadran yang dapat memiliki tegangan keluaran baik positif dan negatif, akan tetapi keluaran arusnya hanya dapat berharga positif. Rangkaian penyearah terkontrol penuh satu fasa dapat dilihat dalam Gambar 2.16.



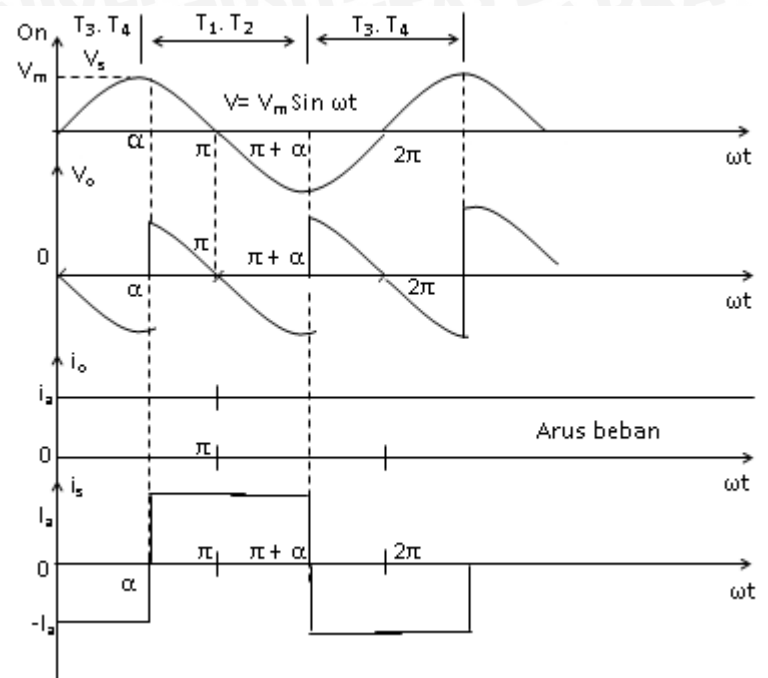
Gambar 2.16. Rangkaian Terkontrol Penuh Satu Fasa
Sumber: Diktat kuliah Elektronika Daya, 2004:3-11

Selama setengah siklus positif, thyristor T_1 dan T_4 terbias maju, dan jika kedua thyristor tersebut dinyalakan secara simultan pada $\omega t = \alpha$ beban akan terhubung dengan supply masukan melalui T_1 dan T_4 . Karena beban induktif, thyristor T_1 dan T_4 akan terus konduksi hingga melewati waktu $\omega t = \pi$ walaupun tegangan masukan sudah negatif. Selama setengah siklus tegangan masukan negatif thyristor T_2 dan T_3 akan terbias maju dan penyalakan diberikan pada thyristor T_2 dan T_3 akan memberikan tegangan suplai sebagai tegangan bias mundur pada thyristor T_1 dan T_4 . Daerah kerja penyearah terkontrol penuh satu fasa ditunjukkan dalam Gambar 2.17. Bentuk gelombang tegangan masukan, tegangan keluaran, arus masukan dan arus keluaran ditunjukkan dalam gambar 2.18.



Gambar 2.17. Daerah Kerja Penyearah Terkontrol Penuh Satu Fasa

Sumber: Diktat kuliah Elektronika Daya, 2004:3-11



Gambar 2.18. Bentuk Gelombang Penyearah Terkontrol Penuh Satu Fasa

Sumber: Diktat kuliah Elektronika Daya, 2004:3-11

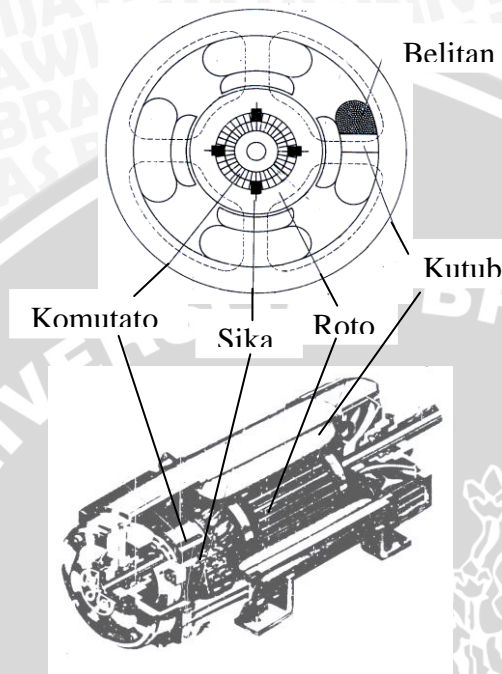
Selama periode dari α ke π , tegangan keluaran V_s dan arus masukan I_s positif maka daya akan mengalir dari supply ke beban. Saat ini konverter dikatakan bekerja pada mode penyearahan (*rectification mode*). Selama periode π hingga $\pi + \alpha$, tegangan masukan V_s negatif dan arus masukan I_s positif dan aliran daya akan membalik dari beban ke sumber. Saat ini konverter bekerja pada mode membalik (*inversion mode*). Konverter jenis ini secara ekstensif digunakan dalam aplikasi industri hingga daya 15 kW.

2.6. Motor DC

Motor DC adalah mesin DC yang mengubah energi listrik DC menjadi energi mekanik. Motor DC terdiri dari dua bagian dasar yaitu stator dan rotor. Stator merupakan bagian dari motor DC yang tidak bergerak sedangkan rotor merupakan bagian yang bergerak. Pada stator terdapat belitan yang dinamakan belitan medan karena berfungsi menghasilkan medan magnet, sedangkan pada rotor terdapat belitan yang dinamakan belitan jangkar karena berfungsi membawa arus beban. Pada poros rotor terdapat komutator dan sikat, komutator bergerak bersamaan dengan poros rotor sedangkan sikat tidak bergerak tetapi menyentuh komutator. Komutator berupa silinder

yang terbuat dari beberapa segmen tembaga yang terisolasi satu sama lain, dan sikat terbuat dari bahan karbon. Komutator dan

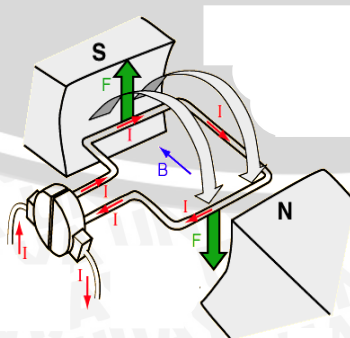
sikat secara bersamaan berfungsi sebagai penyearah. Gambar 2.19 merupakan gambar konstruksi motor DC.



Gambar 2.19. Konstruksi motor DC
Sumber: www.NEETS.com

2.6.1 Prinsip Kerja

Prinsip kerja motor DC berdasarkan pada penghantar yang dialiri arus ditempatkan dalam suatu medan magnet sehingga penghantar tersebut akan mengalami gaya. Gaya menimbulkan torsi sehingga menghasilkan putaran. Penghantar yang berputar akan menimbulkan tegangan AC sehingga diubah menjadi tegangan DC oleh komutator dan sikat.



Gambar 2.20. Interaksi antara Medan Magnet dan Penghantar yang Dialiri Arus.
Sumber: www.sciencejoywagon.com

Gaya yang dihasilkan sebesar: (Cathey, 2001:50)

$$F = B.I.l \quad (2-4)$$

Gaya itu menimbulkan torsi sebesar:

$$T = F.r \quad (2-5)$$

dengan:

F = Gaya (N).

B = Rapat fluks (T).

I = Arus yang mengalir pada penghantar (A).

l = Panjang penghantar (m).

r = Jari-jari inti jangkar (m).

T = Torsi (Nm).

Jangkar memiliki jumlah penghantar dan cabang paralel penghantar sehingga dari Persamaan (2-4) dan (2-5) didapatkan:

$$T = \frac{Z}{a} B.I_a.l.r \quad (2-6)$$

dengan:

Z = Jumlah penghantar jangkar.

a = Jumlah cabang paralel penghantar jangkar yang berada di antara sikat.

I_a = Arus jangkar (A).

Rapat fluks yang dihasilkan sebesar:

$$B = \frac{\phi.p}{2\pi.r.l} \quad (2-7)$$

Jika Persamaan (2-7) diberikan ke Persamaan (2-6) didapatkan:

$$T = \frac{p.Z}{2\pi.a} \phi.I_a \quad (2-8)$$

$$T = K.\phi.I_a \quad (2-9)$$

dengan:

p = Jumlah kutub stator.

Φ = Fluks tiap kutub stator (Wb).

K = Konstanta mesin.

Putaran jangkar yang berada dalam medan magnet akan menghasilkan gaya gerak listrik lawan sebesar:

$$E_a = K.\phi.\omega_m \quad (2-10)$$

Daya yang dihasilkan sebesar:

$$P = E_a \cdot I_a \quad (2-11)$$

Dari persamaan (2-10) dan (2-11):

$$P = K \cdot \phi \cdot I_a \cdot \omega_m \quad (2-12)$$

$$P = T \cdot \omega_m \quad (2-13)$$

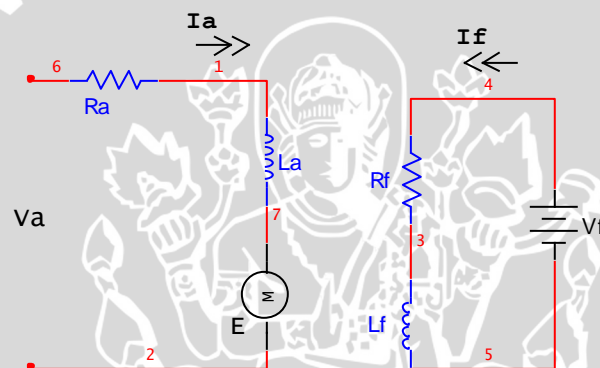
dengan:

E_a = Gaya gerak listrik lawan (V).

P = Daya (W).

ω_m = Putaran sudut (rad/s).

2.6.2 Motor DC Penguatan Terpisah



Gambar 2.21. Rangkaian Motor DC penguatan Terpisah

Rangkaian motor DC dengan penguatan terpisah seperti pada Gambar 2.21. terdiri atas belitan medan dan belitan jangkar yang modelnya dapat diwakili oleh unsur-unsur resistansi dan induktansi. Berdasarkan rangkaian tersebut didapatkan persamaan: (Slemon, 1992:146)

$$V_f = R_f \cdot I_f + L_f \frac{dI_f}{dt} \quad (2-14)$$

$$V_a = E_a + I_a \cdot R_a + L_a \frac{dI_a}{dt} \quad (2-15)$$

Jika persamaan (2-10) diberikan ke Persamaan (2-15) didapatkan:

$$V_a = K \cdot \phi \cdot \omega_m + I_a \cdot R_a + L_a \frac{dI_a}{dt} \quad (2-16)$$

Berdasarkan Persamaan (2-9) untuk model mekanis motor DC dengan penguatan terpisah adalah:

$$T = J \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega + T_w \quad (2-17)$$

dengan:

V_f = Tegangan medan (V).

L_f = Induktansi belitan medan (H).

R_f = Resistansi belitan medan (Ω).

I_f = Arus medan (A).

V_a = Tegangan jangkar (V).

L_a = Induktansi belitan jangkar (H).

R_a = Resistansi belitan jangkar (Ω).

I_a = Arus jangkar (A).

J = Momen inersia ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$).

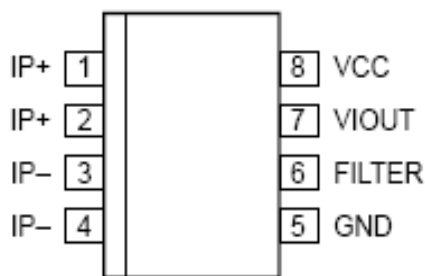
B = Koefisien gesekan motor {Nm/(rad/s)}.

T_w = Torsi beban (Nm).

2.7 Sensor Arus

Sensor arus dalam sistem *Laboratory Workbench* pengendalian kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah ini berfungsi untuk mengetahui berapa besar arus yang dihasilkan oleh motor. Dalam sistem *Laboratory Workbench* ini, digunakan sensor arus type ACS712. Sensor arus type ACS712 menyediakan nilai ekonomis dan solusi tepat untuk arus AC atau DC dalam perindustrian dan sistem komunikasi. Sensor ini dapat digunakan pada bebarapa aplikasi, diantaranya pada pengontrolan motor, pemeliharaan dan pendeteksian beban, mode saklar power supply dan perlindungan kelebihan arus.

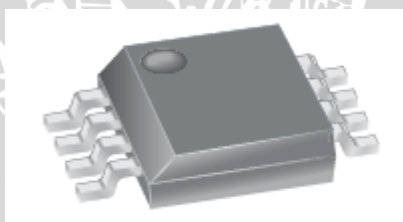
Sensor ini memiliki keluaran slop positif ($>V_{IOUT(Q)}$) ketika peningkatan arus mengalir melalui permukaan konduksi utama (dari pin 1 dan 2, ke pin 3 dan 4), yang mana permukaan ini digunakan untuk mensensor arus. Gambar dari IC sensor arus ditunjukkan dalam Gambar 2.22.



Gambar 2.22. Pin-Pin dari Sensor Arus
 Sumber: Datasheet, Allegro MicroSystem, Inc

Keterangan Gambar:

Nomor	Nama	Deskripsi
1,2	IP+	Pin yang digunakan untuk sensor arus; internal fuse
3,4	IP-	Pin yang digunakan untuk sensor arus; internal fuse
5	GND	Pin untuk ground
6	FILTER	Pin untuk kapasitor eksternal untuk mengatur bandwidth
7	VIOUT	Sinyal keluaran analog
8	VCC	Pin power supply



Gambar 2.23 Sensor Arus Type ACS712
 Sumber: Datasheet, Allegro MicroSystem, Inc

BAB III

METODOLOGI

Pada bab ini akan diuraikan metodologi yang akan dilakukan dalam Perancangan dan Pembuatan *Laboratory Workbench* Pengendalian Kecepatan Putaran Motor DC dengan Penguatan Terpisah. Metodologi ini mengacu pada rumusan masalah yang telah dibuat. Metodologi yang digunakan secara umum adalah sebagai berikut :

- 1) Studi Literatur
- 2) Perancangan Alat
- 3) Pembuatan Alat
- 4) Pengujian Alat
- 5) Pengambilan Kesimpulan dan Saran

3.1 Studi Literatur

Studi literatur berupa kajian pustaka terhadap sumber-sumber bacaan yang relevan sehingga dapat menunjang dalam perancangan dan pembuatan *Laboratory Workbench* Pengendalian Kecepatan Putaran Motor DC dengan Penguatan Terpisah. Studi literatur yang perlu dilakukan agar dapat memudahkan dalam perancangan adalah sebagai berikut:

- a. Transformator
 - Prinsip kerja transformator
 - Step down transformer
 - Fungsi transformator
- b. *Zero Crossing Detector*
 - AVR182: *Zero Cross Detector*
 - Menghubungkan rangkaian *Zero Cross Detector* dengan mikrokontroler.
- c. Mikrokontroler ATMega8535
 - Hardware dari mikrokontroler ATMega8535 minimum sistem.
 - Software yang digunakan pada mikrokontroler ATMega8535 minimum sistem.
- d. Optocoupler
 - Datasheet optocoupler.
 - Prinsip kerja optocoupler.

- Menggunakan optocoupler sebagai pengisolasi sinyal listrik antara input dan output.
- e. SCR
 - Datasheet SCR tipe BT151
 - SCR sebagai rangkaian terkontrol penuh satu fasa.
 - Sudut penyalan SCR.
- f. Motor DC
 - Motor DC dengan penguatan terpisah.
 - Prinsip kerja Motor DC dengan penguatan terpisah.

3.2 Perancangan Alat

Perancangan alat berhubungan dengan perancangan rangkaian dan komponen-komponen elektronika yang digunakan serta *lay out* (tata letak) rangkaian.

3.2.1 Spesifikasi Alat

Alat yang dirancang memenuhi spesifikasi sebagai berikut:

1. Motor DC yang digunakan adalah motor DC penguat terpisah dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Tegangan Jangkar : 220 V
 - Arus Jangkar : 2,2 A
 - Daya Motor : 0,3 kW
 - Tegangan Penguat (medan) : 220 V
 - Arus Medan : 0,45 A
 - n (Kecepatan Putaran) : 2000 rpm
2. Menggunakan SCR sebagai pengendali kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah yang selanjutnya akan dikontrol oleh mikrokontroler.
3. Menggunakan rangkaian *Zero Crossing Detector* sebagai pendeteksi kapan sinyal masukan pada mikrokontroler bernilai nol.
4. Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler AVR ATmega 8535 sebagai pengendali sistem.
5. Pengaturan kecepatan putaran motor DC dilakukan dengan mengubah-ubah besar tegangan jangkar.

3.2.2 Langkah-langkah Perancangan alat

1. Pembuatan diagram blok sistem.
2. Perancangan perangkat keras dari masing-masing blok yang meliputi perencanaan dan pembuatan rangkaian dari masing-masing blok.
3. Menggabungkan beberapa blok menjadi keseluruhan sistem yang direncanakan.
4. Perencanaan perangkat lunak mikrokontroler sebagai pengendali dan pengontrol sistem.

3.3 Pembuatan Alat

a. Perangkat Keras

Pembuatan alat dilakukan per blok rangkaian terlebih dahulu. Pembuatan alat untuk perangkat keras meliputi pembuatan PCB (*Printed Circuit Board*). Pembuatan lay out dengan menggunakan software Eagle 5.0.0, pengetsaan dan pengeboran. Perakitan komponen dan penyolderan dilakukan pada PCB.

b. Perangkat Lunak

Untuk pembuatan perangkat lunak dilakukan dengan pembuatan flowchart algoritma program terlebih dahulu kemudian dibuat programnya menggunakan bahasa C dengan menggunakan software C&AVR.

c. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Sebagai tahapan yang terakhir adalah pengujian keseluruhan sistem dengan memberikan contoh kasus dengan memberikan beberapa nilai sudut penyalaan SCR dan mengamati hasilnya yang berupa besar tegangan keluaran dari penyearah terkontrol penuh satu fasa yang menggunakan SCR.

3.4 Pengujian Alat

Pengujian dilakukan pada masing-masing blok rangkaian dan mengamati keluaran dari blok rangkaian yang diuji tersebut. Setelah itu pengujian dilakukan secara keseluruhan. Data pengujian dianalisis untuk dijadikan acuan dalam mengambil kesimpulan.

Pengujian yang dilakukan dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu:

- 1) Pengujian rangkaian pentriggeran SCR.
- 2) Pengujian rangkaian optocoupler.
- 3) Pengujian rangkaian *Zero crossing Detector*.
- 4) Pengujian sensor arus.
- 5) Pengujian keseluruhan sistem.

3.4.1 Pengujian Rangkaian Pentriggeran SCR

Pengujian rangkain SCR sebagai rangkaian terkontrol Penuh Satu Fasa ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari SCR yang akan digunakan sebagai pengendali kecepatan putaran motor DC.

3.4.2 Pengujian Rangkaian Optocoupler

Pengujian rangkaian optocoupler dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah sinyal masukan yang akan mengatur sudut penyalaan yang akan diberikan pada gate SCR sesuai dengan sinyal keluaran yang dikeluarkan oleh mikrokontroler.

3.4.3 Pengujian Zero Crossing Detector.

Pengujian Rangkaian Zero Crossing Detector dilakukan untuk mengetahui kapan sinyal masukan pada Mikrokontroler bernilai nol.

3.4.4 Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor arus dilakukan untuk mengetahui apakah sensor dapat berfungsi dengan baik pada sistem *Laboratory Workbench* Pengendalian Kecepatan Putaran Motor DC dengan Penguatan Terpisah sehingga dapat digunakan sebagai pengontrol arus yang mengalir dari motor DC dengan penguatan terpisah.

3.4.5 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui keberhasilan dari keseluruhan sistem *Laboratory Workbench* yang dirancang. Pada pengujian ini semua sistem digabungkan menjadi satu kesatuan dan dilakukan simulasi seperti pelaksanaan kegiatan praktikum di laboratorium Elektronika Daya.

3.5 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Setelah melakukan pengujian terhadap sistem *Laboratory Workbench* yang dibuat, maka tahap berikutnya adalah pengambilan kesimpulan dari sistem *Laboratory Workbench* yang dibuat. Tahap terakhir adalah saran yang dimaksudkan untuk memperbaiki kesalahan-kesalahan yang terjadi serta menyempurnakan penelitian untuk pengembangan di masa mendatang.

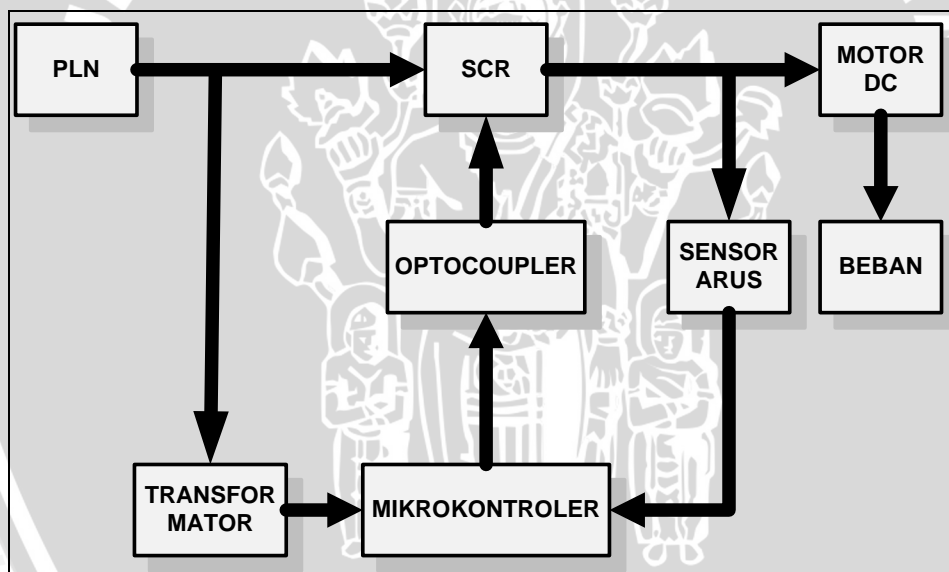


BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN

Bab ini membahas tentang perancangan dan pembuatan sistem *Laboratory Workbench* Pengendalian Kecepatan Putaran Motor DC dengan Penguatan Terpisah. Perancangan sistem ini meliputi perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Sedangkan pembuatan bertujuan untuk menghasilkan semua perangkat pendukung sistem *Laboratory Workbench* Pengendalian Kecepatan Putaran Motor DC dengan Penguatan Terpisah.

4.1 Diagram Blok Sistem

Berdasarkan spesifikasi yang telah ditentukan, maka sistem dapat digambarkan secara garis besar dalam sebuah diagram blok seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Diagram Blok Sistem

Keterangan diagram blok yang ditunjukkan dalam Gambar 4.1 adalah sebagai berikut:

- 1) Transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan sumber dari PLN yang mempunyai tegangan besar untuk mengamankan komponen-komponen elektronika, karena komponen-komponen elektronika biasanya bekerja pada range tegangan maksimal sampai 24 V, sedangkan tegangan sumber PLN yang digunakan dalam sistem ini adalah tegangan AC sebesar 220 V.

- 2) Optocoupler berfungsi untuk mengisolasi sinyal listrik yang ada pada input dan output sehingga dapat digunakan transmisi sinyal antar rangkaian. Optocoupler diperlukan sebagai pelindung rangkaian kontroler yang memiliki range tegangan rendah sekitar 5 V_{DC} dari rangkaian penyearah terkontrol penuh SCR yang terhubung langsung pada jala-jala PLN yang bekerja pada tegangan 220 V_{AC}.
- 3) SCR merupakan komponen rangkaian pengontrol penuh satu fasa yang digunakan sebagai pengontrol kecepatan putaran motor DC. Kecepatan putaran motor DC diatur berdasarkan sudut penyalan SCR yang telah ditentukan dalam program yang dibuat dalam mikrokontroler. Perubahan sudut penyalan SCR sesuai dengan perubahan tegangan keluaran penyearah terkontrol penuh satu fasa yang selanjutnya akan digunakan sebagai pengatur kecepatan putaran motor DC, yang dirumuskan dalam Persamaan (4-1).

$$\omega = \frac{V_a - I_a.R_a}{K\phi} \quad (4-1)$$

Keterangan:

- ω = Kecepatan putaran motor DC
- V_a = Tegangan jangkar (V)
- R_a = Resistansi belitan jangkar (Ω)
- K = konstanta mesin
- Φ = Fluks tiap kutub stator (Wb)

SCR akan menghantar apabila diberikan bias maju di antara *gate* dan katoda sedangkan anode positif terhadap katoda. SCR tidak akan menghantar bila tidak ada tegangan antara katoda dan *gate* yang menghasilkan arus *gate* yang cukup untuk membuat SCR dalam kondisi menghantar. Gambar karakteristik tegangan pada SCR ditunjukkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik Karakteristik Tegangan pada SCR

Pada saat SCR belum aktif atau arus belum mengalir maka tegangan pada SCR (V_{AK}) sama besarnya dengan tegangan masukan yaitu tegangan arus bolak-balik. Setelah tegangan anodanya sama atau melebihi tegangan breakover maka SCR aktif sehingga tegangan breakover maju pada SCR akan mengalami penurunan. Karakteristik ini dapat dilihat dalam Gambar 2, yang mana garis putus-putus yang terlihat menandakan bahwa SCR aktif atau arus mulai menghantar. Grafik karakteristik arus yang mengalir pada SCR ditunjukkan dalam Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Grafik Karakteristik Arus yang Mengalir pada SCR

Garis putus-putus dalam Gambar 4.3 menunjukkan bahwa pada saat itu SCR belum terpicu sehingga belum aktif. Setelah SCR terpicu maka SCR akan aktif dan arus yang mengalir pada SCR (I_T) lebih besar dari arus penahan (I_H). Arus holding (I_H) adalah arus anoda minimum yang diperlukan untuk menjaga agar SCR tetap dalam keadaan konduksi setelah SCR aktif.

- 4) Sensor arus berfungsi sebagai umpan balik dari motor ke mikrokontroler yang digunakan untuk mengetahui berapa besar arus yang dialirkan pada motor. Persamaan (4-2) menunjukkan hubungan antara torsi dan kecepatan motor:

$$\omega = \frac{V_a}{(K\phi)} - \frac{R_a T}{(K\phi)^2} \quad (4-2)$$

Keterangan:

ω = Kecepatan putaran motor DC

V_a = Tegangan jangkar (V)

R_a = Resistansi belitan jangkar (Ω)

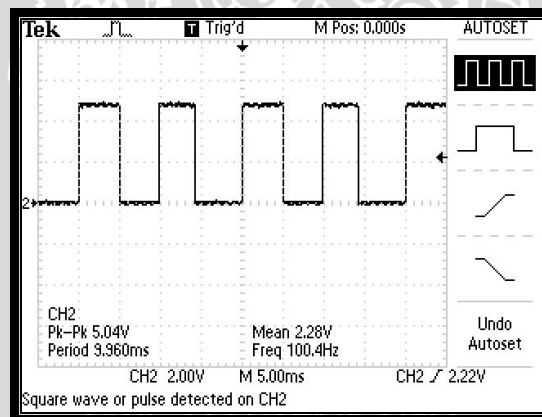
T = Torsi beban (Nm)

K = konstanta mesin

Φ = Fluks tiap kutub stator (Wb).

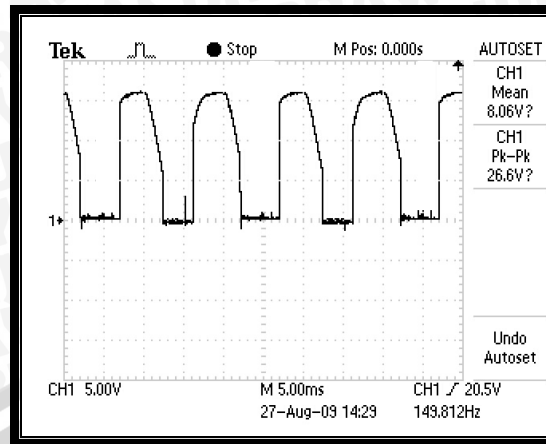
Berdasarkan persamaan (4.2) dapat diambil kesimpulan apabila torsi beban meningkat, maka kecepatan putaran motor akan mengalami penurunan.

- 5) Mikrokontroler berfungsi sebagai pengolah data besar sudut penyalan SCR yang akan digunakan untuk mengendalikan kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah. Sinyal keluaran dari mikrokontroler ditunjukkan dalam Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Sinyal Keluaran Mikrokontroler yang Digunakan Sebagai Pengaturan Sudut Penyalan SCR

Gambar 4.4 menunjukkan sinyal keluaran mikrokontroler yang digunakan untuk mengatur besar sudut penyalan SCR sebesar 90° . Kemudian sinyal keluaran mikrokontroler tersebut akan dilewatkan pada optocoupler terlebih dahulu sebelum diberikan ke gate SCR yang akan digunakan untuk mengaktifkan SCR. Sinyal keluaran dari optocoupler yang akan menjadi masukan gate SCR ditunjukkan dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Sinyal Masukan Gate SCR

Gambar 4.5 menunjukkan sinyal masukan pada gate SCR dengan besar sudut penyalan 90° yang besarnya sesuai dengan sinyal keluaran dari mikrokontroler yang berbentuk sinyal kotak. Sinyal masukan pada gate SCR tidak berbentuk kotak, dikarenakan sebelum masuk ke gate SCR akan dilewatkan trafo terlebih dahulu dan kuprok yang digunakan sebagai penyearah.

Perancangan sistem mempunyai beberapa spesifikasi, diantaranya:

6. Motor DC yang digunakan adalah motor DC penguat terpisah dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Tegangan Jangkar : 220 V
 - Arus Jangkar : 2,2 A
 - Daya Motor : 0,3 kW
 - Tegangan Penguat (medan) : 220 V
 - Arus Medan : 0,45 A
 - n (Kecepatan Putaran) : 2000 rpm
7. Menggunakan SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) sebagai pengontrol kecepatan motor DC yang selanjutnya akan dikontrol oleh Mikrokontroler
8. Menggunakan rangkaian *Zero Crossing Detector* sebagai pendeteksi kapan sinyal masukan pada Mikrokontroler bernilai nol.
9. Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler AVR ATmega8535 sebagai pengendali sistem.
10. Pengaturan kecepatan putaran motor DC dilakukan dengan mengubah-ubah besar tegangan jangkar.

4.2 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dalam skripsi ini meliputi:

1. Perancangan perangkat keras rangkaian terkontrol penuh satu fasa menggunakan SCR.
2. Perancangan perangkat keras unit pelindung.
3. Perancangan perangkat keras antar muka rangkaian mikrokontroler ATmega8535.
4. Perancangan perangkat keras rangkaian *Zero Crossing Detector*.
5. Perancangan perangkat keras rangkaian sensor arus.

4.2.1 Perancangan Perangkat Keras Rangkaian Terkontrol Penuh Satu Fasa Menggunakan SCR

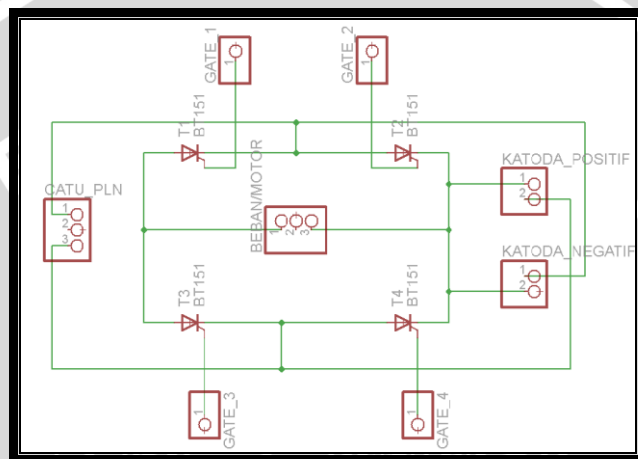
Rangkaian terkontrol penuh satu fasa ini digunakan sebagai pengontrol kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah. Dalam perancangan rangkaian terkontrol penuh satu fasa ini akan digunakan SCR sebagai komponen utamanya. Hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan dan pembuatan alat adalah kemampuan komponen SCR yang akan dilalui arus nominal dan tegangan nominalnya serta ketersediaan komponen di pasaran. Beban yang akan dikendalikan yang berupa motor DC penguatan terpisah memiliki arus nominal sebesar 2,2 A sehingga komponen SCR yang digunakan harus memiliki kemampuan menahan arus di atas 2,2 A. Komponen SCR yang dipilih berdasarkan ketersediaannya di pasaran adalah komponen yang memiliki kemampuan menahan arus sebesar 7,5 A. Berdasarkan dengan kemampuan komponen SCR sebesar 7,5 A tersebut maka peralatan yang akan direncanakan dan dibuat nantinya akan memiliki kemampuan mengatur beban motor DC penguatan terpisah dengan arus nominal sampai 7,5 A.

SCR merupakan salah satu jenis dari thyristor. Untuk dapat menghasilkan tegangan keluaran yang terkontrol salah satunya adalah dengan menggunakan thyristor. Tegangan keluaran penyearahan dengan menggunakan thyristor dapat dikendalikan bergantung pada sudut penyalan thyristor. Thyristor kontrol-fasa (*phase-control-thyristor*) dinyalakan dengan memberikan pulsa pendek pada gatena.

Rangkaian terkontrol penuh satu fasa yang akan direncanakan dan dibuat disupply dari sumber AC 220 volt dan akan menghasilkan tegangan keluaran DC

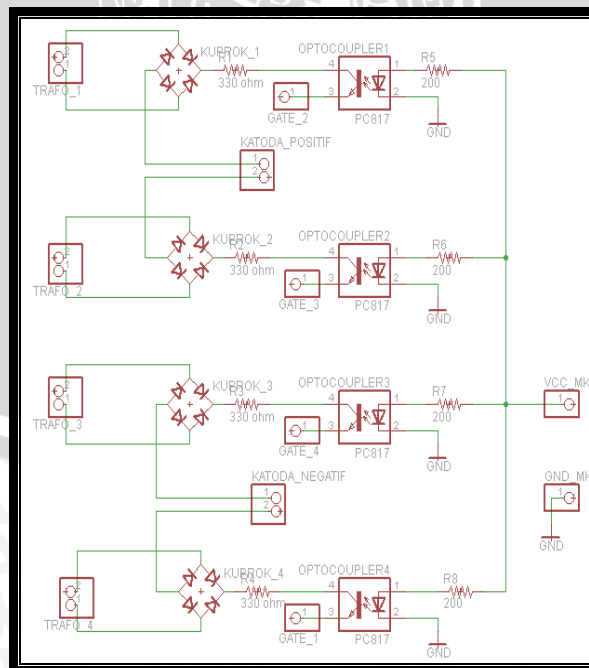
variabel antara 0 – 191 volt. Tegangan keluaran rangkaian terkontrol penuh satu fasa yang berupa tegangan DC variabel inilah yang akan digunakan untuk mengatur putaran motor DC dengan penguatan terpisah. Hasil sinyal keluaran dari SCR akan dimasukkan ke mikrokontroler dan selanjutnya diolah oleh mikrokontroler. Rangkaian terkontrol penuh satu fasa ini yang akan digunakan sebagai pengendali kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah.

Hasil perancangan dari rangkaian terkontrol penuh satu fasa menggunakan SCR dapat dilihat dalam Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Rangkaian Terkontrol Satu Fasa

Rangkaian yang digunakan sebagai pentriggeran gate dari SCR ditunjukkan dalam Gambar 4.7 berikut:



Gambar 4.7. Rangkaian Pentriggeran Gate SCR

4.2.1.1. Langkah Kerja

Langkah kerja dari proses perencanaan dan pembuatan rangkaian terkontrol penuh satu fasa sebagai pengatur kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah ini ditunjukkan dalam Gambar 4.8:



Gambar 4.8. Langkah Kerja Perencanaan dan Pembuatan Rangkaian Terkontrol Penuh Satu Fasa Sebagai Pengatur Kecepatan Putaran Motor DC dengan Penguatan Terpisah.

Dalam penentuan rating dari masing-masing SCR maka harus disesuaikan dengan rating bebannya. Berdasarkan data beban di atas maka setiap SCR harus mampu dialiri arus sebesar 2,2 A sedangkan untuk tegangannya ditentukan sebagai berikut:

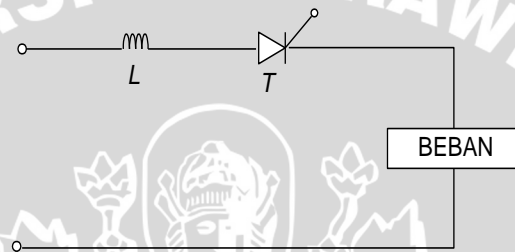
$$\begin{aligned}
 V_m &= \sqrt{2} \cdot V_{eff} \\
 &= \sqrt{2} \cdot 220 \\
 &= 311,126 \text{ V}
 \end{aligned}
 \tag{4-3}$$

maka type SCR yang dipilih harus memiliki kemampuan arus diatas 2,2 A dan tegangan di atas 311,126 V yaitu type SCR BT 151-500R dengan rating arus 7,5 A dan rating tegangan 500 V sebanyak empat buah.

4.2.1.2 Pengaman di/dt

Suatu SCR memerlukan waktu minimum untuk menyebarkan kondisi konduksi ke semua sambungannya secara merata, jika peningkatan arus anoda lebih cepat dibandingkan kecepatan penyebaran dari proses konduksi tersebut maka titik-titik pemanasan akan terjadi sehingga komponen SCR akan rusak dikarenakan temperatur panas yang berlebihan. Efek tersebut dinamakan efek di/dt .

Untuk mengatasi permasalahan yang tidak diinginkan tersebut maka komponen SCR harus diamankan terhadap efek di/dt . Efek di/dt dibatasi dengan menambahkan suatu induktor seri L seperti dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Induktor pengaman di/dt

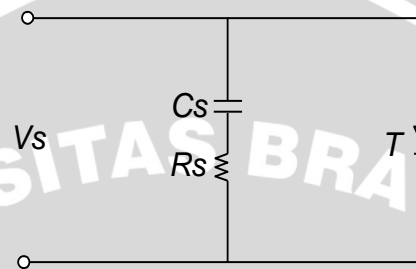
Penentuan besar induktor ditentukan berdasarkan nilai di/dt komponen SCR yang terdapat pada data sheet SCR. Sesuai data sheet SCR BT 151-500R besar $di/dt = 5 A/\mu s$ maka besar induktor yang dibutuhkan adalah sebagai berikut: (Fisher, 1991:73)

$$\begin{aligned} \frac{di}{dt} &= \frac{V_m}{L_{\min}} \\ 5 \cdot 10^7 &= \frac{311,126}{L_{\min}} \\ L_{\min} &= \frac{311,126}{5 \cdot 10^7} \\ &= 62,22 \cdot 10^{-7} H \\ &= 6,22 \mu H \end{aligned} \tag{4-4}$$

Sesuai dengan yang ada di pasaran maka dipilih induktor sebesar $60 \mu H$ sebanyak satu buah.

4.2.1.3. Pengaman dv/dt

Untuk melindungi komponen SCR dari efek dv/dt ketika sumber tegangan diberikan sehingga dapat mengakibatkan konduksi SCR yang tidak diinginkan maka tiap komponen SCR harus diberi pengaman terhadap efek dv/dt tersebut. Rangkaian pengaman dv/dt tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 4.10. Rangkaian pengaman dv/dt

Pengaman dv/dt terdiri dari kapasitor yang diseri dengan resistor kemudian dihubungkan parallel dengan komponen SCR seperti terlihat pada Gambar 4.10.

Untuk menentukan besar kapasitor C_s maka dapat ditentukan dari tabel sebagai berikut:

Tabel 4.1. Kapasitor untuk pengaman dv/dt

Rating arus SCR	Nilai kapasitor (μF)
1-3	0,022-0,100
3-10	0,100-0,330
10-30	0,330-0,500
30-100	0,500-1,000
100 ke atas	1,000-2,000

Sumber: Sen, 1995:212

Berdasarkan tabel tersebut maka disesuaikan dengan rating arus SCR sebesar 7,5 A maka dipilih nilai kapasitor antara 0,100 – 0,330 μF . Nilai kapasitor yang dipilih yang

ada dipasaran adalah $0,100 \mu F$ dengan rating tegangannya 600 V dan yang digunakan sebanyak empat buah.

Untuk menentukan nilai resistornya maka dapat dilakukan berdasarkan data dv/dt dari SCR yang dilihat pada data sheet SCR. Untuk type SCR BT 151-500R maka besar $dv/dt = 200 V/\mu s$, sehingga nilai resistornya dapat ditentukan sebagai berikut: (Sen, 2001:215)

$$\frac{dv}{dt} = \frac{V_m \cdot R}{L}$$

$$R_s < \frac{L}{V_m} \cdot \frac{dv}{dt}$$

$$R_s < \frac{60 \cdot 10^{-6}}{311,126} \cdot 20 \cdot 10^7$$

$$R_s < 38,57 \text{ ohm} \quad (4-5)$$

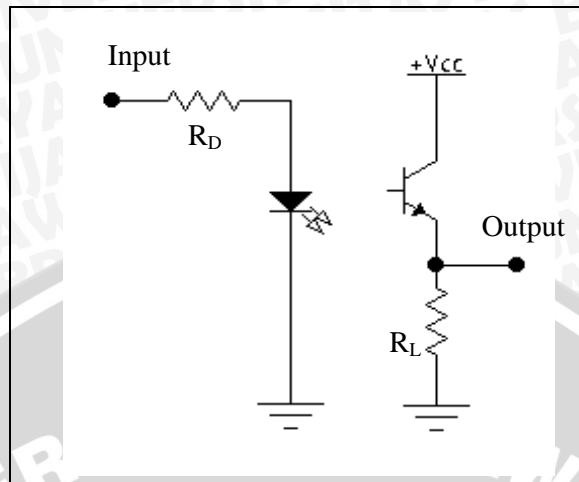
Dipilih resistor R_s yang ada dipasaran adalah 15 ohm dan yang digunakan sebanyak empat buah.

4.2.2 Perancangan Perangkat Keras Unit Pelindung

Unit pelindung berfungsi untuk melindungi rangkaian antar muka mikrokontroler yang memakai tegangan kerja $5 V_{DC}$ dari rangkaian terkontrol penuh satu fasa yang menggunakan SCR yang memakai tegangan kerja 220 V. Rangkaian ini memakai komponen utama berupa *optocoupler* PC817 yang memiliki karakteristik menurut datasheet sebagai berikut :

- Arus maju (I_F) saat saturasi = 20 mA
- Tegangan maju (V_F) = 1,2V
- Tegangan saturasi kolektor – emitor ($V_{CE(SAT)}$) = 0,1 V saat kondisi tes $I_C = 1 \text{ mA}$

Keempat buah optocoupler ini masing – masing memiliki rangkaian ditunjukkan dalam Gambar 4.11.



Gambar 4.11. Rangkaian optocoupler

Empat buah keluaran dari rangkaian antar muka mikrokontroler yang memiliki level tegangan TTL dihubungkan dengan R_D yang nilainya dihitung memakai Persamaan (4-6). Tegangan referensi (*ground*) yang dihubungkan dengan mikrokontroler adalah bagian pin katoda dari optocoupler.

$$\frac{V_{TTL} - V_F}{I_F} = \frac{5V - 1,2V}{20mA}$$

$$R_D = 190\Omega \tag{4-6}$$

Keluaran rangkaian pelindung selanjutnya dihubungkan dengan gate SCR dengan referensi GND. Pemberian R_L sebagai pull-down untuk membuat tegangan keluaran mendekati ground saat masukan berlogika “0”. Tetapi tegangan keluaran diharapkan mendekati 1,5 V saat masukan berlogika “1”. Besar R_L bisa dihitung menggunakan Persamaan (4-7).

$$\frac{1,5V - V_{CE(SAT)}}{I_C} = \frac{1,5V - 0,1V}{1mA}$$

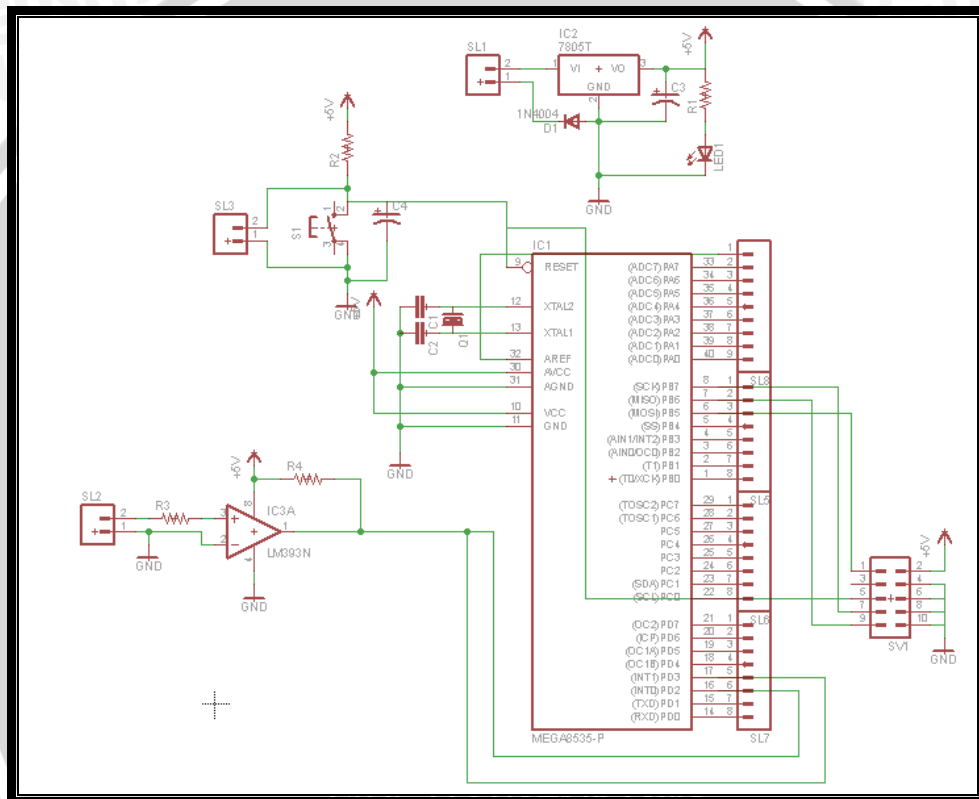
$$R_L = 1,4k\Omega \tag{4.7}$$

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa optocoupler terdiri dari dua bagian yaitu LED dan phototransistor. Prinsip kerja dari optocoupler adalah jika antara phototransistor dan LED terhalang maka phototransistor akan off sehingga output dari kolektor akan berlogika high. Sebaliknya jika antara phototransistor dan LED tidak terhalang maka phototransistor tersebut akan on sehingga outputnya akan berlogika low.

4.2.3 Perancangan Perangkat Keras Rangkaian Antar Muka Mikrokontroler ATmega8535

Salah satu komponen yang digunakan dalam alat ini adalah mikrokontroler ATmega8535. Jenis mikrokontroler ini dipilih karena pin I/O yang mencukupi untuk penggunaan pada alat ini.

Sebagai pusat dari pengolahan data dan pengontrolan alat, pin-pin ATmega8535 dihubungkan pada rangkaian pendukung membentuk suatu sistem minimum seperti dalam Gambar 4.12.



Gambar 4.12. Rangkaian Mikrokontroler ATmega8535

Pin-pin yang digunakan pada perancangan ini adalah:

1. PORTA

- PORTA.0 digunakan sebagai pin ADC untuk *potensiorotary*.

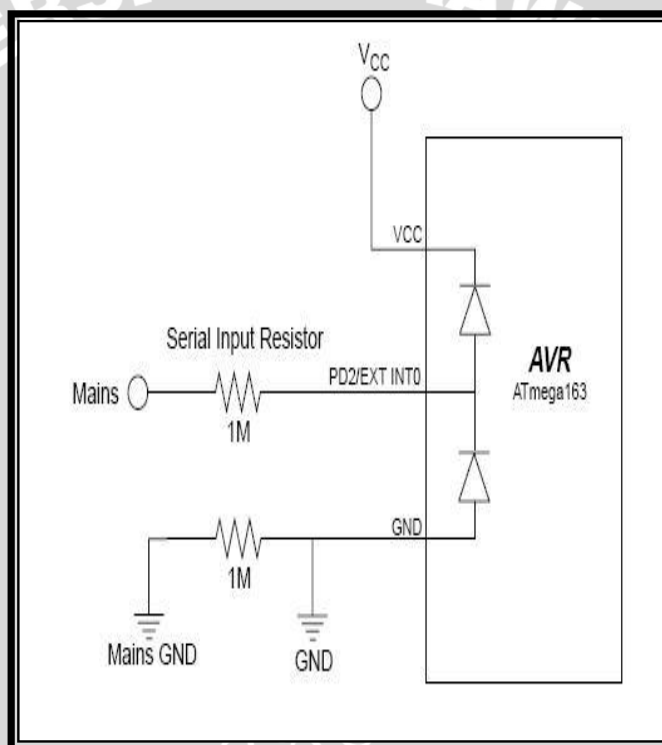
2. PORTB

- PORTB.1 digunakan sebagai pin untuk masukan ke gate SCR.
- PORTB.5 digunakan sebagai pin untuk menulis mikrokontroler (pin MOSI).
- PORTB.6 digunakan sebagai pin untuk menulis mikrokontroler (pin MISO).

- PORTB.7 digunakan sebagai pin untuk menulis mikrokontroler (SCK).
3. PORTD
 - PORTD.2 digunakan sebagai jalur rangkaian zero crossing detector.
 - PORTD.3 digunakan sebagai jalur rangakain zero crossing detector.
 4. XTAL1 dan XTAL2 digunakan sebagai input dari rangkaian osilator kristal.

4.2.4 Perancangan Perangkat Keras Rangkaian Zero Crossing Detector

Rangkaian Zero Crossing Detector berfungsi untuk mengetahui kapan sinyal masukan pada mikrokontroler bernilai nol. Gambar 4.13 menunjukkan skematik rangkaian *zero crossing detector*.

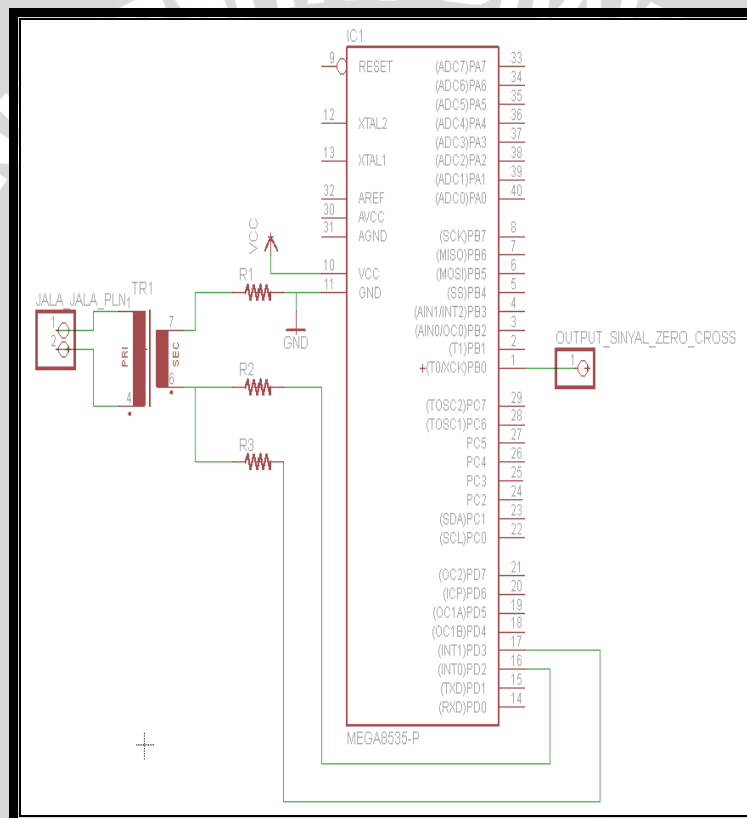


Gambar 4.13. Schematic Rangkaian Zero Crossing Detector

Sumber: datasheet AVR182

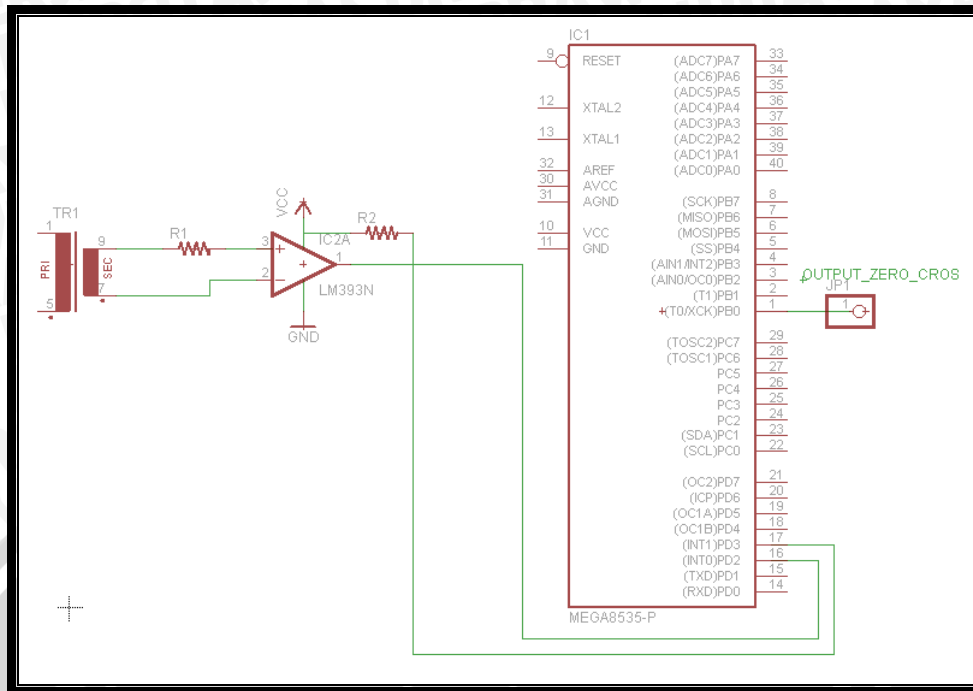
Gambar 4.14 menunjukkan rangkaian *Zero Crossing Detector* dimana pin-pin yang digunakan dalam perancangan adalah pin PB.0, PD.2 dan PD.3. Pin PD.2 dan Pin PD.3 digunakan sebagai pin interupsi eksternal dan pin PB.0 digunakan sebagai pin output yang berupa sinyal *Zero Crossing Detector*. Resistor yang digunakan bernilai 1 MΩ yang dihubungkan seri dengan pin 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 sefasa 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 *zero cross* yang akurat dengan kode pemrograman yang singkat dan berbasis interupsi. Pin PD.2, pin PD.3 dan GND dihubungkan ke transformator terlebih dahulu sebelum dihubungkan ke jala-jala PLN dengan tujuan untuk melindungi Mikrokontroler agar tidak rusak. Transformator yang digunakan adalah transformator 500 mA.



Gambar 4.14. Rangkaian Internal *Zero Crossing Detector*

Selain menggunakan internal zero cross yang memanfaatkan internal komparator yang ada di dalam mikrokontroler, dalam perancangan ini juga dibuat rangkaian *zero crossing detector* dengan memanfaatkan eksternal komparator yang menggunakan operational amplifier (Op Amp). Op Amp yang digunakan adalah LM393 yang pada umumnya memang digunakan sebagai rangkaian komparator. Adapun rangkaian *zero crossing detector* yang memanfaatkan eksternal komparator dapat dilihat dalam Gambar 4.15.



Gambar 4.15. Rangkaian Eksternal Zero Crossing Detector

Dalam Gambar 4.15 rangkaian eksternal zero crossing detector yang memanfaatkan eksternal komparator dengan menggunakan Op Amp, keluaran dari Op Amp akan masuk ke pin eksternal interrupt0 dan eksternal interrupt1 yaitu pin PD.2 dan pin PD.3. Kemudian output dari rangkaian zero crossing detector akan dikeluarkan melalui PORTB.0.

Perhitungan nilai R_1 dan R_2 adalah sebagai berikut:

Berdasarkan pada datasheet LM393 diperoleh data bahwa input offset current (I_{io}) sebesar 5 nA dan input bias current (I_{ib}) sebesar 25 nA, sehingga didapatkan nilai R_1 sebesar:

$$R_1 = \frac{V_{TRAF0}}{I_{ib}}$$

$$R_1 = \frac{3.5V}{25nA}$$

$$R_1 = 1,4M\Omega$$

Sehingga nilai R_1 yang digunakan sebesar 1 m Ω . Nilai R_2 yang digunakan sebesar 15 k Ω sesuai pada datasheet yang digunakan sebagai pull-up.

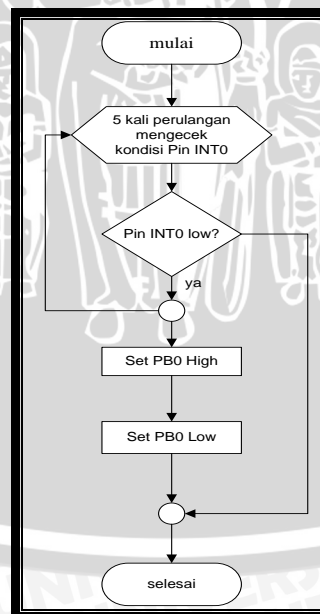
4.3 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak disusun untuk mendukung perangkat keras yang telah dirancang sebelumnya. Perangkat lunak yang akan dirancang diharapkan dapat mengoperasikan sistem secara optimal. Perangkat lunak yang akan dirancang adalah perangkat lunak pada mikrokontroler ATmega8535.

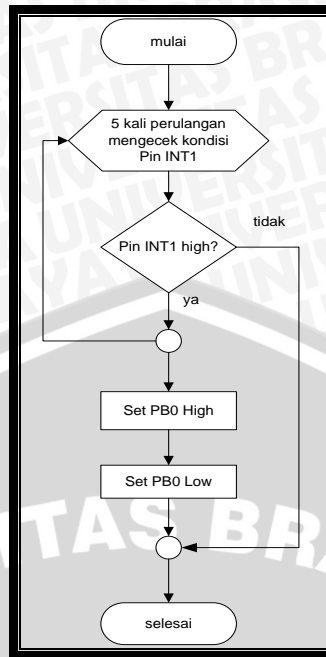
Perangkat lunak mikrokontroler dibuat menggunakan *Code Vision AVR* buatan HP *info tech*. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C. Pembuatan program pada mikrokontroler ATmega8535 terdiri dari 2 tahap. Tahap yang pertama adalah pembuatan program *zero crossing detector* dan tahap yang kedua adalah pembuatan program pada mikrokontroler untuk mengendalikan kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah.

4.3.1 Perancangan Perangkat lunak *Zero Crossing Detector*

Berdasarkan perancangan mekanisme sistem pengendalian kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah, maka diperlukan suatu pembuatan program *zero crossing detector*. Diagram alir pembuatan program *zero crossing detector* adalah seperti dalam Gambar 4.16 dan 4.17. Dalam program *zero crossing detector* ini digunakan 2 eksternal interrupt yaitu ExtInt0 dan ExtInt1.



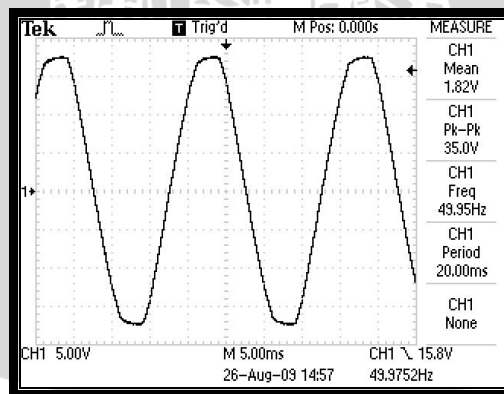
Gambar 4.16. Flowchart pada ExtInt0



Gambar 4.17. Flowchart pada ExtIn1

Penjelasan diagram alir dalam gambar 4.16 dan 4.17 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) sama dengan periode dari satu buah gelombang sinusoida masukan. Gelombang masukan pada mikrokontroler dapat dilihat dalam Gambar 4.18.

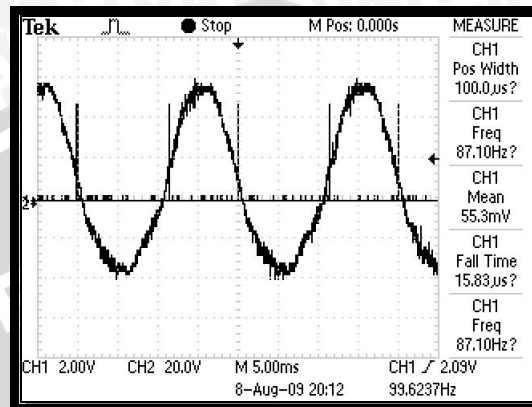


Gambar 4.18. Gelombang Masukan pada Mikrokontroler

2. Untuk mengecek sinyal masukan tersebut noise atau bukan maka pada rutin ditambahkan perulangan lima kali pengecekan pin INTO dan INT1 setelah terjadi interupsi. Karena setelah *zero cross* terjadi adalah kondisi low maka sinyal masukan dianggap noise jika pada lima kali pengecekan pin INTO terdapat kondisi high pada pin tersebut (PORTD.2), dan sebaliknya karena

setelah *zero cross* terjadi adalah kondisi high maka sinyal masukan dianggap noise jika pada lima kali pengecekan pin INT1 terdapat kondisi low pada pin tersebut (PORTD.3)

3. Output dari rangkaian *zero crossing detector* dapat dilihat pada PORTPB.0. Grafik keluaran *zero crossing detector* dapat dilihat dalam Gambar 4.19.

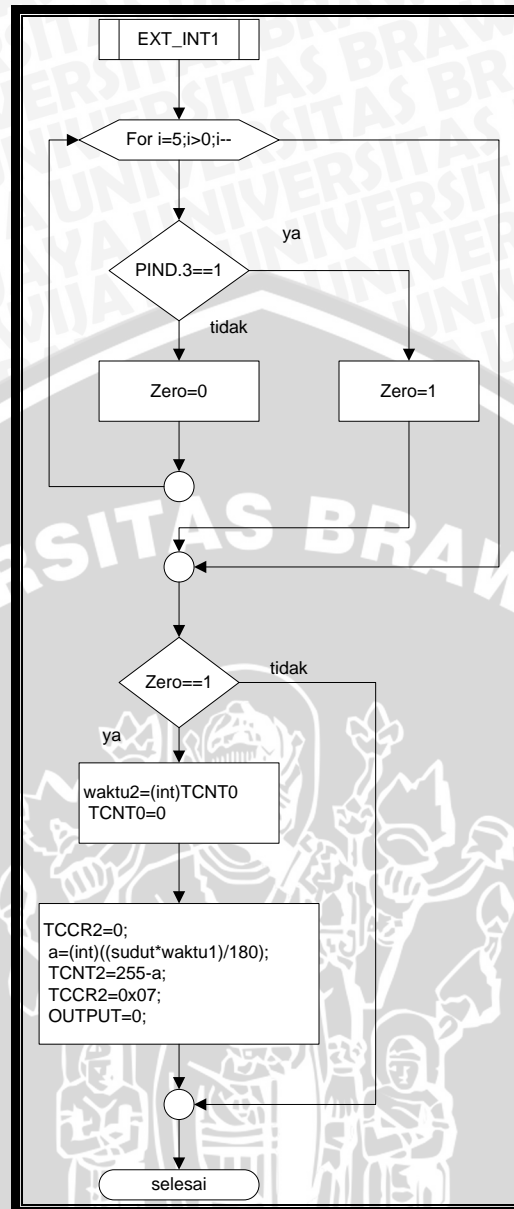


Gambar 4.19. Sinyal Keluaran Zero Crossing Detector

Zero crossing detector ditandai dengan adanya interrupt yang terjadi pada waktu tepi naik dan tepi turun seperti terlihat dalam Gambar 4.19.

4.3.2 Perancangan Perangkat Lunak Pengaturan Sudut Penyalaan SCR

Perangkat lunak pengaturan sudut penyalaan SCR dibuat menggunakan *Code Vision AVR* buatan HP info tech. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C. berdasarkan perancangan sudut penyalaan SCR yang diinginkan, maka dibuat diagram alir perangkat lunak pengaturan sudut penyalaan SCR yang akan digunakan untuk mengendalikan kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah yang ditunjukkan dalam Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Diagram Alir Perangkat Lunak Pengaturan Sudut Penyalaan SCR

Penjelasan Diagram Alir dalam Gambar 4.19. adalah sebagai berikut:

1. Pendeteksi nol (*zero crossing detector*) telah dijelaskan sebelumnya, pada pengaturan sudut penyalaan ini melanjutkan dari pendeteksi nol tersebut. Saat eksternal interrupt (EXT INT1) saat tepi naik pendeteksi sinyal telah melewati nol maka timer nol dihidupkan ($TCCR0 = 0x05$) dan dimatikan kembali setelah mendeteksi nol berikutnya ($TCCR0 = 0$)
2. Karena menggunakan dua buah interrupt untuk mendeteksi tepi naik dan tepi turun maka perhitungan timer selalu mulai dan berhenti saat mendeteksi nol saja baik saat tepi naik dan tepi turun.

3. Saat pendeteksian nol pertama, timer mulai dihidupkan dan menghitung sampai deteksi nol selanjutnya.
4. Setelah itu baru diberikan interupsi untuk membuat keluaran berlogika satu sesuai dengan lama waktu penyalaan yang kita inginkan.
5. Untuk lebih jelasnya gambar keluaran program ini akan dijelaskan pada pengujian.



BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini membahas pengujian baik perangkat pendukung maupun sistem secara keseluruhan yang telah dibuat. Pengujian dilakukan dengan menguji setiap blok dari sistem dengan cara memberikan perubahan pada masukan blok rangkaian dan mengamati keluaran dari blok rangkaian yang diuji tersebut secara keseluruhan dengan harapan dapat diketahui performansi dan kesesuaian antara hasil pembuatan dan perancangan yang diharapkan. Pengujian ini memerlukan adanya penyesuaian antara perangkat keras yang diuji dengan perangkat lunak yang mendukung. Sedangkan analisis dilakukan dengan mengolah data hasil pengujian. Hal tersebut dilakukan untuk mendukung pengambilan kesimpulan dan saran. Pengujian dan analisis yang dilakukan meliputi:

1. Pengujian dan analisis rangkaian pentriggeran SCR.
2. Pengujian dan analisis rangkaian optocoupler.
3. Pengujian dan analisis rangkaian *zero cross detector*.
4. Pengujian dan analisis sensor arus.
5. Pengujian dan analisis sistem secara keseluruhan.

5.1 Pengujian dan analisis rangkaian pentriggeran SCR

5.1.1. Tujuan Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian terkontrol penuh SCR sudah dapat bekerja dengan baik untuk mengendalikan kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah yang diatur berdasarkan besar sudut penyalan SCR.

5.1.2. Peralatan Pengujian

Peralatan yang dibutuhkan dalam pengujian rangkaian terkontrol penuh SCR antara lain sebagai berikut:

- 1) SCR
- 2) Resistor
- 3) Kuprok
- 4) Catu daya 220V/50 Hz
- 5) Transformator
- 6) Lampu pijar

- 7) Voltmeter
- 8) Osiloskop

5.1.3. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dalam melakukan pengujian rangkaian terkontrol penuh SCR antara lain sebagai berikut:

- 1) Membuat rangkaian pengujian seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.2
- 2) Sebelum dilakukan pengujian terlebih dahulu harus dihitung besaran-besaran yang ada pada rangkaian. Berikut adalah perhitungannya:

Perhitungan pada Gambar 5.2 (b)

- Jika $V_{gate} = 0.6 \text{ V}$, $I_{gate} = 2 \text{ mA}$

$$R_1 = \frac{V_{TRAFO} - 2V_D - V_{GT}}{I_{GT}}$$

$$R_1 = \frac{4,5V - 1,4V - 0,6V}{2mA}$$

$$R_1 = 1250\Omega$$

- Jika $V_{gate} = 1,5 \text{ V}$, $I_{gate} = 15 \text{ mA}$

$$R_1 = \frac{V_{TRAFO} - 2V_D - V_{GT}}{I_{GT}}$$

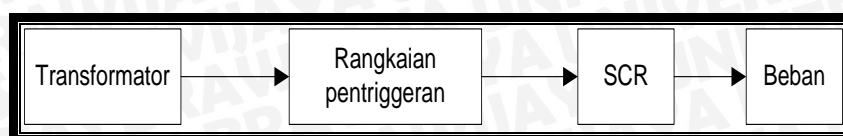
$$R_1 = \frac{4,5V - 1,4V - 1,5V}{15mA}$$

$$R_1 = 106.667\Omega$$

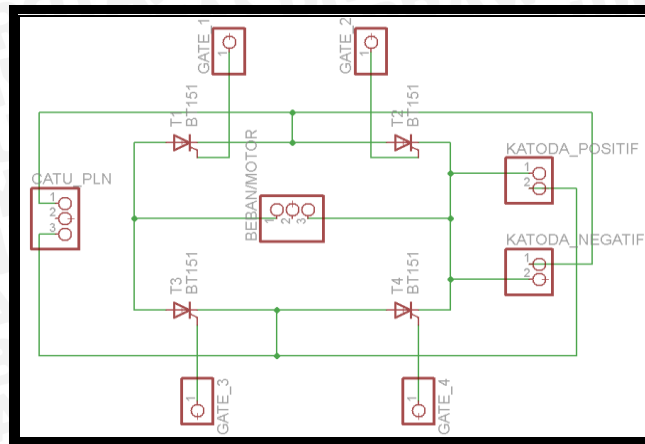
Untuk nilai komponen R_1, R_2, R_3 dan R_4 sama yaitu digunakan resistor sebesar 330Ω .

- 3) Beban yang digunakan adalah berupa 2 buah LED ketika sumber tegangan yang digunakan berupa catu daya AC 24V/50 Hz.
- 4) Beban yang digunakan adalah berupa lampu pijar 15 Watt ketika sumber tegangan yang digunakan berupa catu daya AC 220V/50 Hz.
- 5) Sinyal keluaran dari rangkaian akan diperlihatkan melalui osiloskop.

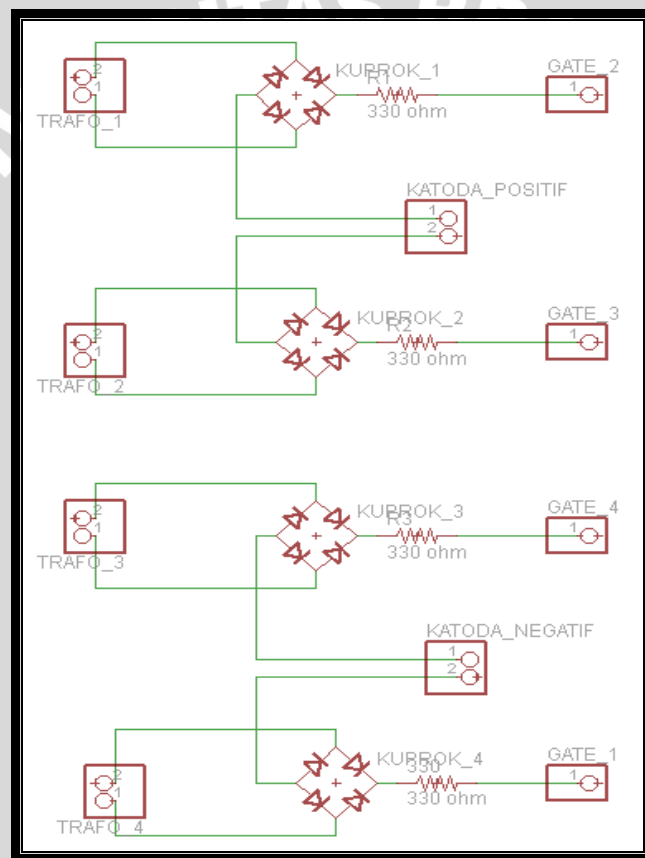
Diagram blok pengujian rangkaian pentriggeran SCR ditunjukkan dalam Gambar 5.1 berikut:



Gambar 5.1. Diagram Blok Pengujian Rangkaian Pentriggeran SCR



(a)



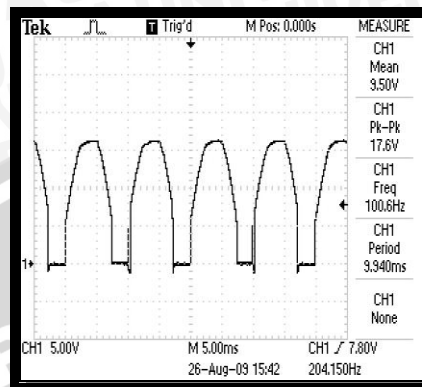
(b)

Gambar 5.2. Rangkaian pengujian pentriggeran SCR
 (a) Rangkaian terkontrol penuh SCR
 (b) Rangkaian pentriggeran gate SCR

5.1.4. Data Pengujian

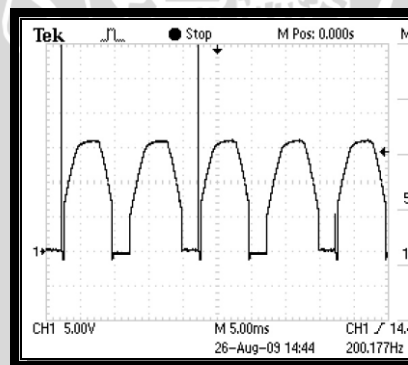
Pengujian rangkaian pentriggeran SCR menggunakan kuprok sebagai penyearah sinyal keluaran dari transformator sebelum masuk ke gate SCR, karena sinyal pemicuan gate SCR harus berupa sinyal DC. Hasil pengujian dengan menggunakan tegangan masukan 24 volt ini ditunjukkan dalam Gambar 5.2. Pada pengujian menggunakan

tegangan masukan 24 volt ini menggunakan 2 buah beban LED. Pada rangkaian pengujian ini, LED akan menyala yang menunjukkan bahwa rangkaian pengujian pentriggeran SCR berhasil. Keluaran tegangan pada osiloskop dapat dilihat dalam Gambar 5.3.

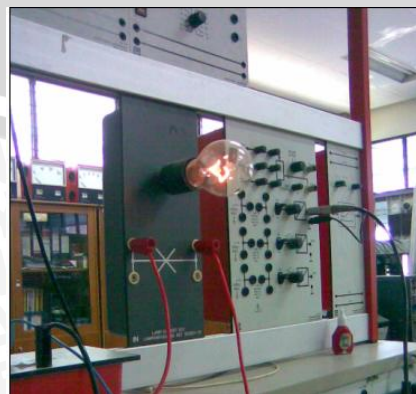


Gambar 5.3. Sinyal Keluaran SCR

Setelah dilakukan pengujian dengan tegangan masukan 24 volt maka dilakukan dengan pengujian dengan tegangan masukan 220 volt, pada pengujian dengan tegangan masukan 220 volt ini menggunakan beban berupa lampu pijar 15 watt. Pada pengujian dengan tegangan masukan 220 volt ini berhasil dengan menyalakan lampu dan dengan gelombang keluaran yang ditunjukkan melalui osiloskop dalam Gambar 5.4 berikut:



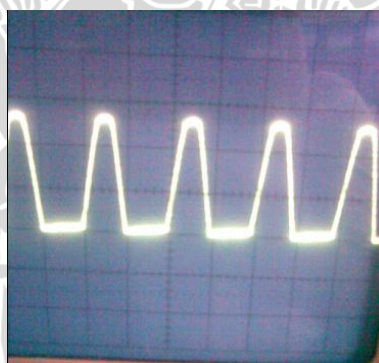
Gambar 5.4. Sinyal Keluaran SCR



Gambar 5.5. Beban Lampu Pijar

5.1.5. Analisis Data Pengujian

Berdasarkan gambar hasil pengujian yang diperlihatkan oleh osiloskop dan beban lampu pijar dalam Gambar 5.4 dan Gambar 5.5 yang menunjukkan bahwa lampu pijar telah meyalama maka dapat disimpulkan bahwa rangkaian pentriggeran SCR yang dibuat telah dibuat dapat bekerja sesuai dengan yang dirancang. Selain menggunakan kuprok sebagai penyearah sinyal keluaran dari transformator sebelum masuk ke gate SCR, juga pernah dilakukan pengujian dengan menggunakan dioda sebagai penyearah. Perlu diketahui apabila menggunakan kuprok sebagai penyearah, keempat gate SCR dari rangkaian penyearah terkontrol penuh dapat diaktifkan secara bersamaan. Apabila menggunakan dioda sebagai penyearah maka penyalakan gate SCR dilakukan secara bergantian, gate SCR 2 dinyalakan secara bersamaan dengan gate SCR3, sedangkan gate SCR 4 dinyalakan secara bersamaan dengan gate SCR 1. Apabila keempat gate dari SCR dinyalakan secara bersamaan, maka sinyal keluaran yang dihasilkan berupa sinyal penyearah setengah gelombang seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.6. Oleh karena itu dalam perancangan diputuskan menggunakan kuprok sebagai penyearah sinyal keluaran dari transformator sebelum masuk ke gate SCR.



Gambar 5.6. Sinyal Keluaran SCR dengan Dioda Sebagai Penyearah

5.2 Pengujian Rangkaian Optocoupler

5.2.1. Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian rangkaian optocoupler adalah untuk mengetahui apakah sinyal masukan yang akan mengatur sudut penyalakan pada gate SCR sesuai dengan sinyal keluaran yang dikeluarkan oleh mikrokontroler.

5.2.2. Peralatan Pengujian

- 1) Project board
- 2) Optocoupler
- 3) Kuprok

- 4) Resistor 200 Ω dan 330 Ω
- 5) Transformator 350 mA
- 6) Mikrokontroler ATmega8535
- 7) Osiloskop
- 8) Power supply

5.2.3. Prosedur Pengujian

Pengujian rangkaian optocoupler dilakukan dengan mengamati sinyal keluaran dari rangkaian optocoupler apakah telah sesuai dengan sinyal masukan dari mikrokontroler. Sinyal keluaran dari rangkaian optocoupler akan menjadi sinyal masukan dari gate SCR yang akan mengatur berapa besar sudut penyalan yang akan diberikan pada gate SCR tersebut. Optocoupler yang digunakan sebanyak empat buah sehingga. Prosedur pengujian rangkaian optocoupler adalah sebagai berikut:

- 1) Membuat rangkaian pengujian seperti ditunjukkan dalam gambar 5.8.
- 2) Melakukan perhitungan besaran-besaran yang ada pada rangkaian.

Perhitungan yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

Perhitungan nilai resistor R_1 , R_2 , R_3 dan R_4 sama dengan perhitungan pada bagian pengujian rangkaian pentriggeran SCR.

Perhitungan R_5 , R_6 , R_7 dan R_8 adalah sebagai berikut:

Sesuai datasheet dari optocoupler PC817 didapatkan data sebagai berikut:

$V_F = 1,2 \text{ V}$, $I_F = 20 \text{ mA}$, sehingga dihasilkan perhitungan sebagai berikut:

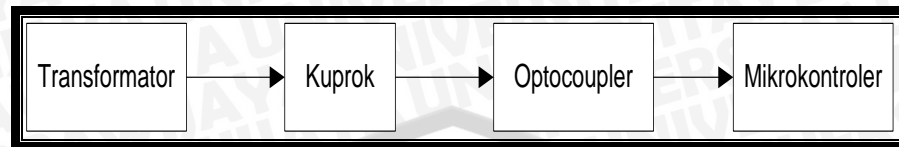
$$\frac{V_{TTL} - V_F}{I_F} = \frac{5V - 1,2V}{20mA}$$

$$R_D = 190\Omega$$

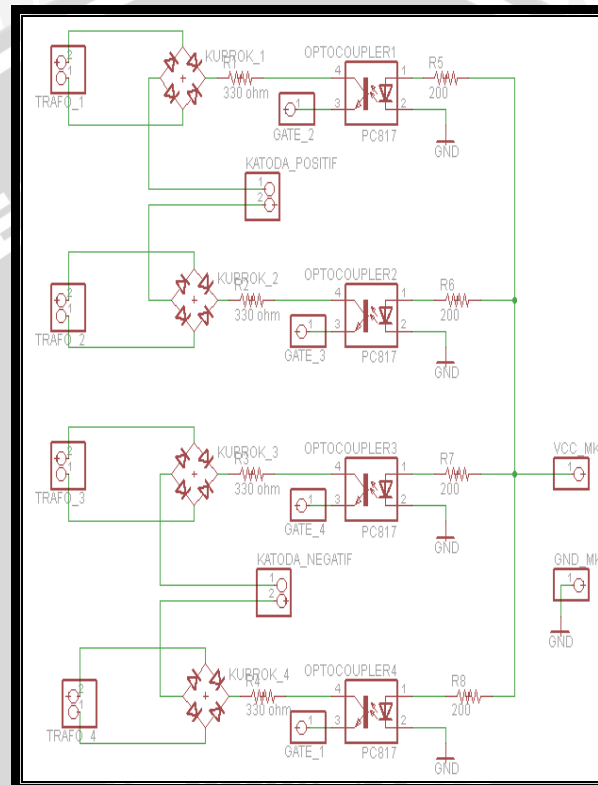
Nilai R_5 , R_6 , R_7 dan R_8 yang digunakan sebesar 200 Ω .

- 3) Membuat perangkat lunak untuk memberikan beberapa nilai sudut penyalan dalam software codevision AVR, melakukan compiling dan mengisikan ke mikrokontroler ATmega8535.
- 4) Menghubungkan mikrokontroler ATmega8535 pada catu daya 5 V.
- 5) Menghubungkan rangkaian optocoupler dengan rangkaian kuprok dan rangkaian dari mikrokontroler ATmega8535.
- 6) Menghubungkan rangkaian kuprok dengan transformator 350 mA yang tegangannya telah diturunkan menjadi 4,5 V.

Diagram blok pengujian rangkaian optocoupler ditunjukkan dalam Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7. Diagram Blok Pengujian Rangkaian Optocoupler



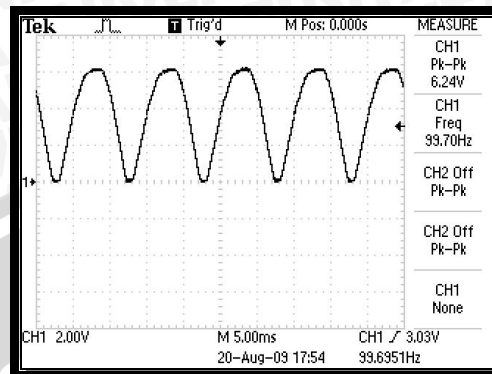
Gambar 5.8. Rangkaian Pengujian Optocoupler

5.2.4. Data Hasil Pengujian

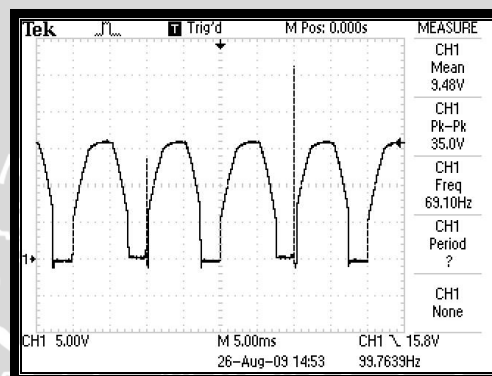
Data hasil pengujian rangkaian optocoupler adalah sebagai berikut:

- 1) Pengujian yang terlebih dahulu dilakukan adalah pada rangkaian kuprok. Keluaran rangkaian kuprok adalah penyearah gelombang penuh yang ditunjukkan dalam Gambar 5.9.
- 2) Hasil pengujian rangkaian optocoupler berupa sinyal keluaran yang berbentuk sinusoida yang menandakan bahwa optocoupler tersebut aktif atau tidak sesuai dengan program yang telah dibuat. Gambar sinyal keluaran dari optocoupler ditunjukkan dalam Gambar 5.10.

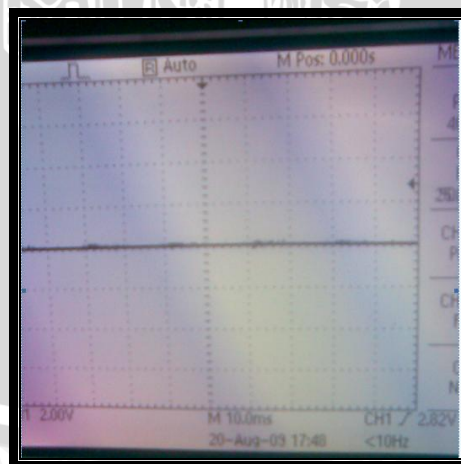
- 3) Apabila optocoupler tidak dihubungkan dengan mikrokontroler atau tidak diberi catu maka sinyal keluaran yang akan dihasilkan adalah seperti dalam Gambar 5.11.



Gambar 5.9. Hasil Sinyal Keluaran Rangkaian Kuprok



Gambar 5.10. Sinyal Keluaran dari Optocoupler Apabila Dihubungkan dengan Mikrokontroler



Gambar 5.11. Sinyal Keluaran dari Optocoupler Apabila Tidak Dihubungkan Dengan Mikrokontroler

5.2.5. Analisis Data Pengujian

Berdasarkan gambar hasil pengujian rangkaian *optocoupler* dapat dinyatakan bahwa rangkaian *optocoupler* yang digunakan dapat bekerja sesuai dengan yang

dirancang yaitu rangkaian optocoupler dapat memutus dan menghubungkan rangkaian dari kuprok dan rangkaian mikrokontroler.

5.3 Pengujian dan analisis Rangkaian *Zero Cross Detector*

5.3.1. Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian rangkaian *Zero Cross Detector* adalah untuk mengetahui apakah rangkaian *Zero Cross Detector* sudah berfungsi dengan baik sebagai rangkaian sensor tegangan jala-jala yang digunakan untuk mendeteksi keadaan nol yang akan diberikan pada Mikrokontroler.

5.3.2. Peralatan Pengujian

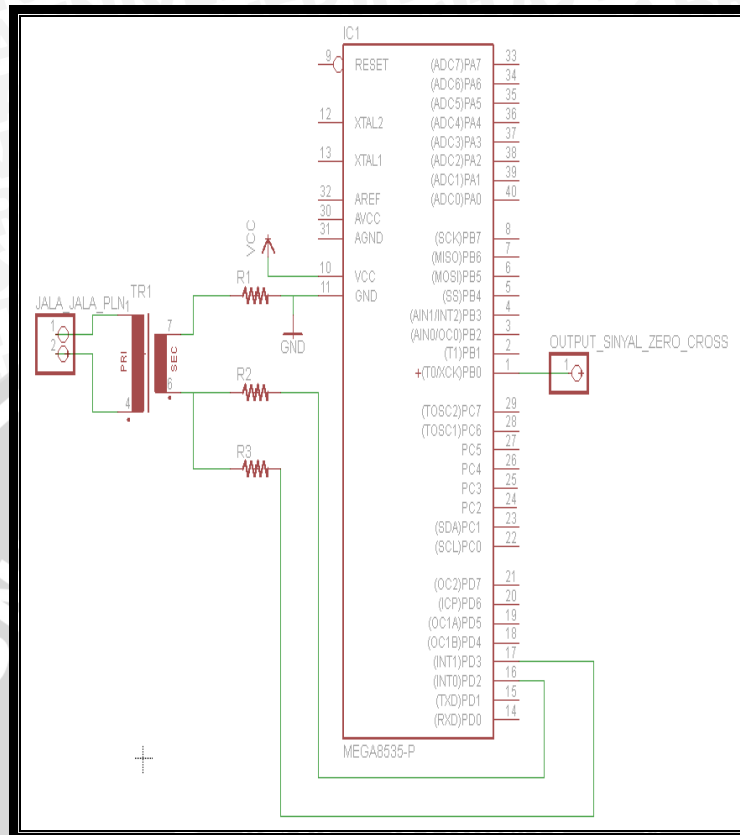
- 1) Project board
- 2) Resistor 1 M Ω
- 3) Transformator 500 mA
- 4) Power supply
- 5) Osiloskop
- 6) Mikrokontroler ATmega8535

5.3.3. Prosedur Pengujian

Pengujian rangkaian *Zero Cross Detector* dilakukan pada beberapa macam logika. Rangkaian *Zero Cross Detector* dapat digunakan untuk mendeteksi kapan sinyal nol pada waktu tepi naik, tepi turun atau kedua-duanya yang ditandai dengan terjadinya interupsi. Prosedur pengujian dalam melakukan pengujian *Zero Cross Detector* adalah sebagai berikut:

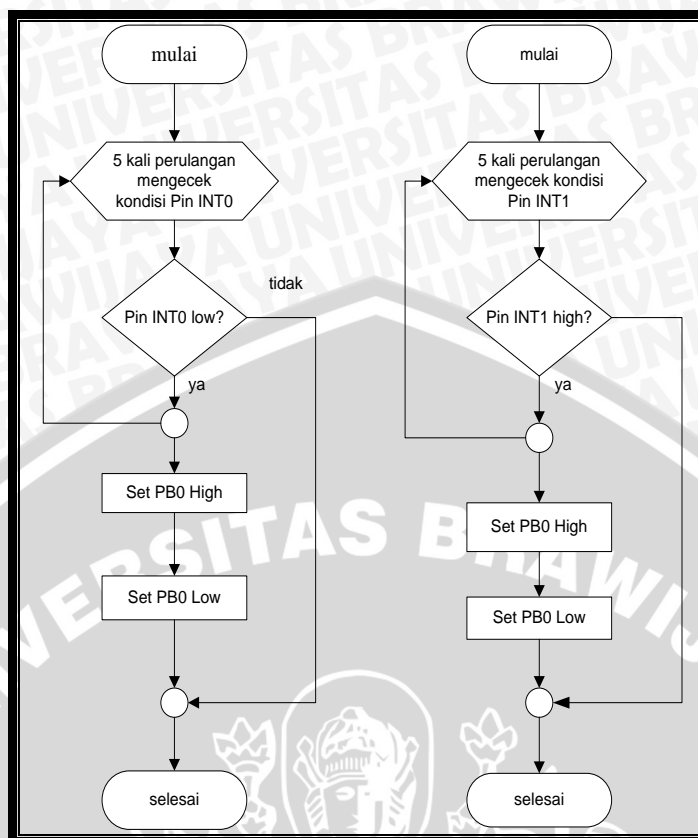
- 1) Membuat rangkaian seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.12 dan 5.13.
- 2) Membuat perangkat lunak untuk mendeteksi terjadinya interrupt pada tepi naik, tepi turun atau kedua-duanya dalam software codevision AVR dengan diagram alir seperti dalam Gambar 5.14, melakukan compiling dan mengisikikan ke mikrokontroler ATmega8535.
- 3) Menghubungkan mikrokontroler ATmega8535 dengan catu daya 5 V.
- 4) Menghubungkan transformator dengan jala-jala PLN kemudian keluaran dari transformator diturunkan menjadi 6 V yang akan dihubungkan ke pin PD.2 dan ground dari Mikrokontroler.

- 5) Mengubungkan keluaran dari mikrokontroller yang diwakili oleh PORTB.0 ke *oscilloscope*.



Gambar 5.12. Rangkaian Zero Crossing Detector





Gambar 5.13. Diagram alir Program *Zero Crossing Detector*

Pembuatan software rangkaian zero crossing detector pada mikrokontroler Atmega8535 ini menggunakan bahasa C pada software CodeVision AVR sesuai dengan perancangan.

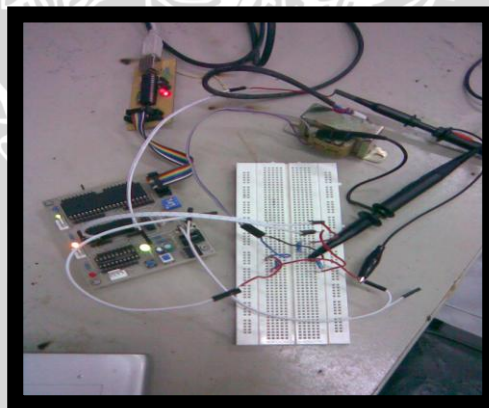
Proses program yang dibuat ditunjukkan dalam Gambar 5.14. Program lengkap untuk pembuatan alat dapat dilihat dalam lampiran.

```

CODEVISIONAVR - ZERO.PRJ - [E:\FINAL PROJECT\ALAT_NEW\SOFTWARE_ALAT\PROGRAM_ZERO\030509\ZERO.C]
File Edit View Project Tools Settings Windows Help
CodeVisionAVR
Project: z
Note
zero1
Other File
34 // External Interrupt 0 service routine
35 interrupt [EXT_INT0] void ext_int0_isr(void)
36 {
37     for (a=0;a<5;a++)
38     {
39         if (pin_interupsi==1)
40         {
41             break;
42         }
43         else
44         {
45             penanda_interupsi=1;
46         }
47     }
48
49     if (penanda_interupsi==1)
50     {
51
52         PORTB.0=1;
53         delay_us(10);
54         PORTB.0=0;
55     }
56 }
57
58
59 // External Interrupt 1 service routine
60 interrupt [EXT_INT1] void ext_int1_isr(void)
61 {
62     for (a=0;a<5;a++)
63     {
64         if (pin_interupsi==0)
65         {
66             break;
67         }
68         else
69         {
70             penanda_interupsi=1;

```

Gambar 5.14. Proses pembuatan program dengan bahasa C



Gambar 5.15. Pengujian Rangkaian Zero Cross Detector

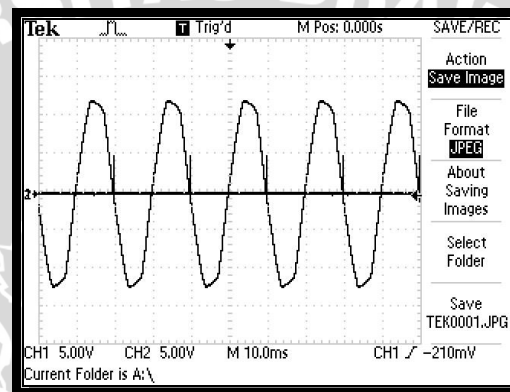
5.3.4. Data Pengujian

Data hasil pengujian rangkaian Zero Crossing Detector adalah sebagai berikut:

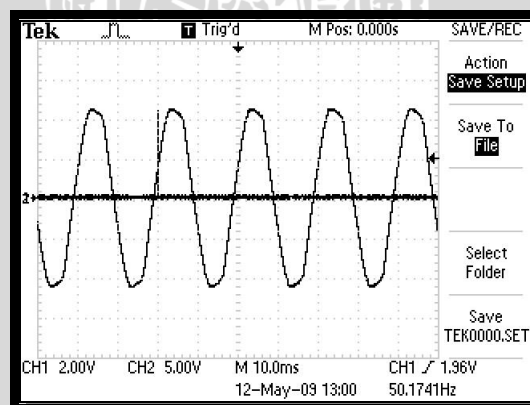
- 1) Apabila interrupt mikrokontroler diaktifkan pada tepi turun, maka akan ditandai dengan adanya sinyal interrupt pada tepi turun dari sinyal masukan jala-jala PLN. Gambar sinyal masukan dari jala-jala PLN dan sinyal yang menandai terjadinya interrupt pada tepi turun ditunjukkan dalam Gambar 5.16.
- 2) Apabila interrupt mikrokontroler diaktifkan pada tepi naik, maka akan ditandai dengan adanya sinyal interrupt pada tepi naik dari sinyal masukan

jala-jala PLN. Gambar sinyal masukan dari jala-jala PLN dan sinyal yang menandai terjadinya interrupt pada tepi naik ditunjukkan dalam Gambar 5.17.

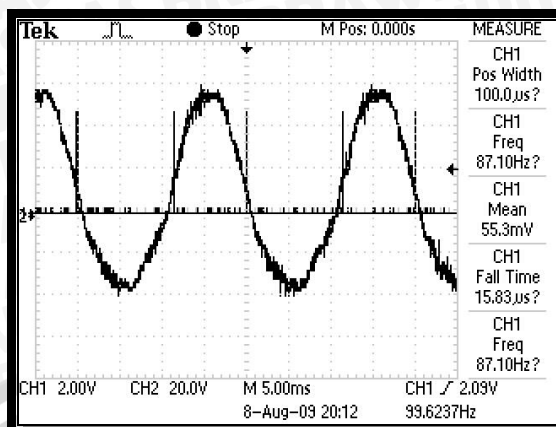
- 3) Apabila interrupt mikrokontroller diaktifkan pada tepi turun dan tepi naik, maka akan ditandai dengan adanya sinyal interrupt pada tepi turun dan tepi naik dari sinyal masukan jala-jala PLN. Gambar sinyal masukan dari jala-jala PLN dan sinyal yang menandai terjadinya interrupt pada tepi turun dan tepi turun ditunjukkan dalam Gambar 5.18.
- 4) Mikrokontroller berhasil mendeteksi terjadinya interrupt yang diaktifkan pada tepi turun, tepi naik, tepi naik dan tepi turun.



Gambar 5.16. Hasil Pengujian Rangkaian *Zero Cross Detector* yang Mendeteksi Adanya Interrupt pada Tepi Turun



Gambar 5.17. Hasil Pengujian Rangkaian *Zero Cross Detector* yang Mendeteksi Adanya Interrupt pada Tepi Naik



Gambar 5.18. Hasil Pengujian Rangkaian *Zero Cross Detector* yang Mendeteksi Adanya Interrupt pada Tepi Turun dan Tepi Naik

5.3.5. Analisa Data Pengujian

Berdasarkan gambar hasil pengujian rangkaian *Zero Cross Detector* dapat dinyatakan bahwa rangkaian *Zero Cross Detector* dapat bekerja sesuai dengan yang dirancang dan dapat mendeteksi adanya interrupt pada tepi turun, tepi naik, tepi turun dan tepi naik.

5.4 Pengujian dan Analisis Sensor Arus

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.

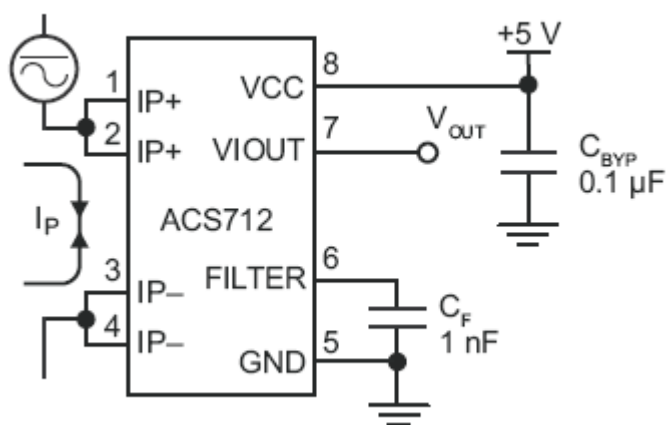
5.4.1 Peralatan Pengujian

Peralatan-peralatan yang digunakan adalah:

- 1) Baterai
- 2) Kapasitor 0.1 uF dan 1 uF
- 3) Beban variabel resistif
- 4) Sensor arus ACS712
- 5) Sumber AC 220 V

5.4.2 Prosedur Pengujian

- 1) Komponen-komponen dihubungkan seperti pada Gambar 5.19.
- 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.



Gambar 5.19. Rangkaian Pengujian Sensor Arus

5.4.3 Hasil Pengujian dan Analisis

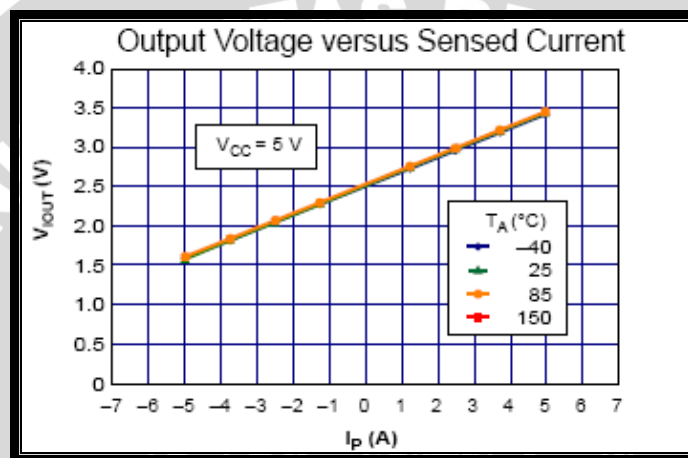
Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka akan didapatkan hasil pengujian yang ditunjukkan dalam Tabel 5.1

Tabel 5.1. Hasil Pengujian Sensor Arus

No.	V	Beban (Ohm)	Arus (A)	V out (V)
1.	220	73.33	3	3.055
2.	220	75.86	2.9	3.0365
3.	220	78.57	2.8	3.018
4.	220	81.48	2.7	2.9995
5.	220	84.61	2.6	2.981
6.	220	88	2.5	2.9625
7.	220	91.66	2.4	2.944
8.	220	95.65	2.3	2.9255
9.	220	100	2.2	2.907
10.	220	104.76	2.1	2.8885
11.	220	110	2	2.87
12.	220	115.78	1.9	2.8515
13.	220	122.22	1.8	2.833
14.	220	129.41	1.7	2.8145
15.	220	137.5	1.6	2.796

16.	220	146.66	1.5	2.7775
17.	220	157.14	1.4	2.759
18.	220	169.23	1.3	2.7405
19.	220	183.33	1.2	2.722
20.	220	200	1.1	2.7035
21.	220	220	1	2.685

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 dalam Gambar 5.20.



Gambar 5.20. Karakteristik perubahan tegangan terhadap arus pada sensor arus ACS712

5.5 Pengujian dan Analisis Sistem Secara Keseluruhan

5.5.1. Tujuan

Pengujian sistem *Laboratory Workbench* yang dibuat secara keseluruhan bertujuan untuk:

- 1) Mengetahui kerja dari keseluruhan sistem *Laboratory Workbench* Pengendalian Kecepatan Putaran Motor DC dengan Penguatan Terpisah.
- 2) Mengetahui keberhasilan kerja bagian-bagian penyusun sistem *Laboratory Workbench* Pengendalian Kecepatan Putaran Motor DC dengan Penguatan Terpisah.

5.5.2. Peralatan

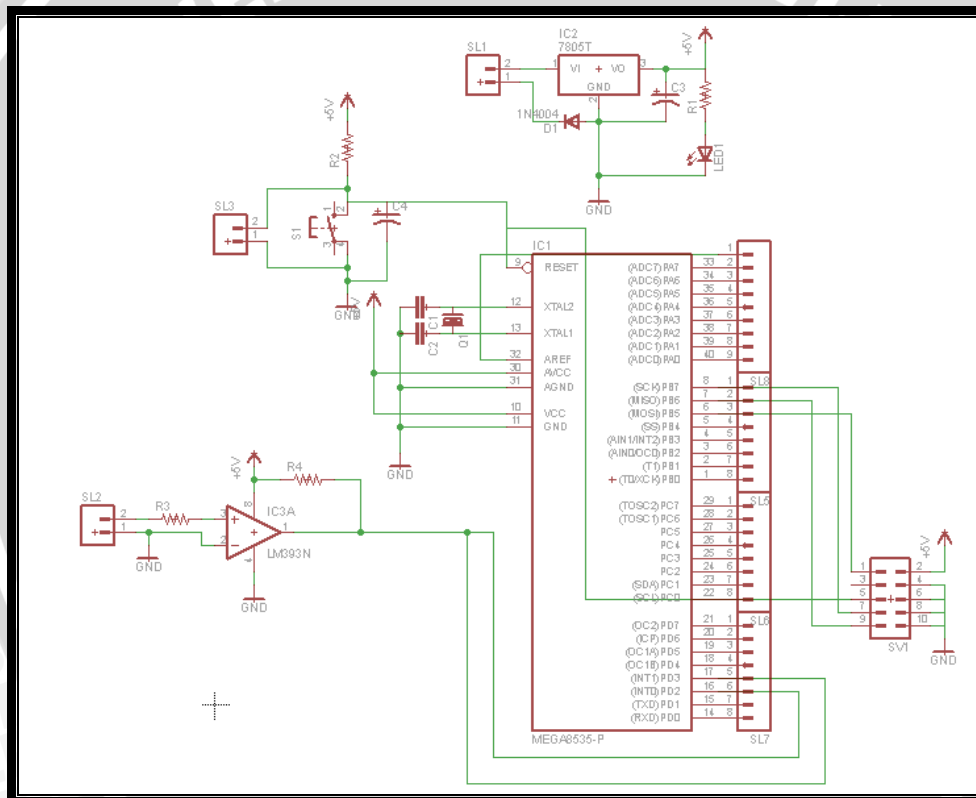
Peralatan-peralatan yang digunakan pada pengujian adalah sebagai berikut:

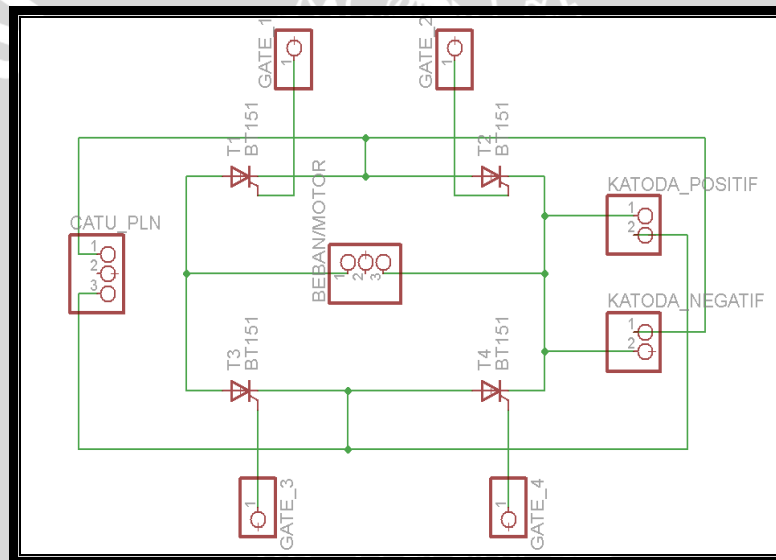
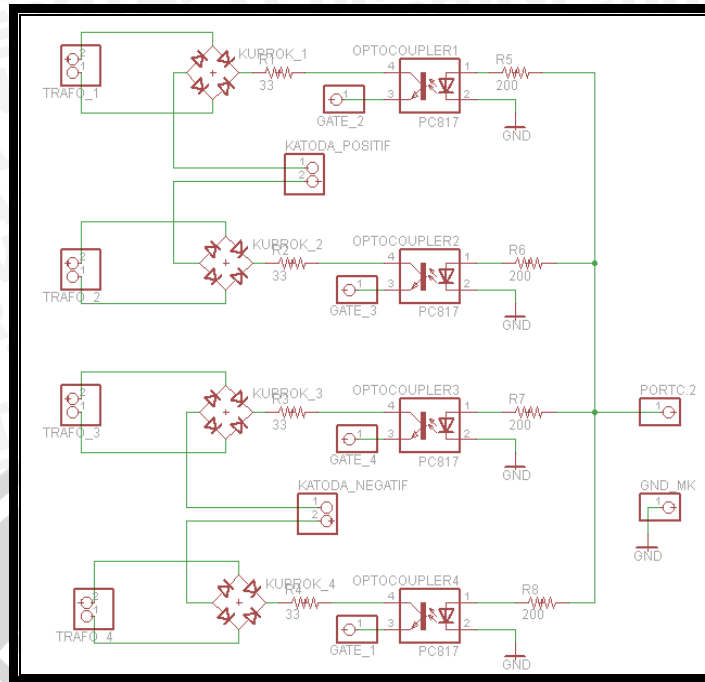
- 1) Bagian pengatur kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah meliputi:

- a. SCR
 - b. Optocoupler
 - c. Mikrokontroler ATmega8535
 - d. Sensor arus
- 2) Catu daya AC 220 V/50 Hz
 - 3) Lampu pijar 15 W, beban resistif, beban induktif dan motor DC.
 - 4) Amperemeter
 - 5) Voltmeter

5.5.3. Rangkaian Pengujian

Rangkaian pengujian ditunjukkan dalam Gambar 5.21.





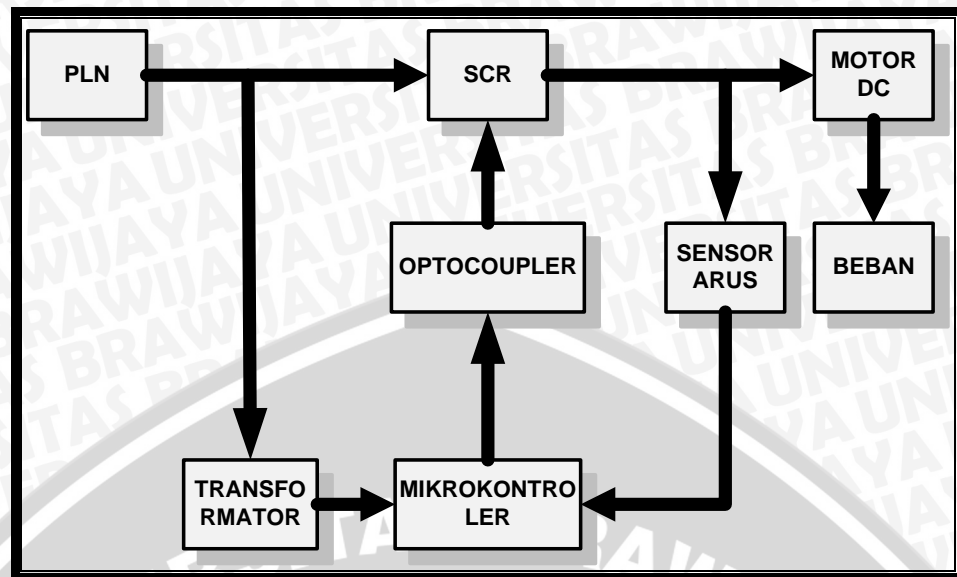
Gambar 5.21. Rangkaian Pengujian Secara Keseluruhan

5.5.4. Prosedur pengujian

- 1) Membuat rangkaian sistem *Laboratory Workbench* pengendalian kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah seperti dalam Gambar 5.21.
- 2) Pengujian dilakukan menggunakan beban lampu terlebih dahulu, kemudian baru dihubungkan dengan beban motor.
- 3) Pengujian menggunakan motor tak berbeban dan motor berbeban.

Diagram blok pengujian system secara keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar

5.21 berikut:

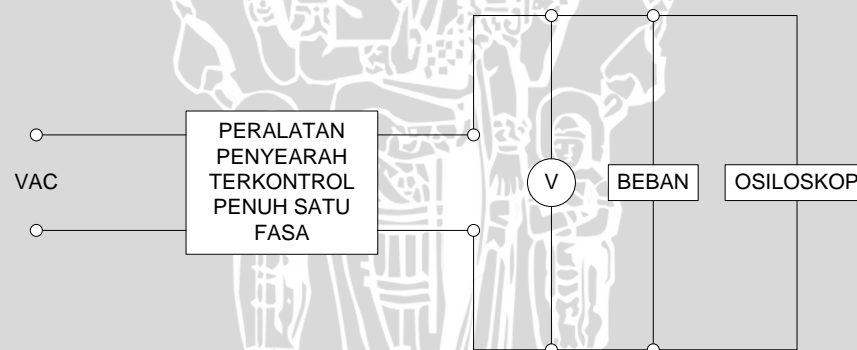


Gambar 5.22. Diagram Blok Pengujian Keseluruhan Sistem

5.5.5. Data pengujian

5.5.5.1 Pengujian Peralatan Penyearah Terkontrol Penuh Satu Fasa Tanpa Beban

Gambar 5.23 berikut menunjukkan gambar rangkaian yang digunakan untuk pengujian rangkaian penyearah terkontrol penuh satu fasa.



Gambar 5.23. Pengujian Peralatan Penyearah Terkontrol Penuh Satu Fasa

Dalam melaksanakan pengujian, maka urutan pelaksanaannya sebagai berikut:

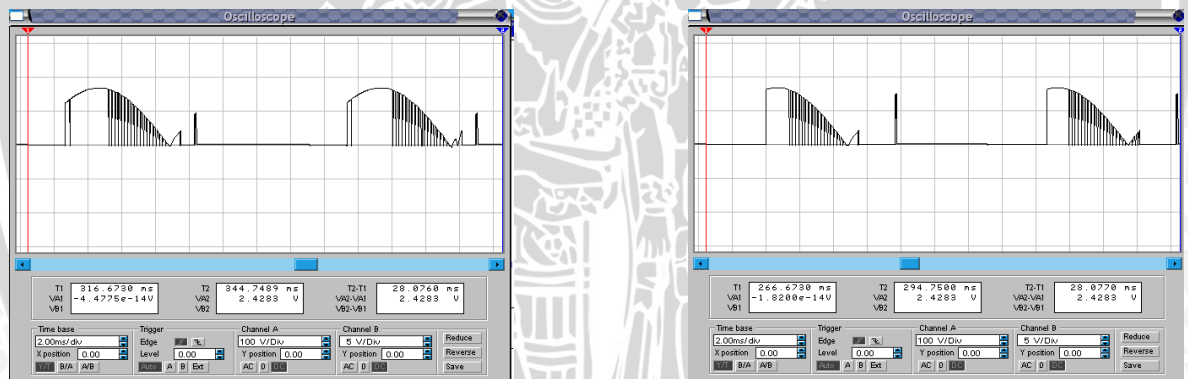
1. Membuat rangkaian pengujian dalam Gambar 5.23.
2. Sumber AC diberikan pada peralatan Penyearah Terkontrol Penuh Satu Fasa.
3. Melakukan pengaturan sudut penyalaan yang berbeda untuk mendapatkan tegangan keluaran yang berbeda.
4. Mengambil data berdasarkan hasil dari osiloskop.

5.5.5.1.1 Data Pengujian

Setelah dilakukan urutan pelaksanaan pengujian peralatan penyearah terkontrol penuh satu fasa maka didapatkan data gelombang keluaran dari penyearah terkontrol penuh satu fasa dengan sudut penyalan yang berbeda berdasarkan hasil penunjukan osiloskop sebagai berikut:



Gambar 5.24. Gambar Gelombang Tegangan Keluaran Penyearah Terkontrol Penuh Satu Fasa Hasil Pengujian dengan Sudut Penyalan 90°



Gambar 5.25. Gambar Gelombang Tegangan Keluaran Penyearah Terkontrol Penuh Satu Fasa Hasil Simulasi dengan Sudut Penyalan (a) $\alpha = 30^\circ$ (b) $\alpha = 60^\circ$

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan Tabel Tegangan Keluaran dengan Sudut Penyalan Berbeda yang ditunjukkan dalam Tabel 5.2.

Dengan tegangan masukan sebesar 212 V.

Tabel 5.2. Tabel Tegangan Keluaran dengan Sudut Penyalaan Berbeda

Sudut Penyalaan	Vout (Praktek)	Vout (Teori)
0°	141.4 V	149.9 V
10°	141.2 V	149.8 V
20°	140.5 V	149 V
30°	139.1 V	147.5 V
40°	136.5 V	144.7 V
50°	132.5 V	140.5 V
60°	126.6 V	134.3 V
70°	119 V	126.3 V
80°	109 V	116.5 V
90°	100 V	106.5 V
100°	88.7 V	94 V
110°	75.8 V	80.4 V
120°	65.1 V	69 V
130°	48 V	51 V
140°	36.3 V	38.5 V
150°	24.4 V	25.9 V
160°	14 V	14.9 V
170°	4 V	4.7 V
180°	0 V	0 V

5.5.5.1.2 Analisis

Berdasarkan bentuk gambar gelombang tegangan keluaran hasil pengujian dan hasil simulasi dapat dilihat bahwa hasil keduanya memiliki bentuk yang hampir sama dan dari tegangan keluaran penyearah terkontrol penuh satu fasa dapat dilihat bahwa besarnya tegangan keluaran penyearah terkontrol penuh satu fasa dapat dikontrol dengan cara mengubah-ubah besarnya sudut penyalaan SCR.

Dari Tabel 5.2 dapat dilihat bahwa semakin besar sudut penyalaan SCR maka nilai tegangan keluaran penyearah terkontrol penuh satu fasa semakin kecil. Selanjutnya

data nilai tegangan keluaran dengan sudut penyalan berbeda dari hasil pengujian dengan beban resistif akan dibandingkan dengan hasil perhitungan untuk sudut penyalan yang sama sesuai dengan Persamaan 5-1 sehingga didapatkan tabel perbandingan antara hasil pengujian secara praktek dan hasil perhitungan secara teori.

$$V_{rms} = \left(\frac{1}{T} \int_x^T v_m^2 \sin^2 x dx \right)^{1/2}$$

$$V_{rms} = V_m \left(\frac{1}{T} \int_x^T \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2x \right) dx \right)^{1/2} \quad (5-1)$$

$$V_{rms} = V_m \left(\frac{1}{\Pi} \left(\frac{1}{2} x - \frac{1}{4} \sin 2x \right) \right)^{1/2}$$

Keterangan:

- V_{rms} = Tegangan keluaran efektif
 T = periode setengah gelombang
 x = Sudut penyalan

5.5.5.2 Pengujian dengan beban resistif

Langkah-langkah pengujian:

1. Membuat rangkaian pengujian seperti yang ditunjukkan blok diagram dalam Gambar 5.23.
2. Menghubungkan rangkaian penyearah terkontrol penuh SCR dengan sumber 141 VAC.
3. Memberikan pemicuan pada gate SCR dari program yang telah dibuat pada mikrokontroler.
4. Menghubungkan keluaran dari rangkaian penyearah terkontrol penuh SCR dengan menggunakan beban resistif 100 Ω .
5. Menampilkan sinyal keluaran pada osiloskop.

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan Tabel Pengujian dengan Beban Resistif yang ditunjukkan dalam Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Hasil Pengujian dengan Beban Resistif

Sudut Penyalan	Vout (Praktek)	Vout (teori)
0°	91.9 V	99.7 V
10°	91.8 V	99.5 V
20°	91.3 V	99.3 V
30°	90.4 V	98 V
40°	88.7 V	96 V
50°	86.1 V	93 V
60°	82.3 V	89.5 V
70°	77.4 V	84.26 V
80°	71.4 V	77.7 V
90°	65 V	70.7 V
100°	57.7 V	62.7 V
110°	49.3 V	53.6 V
120°	42.3 V	46.04 V
130°	31.8 V	34.05 V
140°	23.6 V	24.8 V
150°	15.9 V	17.3 V
160°	9.1 V	9 V
170°	2.9 V	3.1 V
180°	0 V	0 V



Gambar 5.26. Grafik Hasil Pengujian Rangkaian Penyearah Terkontrol Penuh Satu Fasa

Gambar 5.26 menunjukkan sinyal keluaran penyearah terkontrol penuh satu fasa dengan sudut penyalaan yang diberikan sebesar 90° dengan beban berupa beban resistif 100Ω . Dari Tabel 5.3 dapat dilihat bahwa semakin besar sudut penyalaan SCR maka nilai tegangan keluaran penyearah terkontrol penuh satu fasa semakin kecil. Selanjutnya data nilai tegangan keluaran dengan sudut penyalaan berbeda dari hasil pengujian dengan beban resistif akan dibandingkan dengan hasil perhitungan untuk sudut penyalaan yang sama sesuai dengan persamaan 5-1 sehingga didapatkan tabel perbandingan antara hasil pengujian secara praktek dan hasil perhitungan secara teori.

5.5.5.3 Pengujian dengan menggunakan beban resistif dan induktif

Langkah-langkah pengujian:

1. Membuat rangkaian pengujian seperti yang ditunjukkan blok diagram dalam Gambar 5.23.
2. Menghubungkan rangkaian penyearah terkontrol penuh SCR dengan sumber 141 VAC.
3. Memberikan pemicuan pada gate SCR dari program yang telah dibuat pada mikrokontroler.
4. Menghubungkan keluaran dari rangkaian penyearah terkontrol penuh SCR dengan menggunakan beban resistif dan beban induktif yang disusun secara seri.
5. Menampilkan sinyal keluaran pada osiloskop.

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan Tabel Pengujian dengan Beban Resistif dan beban Induktif yang ditunjukkan dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4. Hasil Pengujian dengan Beban Resistif dan Beban Induktif yang Disusun Secara Seri

Sudut Penyalaan	Vout (praktek)	Vout (teori)
0°	81.3 V	99.7 V
10°	81.2 V	99.5 V
20°	80.8 V	99.3 V
30°	80 V	98 V
40°	78.5 V	96 V
50°	76.1 V	93 V

60°	72.8 V	89.5 V
Sudut Penyalaaan	Vout (praktek)	Vout (teori)
70°	68.5 V	84.26 V
80°	63.1 V	77.7 V
90°	58 V	70.7 V
100°	51 V	62.7 V
110°	43.6 V	53.6 V
120°	37.4 V	46.04 V
130°	28.1 V	34.05 V
140°	20.8 V	24.8 V
150°	14 V	17.3 V
160°	0 V	9 V
170°	0 V	3.1 V
180°	0 V	0 V



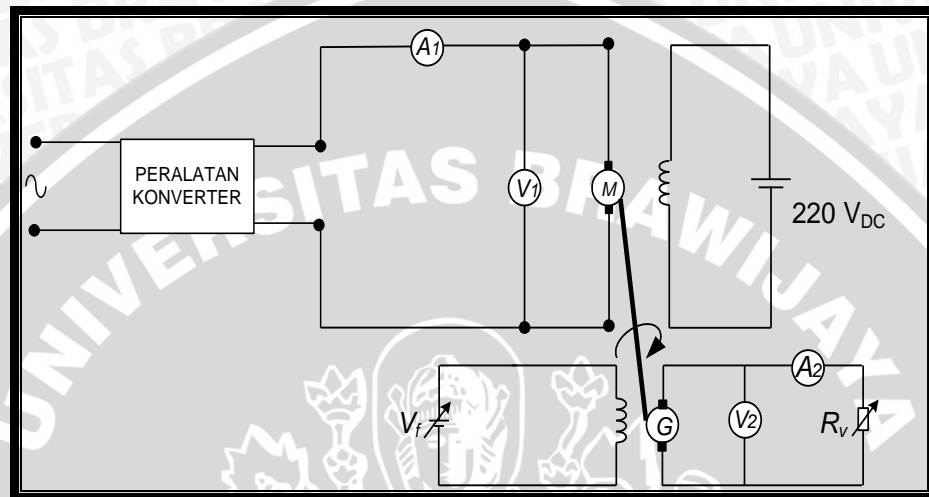
Gambar 5.27. Grafik Hasil Pengujian Rangkaian Penyearah Terkontrol Penuh Satu Fasa

Gambar 5.27 menunjukkan salah satu dari sinyal keluaran penyearah terkontrol penuh satu fasa dengan sudut penyalaaan yang diberikan sebesar 70° dengan beban berupa beban resistif 100Ω yang diseri dengan beban induktif 50 mH . Dari Tabel 5.4 dapat dilihat bahwa semakin besar sudut penyalaaan SCR maka nilai tegangan keluaran penyearah terkontrol penuh satu fasa semakin kecil. Selanjutnya data nilai tegangan keluaran dengan sudut penyalaaan berbeda dari hasil pengujian dengan beban resistif dan induktif akan dibandingkan dengan hasil perhitungan untuk sudut penyalaaan yang sama

sesuai dengan persamaan 5-1 sehingga didapatkan tabel perbandingan antara hasil pengujian secara praktek dan hasil perhitungan secara teori.

5.5.5.4 Pengujian dengan beban motor

Gambar rangkaian pengujian berikut merupakan gambar rangkaian yang digunakan untuk pengujian penyearah terkontrol penuh satu fasa sebagai pengatur putaran motor DC dengan penguatan terpisah:



Gambar 5.28. Rangkaian Pengujian Penyearah Terkontrol Penuh satu fasa

Langkah-langkah pengujian:

Untuk melakukan pengujian sistem *Laboratory Workbench* dengan menggunakan beban motor dapat dilakukan dengan langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

1. Membuat rangkaian pengujian seperti yang ditunjukkan blok diagram dalam Gambar 5.28.
2. Menghubungkan rangkaian penyearah terkontrol penuh SCR dengan sumber 212 V AC.
3. Memberikan pemicuan pada gate SCR dari program yang telah dibuat pada mikrokontroler.
4. Menghubungkan keluaran dari rangkaian penyearah terkontrol penuh SCR dengan menggunakan motor.
5. Menampilkan sinyal keluaran pada osiloskop.

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan Tabel Pengujian dengan Beban Motor yang ditunjukkan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.5. Hasil Pengujian dengan Beban motor

Sudut Penyalaan	Vout (praktek)	Vout (teori)	n (Praktek)	n (Teori)
60°	200 V	191 V	1928 rpm	1932 rpm
70°	183 V	178 V	1846 rpm	1852 rpm
80°	171 V	165 V	1728 rpm	1734 rpm
90°	160 V	150 V	1670 rpm	1582 rpm
100°	140 V	133 V	1501 rpm	1400 rpm
110°	119 V	114 V	1362 rpm	1342 rpm
120°	100 V	98 V	1123 rpm	1114 rpm
130°	78 V	73 V	820 rpm	828 rpm
140°	54 V	54.4 V	797 rpm	791 rpm
150°	40 V	37 V	679 rpm	668 rpm

Dari Tabel 5.5 dapat dilihat bahwa semakin besar sudut penyalaan SCR maka nilai tegangan keluaran penyearah terkontrol penuh satu fasa semakin kecil. Selanjutnya data nilai tegangan keluaran dengan sudut penyalaan berbeda dari hasil pengujian dengan beban motor akan dibandingkan dengan hasil perhitungan untuk sudut penyalaan yang sama sesuai dengan persamaan 5-1 sehingga didapatkan tabel perbandingan antara hasil pengujian secara praktek dan hasil perhitungan secara teori. Dari Tabel 5.5 didapatkan data kecepatan motor, apabila tegangan keluaran penyearah terkontrol penuh satu fasa semakin kecil kecepatan putaran motor juga akan semakin kecil.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

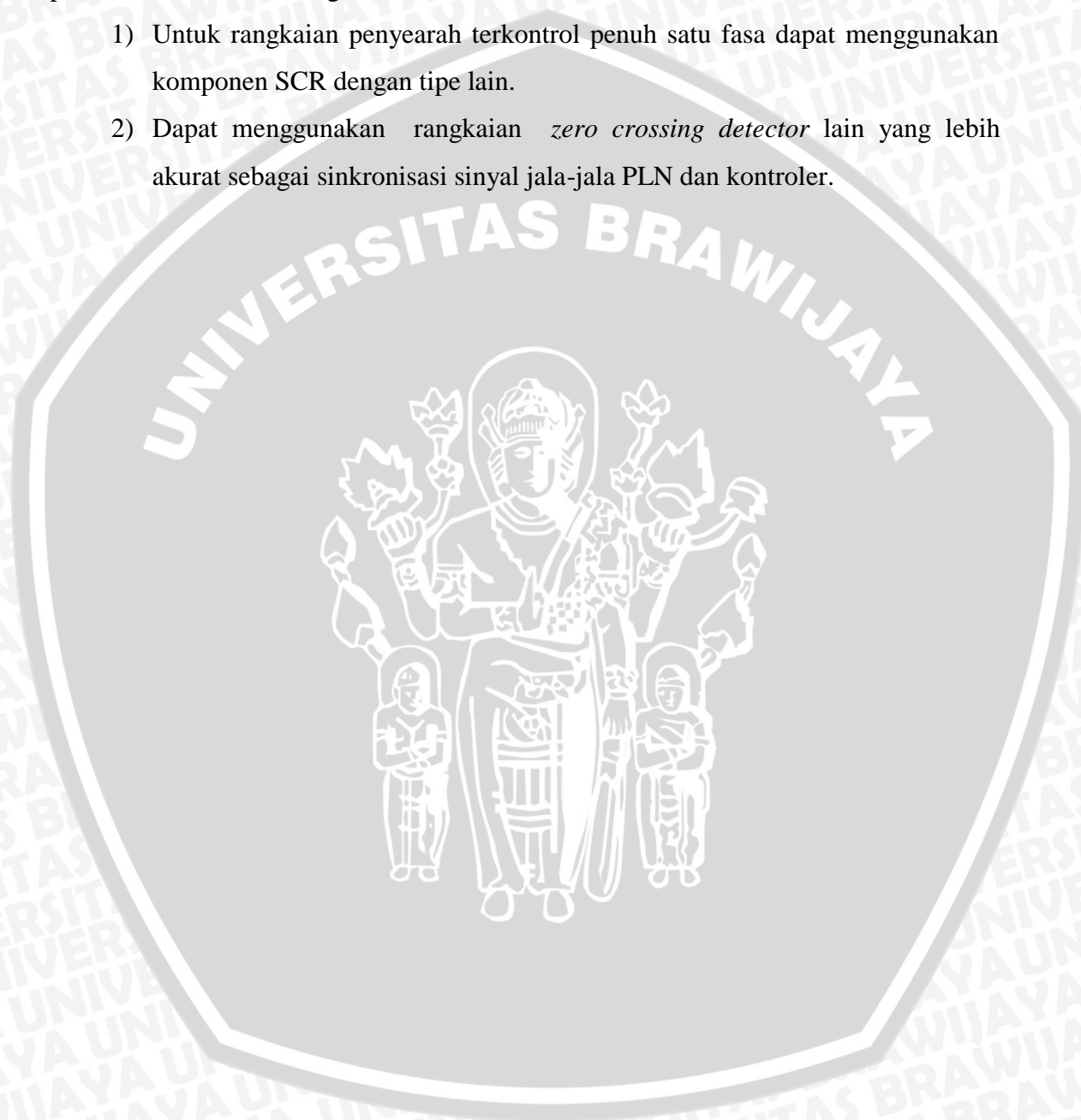
Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan baik pengujian per blok rangkaian maupun pengujian sistem secara keseluruhan pada sistem Laboratory Workbench diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Pengendalian kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah dapat diatur dengan cara pengaturan fluksi/medan, pengaturan resistansi jangkar dan pengaturan tegangan jangkar. Dalam skripsi ini kecepatan putar motor DC diatur dengan cara mengubah-ubah besar tegangan jangkar. Kecepatan putar motor DC juga akan semakin kecil jika tegangan jangkar dikurangi sampai batas nilai nominal.
- 2) Tegangan Jangkar motor DC dengan penguatan terpisah diubah-ubah dengan mengubah besar sudut penyalan SCR yang akan diberikan ke gate SCR untuk mengaktifkan SCR sehingga rangkaian terkontrol penuh satu fasa yang menggunakan SCR sebagai komponen utama dapat bekerja dan mengeluarkan tegangan DC yang dapat diubah-ubah besarnya. Nilai sudut penyalan terkecil yang bisa diberikan sebesar 30° . Tegangan keluaran rangkaian penyearah terkontrol penuh satu fasa berupa tegangan variabel dari 0 V – 191 V yang besarnya bisa diubah-ubah dengan mengubah besar sudut penyalan SCR.
- 3) Pengujian per blok yang dilakukan pada sistem *Laboratory workbench* pengendalian kecepatan putaran motor DC dengan penguatan terpisah meliputi pengujian rangkaian terkontrol penuh satu fasa, rangkaian optocoupler sebagai unit pelindung, rangkain zero crossing detector. Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa bagian-bagian per blok dari sistem *Laboratory Workbench* sudah berfungsi dengan baik. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan baik pengujian per blok rangkaian maupun pengujian sistem secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa sistem Laboratory Workbench yang dibuat telah sesuai dengan tujuan perancangan sehingga dapat mewujudkan tujuan dari perancangan Laboratory Workbench Pengendalian Kecepatan Putaran Motor DC dengan Penguatan terpisah.

6.2 Saran

Meskipun sistem yang dirancang telah mampu bekerja dengan baik akan tetapi beberapa hasil pengujian tidak sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan di awal. Untuk itu agar sistem tersebut dapat bekerja lebih optimal ada beberapa hal yang harus diperhatikan dan dikembangkan:

- 1) Untuk rangkaian penyearah terkontrol penuh satu fasa dapat menggunakan komponen SCR dengan tipe lain.
- 2) Dapat menggunakan rangkaian *zero crossing detector* lain yang lebih akurat sebagai sinkronisasi sinyal jala-jala PLN dan kontroler.



DAFTAR PUSTAKA

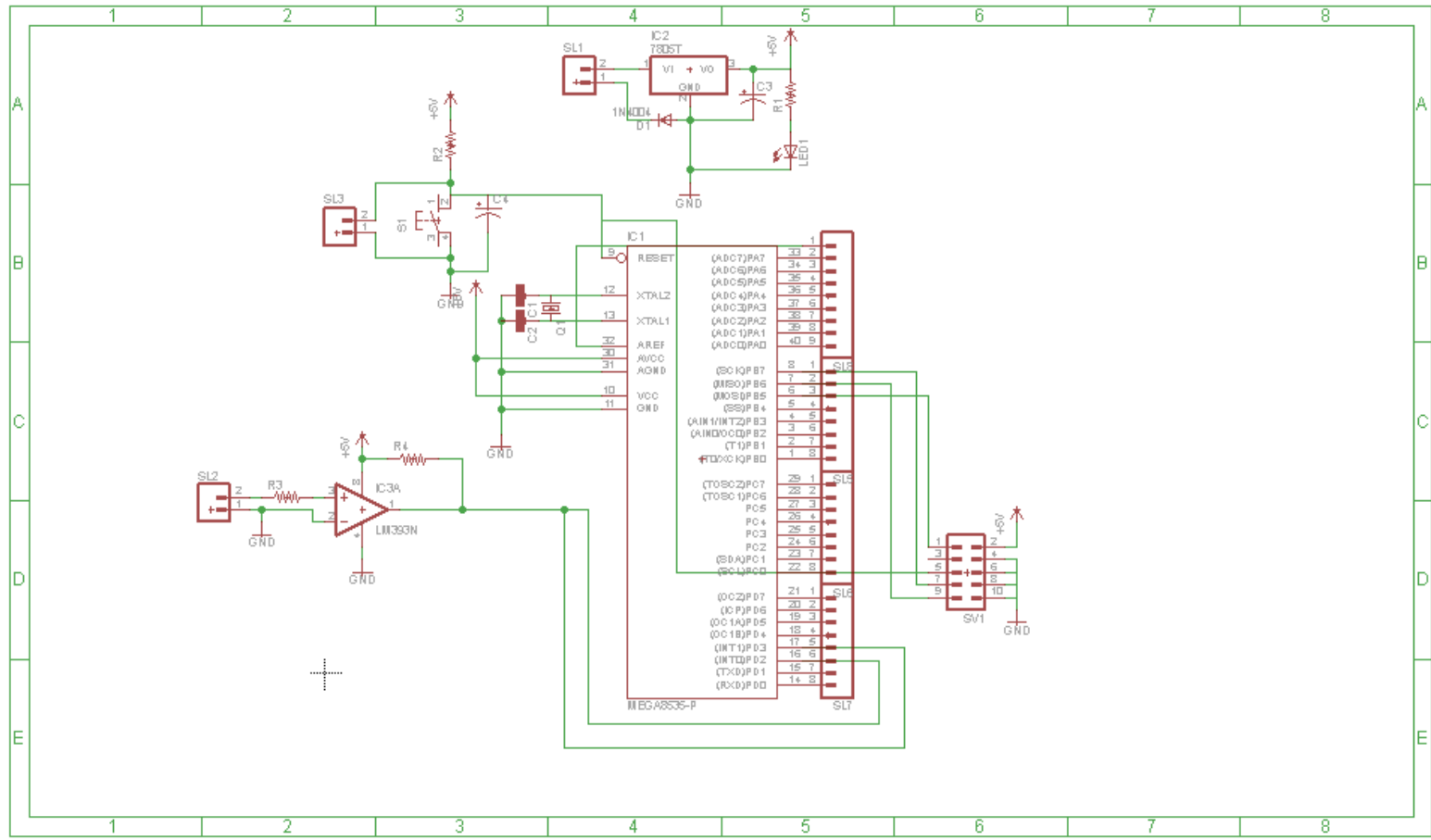
- Anonim. 2008. *Silicon Controlled Rectifier*, <http://www.electronicab.com>. Diakses tanggal: 20 Januari 2009.
- Allegro. ACS712 Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor. Diakses tanggal 10 april 2009
- Atmel. *ATMEGA8/ATMEGA8L, 8-bit AVR with 8 Kbytes in System Programmable Flash*, www.atmel.com/literatur. Diakses tanggal 27 Januari 2006.
- Atmel. AVR182: Zero Cross Detector, <http://www.atmel.com>
- Bejo, Agus. 2008. *C dan AVR Rahasia Kemudahan Bahasa C dalam Mikrokontroler ATmega8535*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Calvent, J.B. 2001. *Thyristor*. Created 14 July 2001.
- Kustija, Jaja M.Sc. 2005. *Elektronika Industri*. Yogyakarta.
- Kotzen. 2008. Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Mengatur Tegangan Menggunakan Sudut Penyalaan SCR, <http://www.indoskripsi.com>
- Reuben Lee, John Wiley and Sons, Inc. 1995. *Electronic Transformers and Circuits*. New York
- Malvino, A.P. 1996. *Prinsip – Prinsip Elektronika*, edisi kedua. diterjemahkan oleh Hanapi Gunawan. Jakarta: Erlangga.
- Onsemi. 2005. *Thyristor Theory and Design Consideration*. New York: Onsemi.
- Rashid, Muhammad H. 2001. *Power Electronics Handbook*. Florida: Academic Press.
- SHARP. *High Density Mounting Type Photocoupler PC817*. Diakses tanggal 10 april 2009
- ST. *LM393 Low Power Dual Voltage Comparators*. Diakses tanggal 10 november 2009.
- Unisonic Technologies CO., LTD. *SCRBT151*. Diakses tanggal 10 april 2009.
- Zuhal. 1993. *Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama



LAMPIRAN I

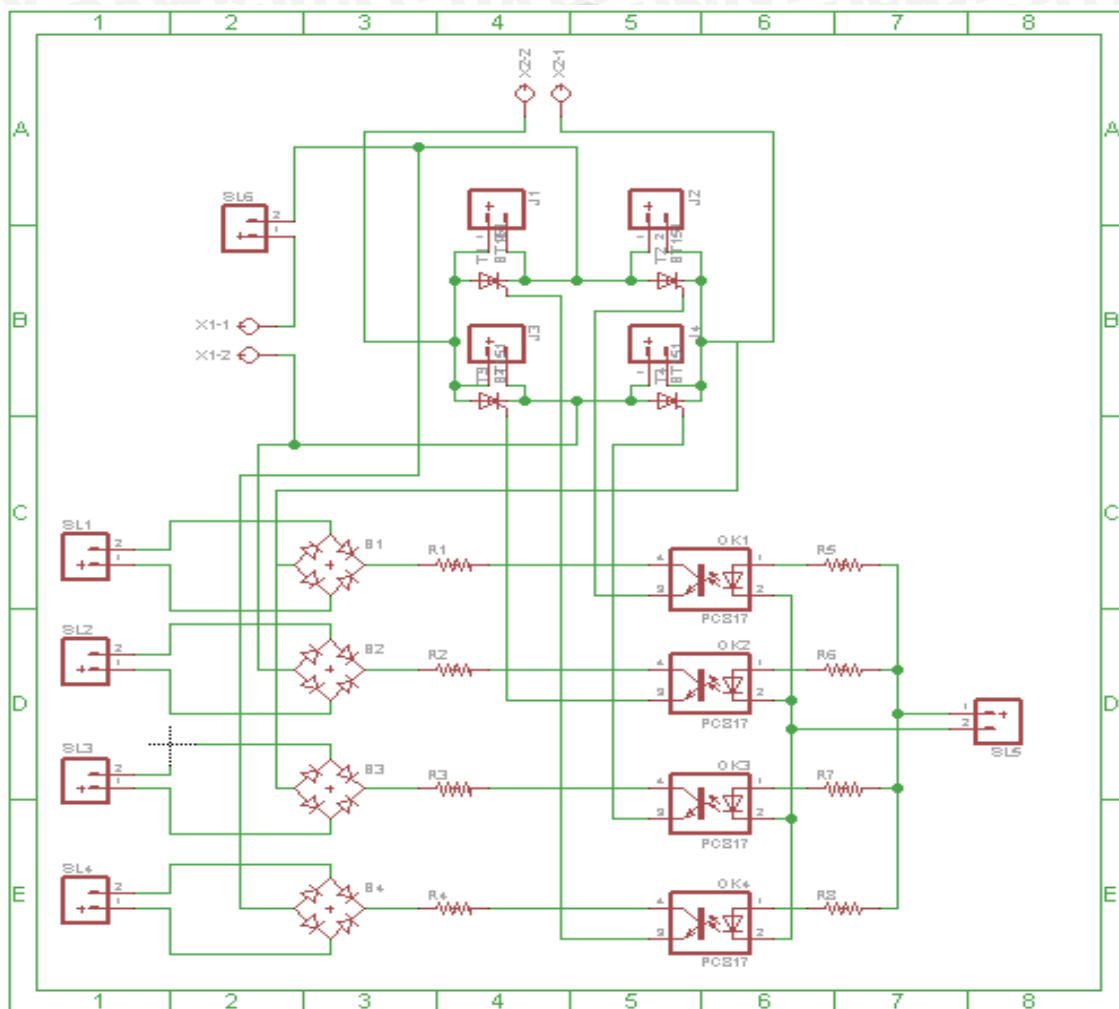
GAMBAR RANGKAIAN





Rangkaian Sistem Minimum Mikrokontroler





Rangkaian Pentriggeran SCR

LAMPIRAN II

FOTO ALAT



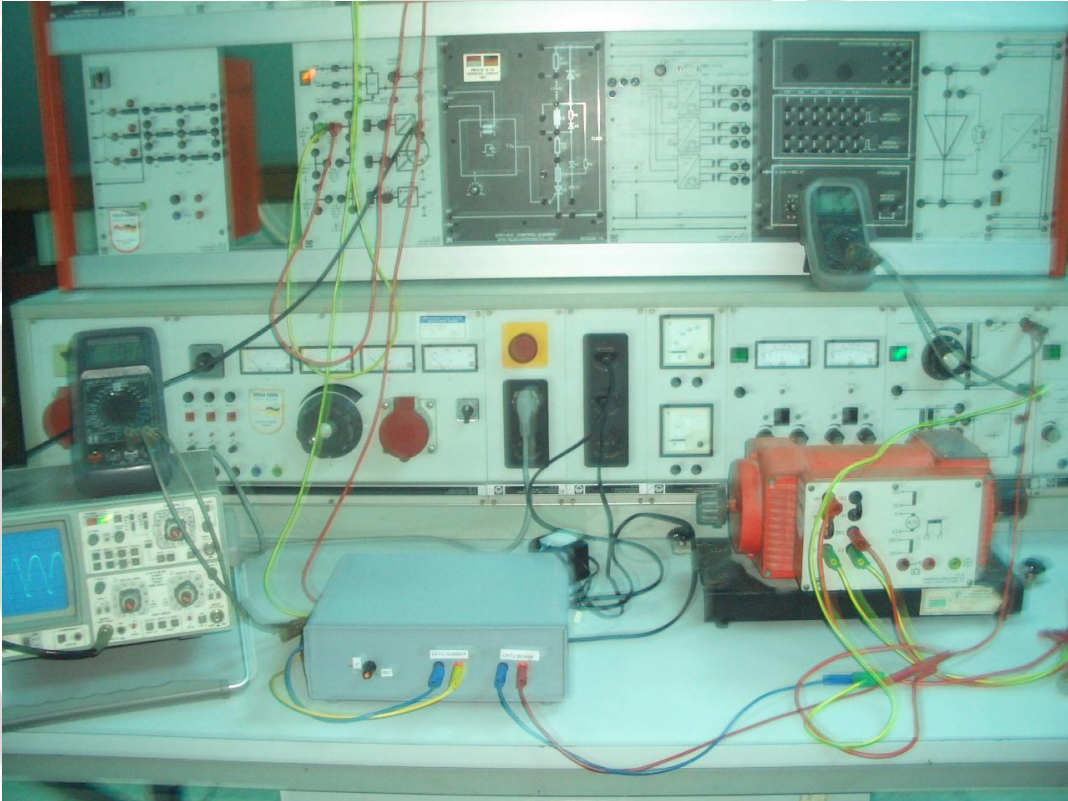


Foto Pengujian Alat



LAMPIRAN III

LISTING PROGRAM



This program was produced by the
CodeWizardAVR V1.24.8d Professional
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2006 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
<http://www.hpinfotech.com>

Project :
Version :
Date : 10/30/2009
Author : F4CG
Company : F4CG
Comments:

Chip type : ATmega8535
Program type : Application
Clock frequency : 16.000000 MHz
Memory model : Small
External SRAM size : 0
Data Stack size : 128

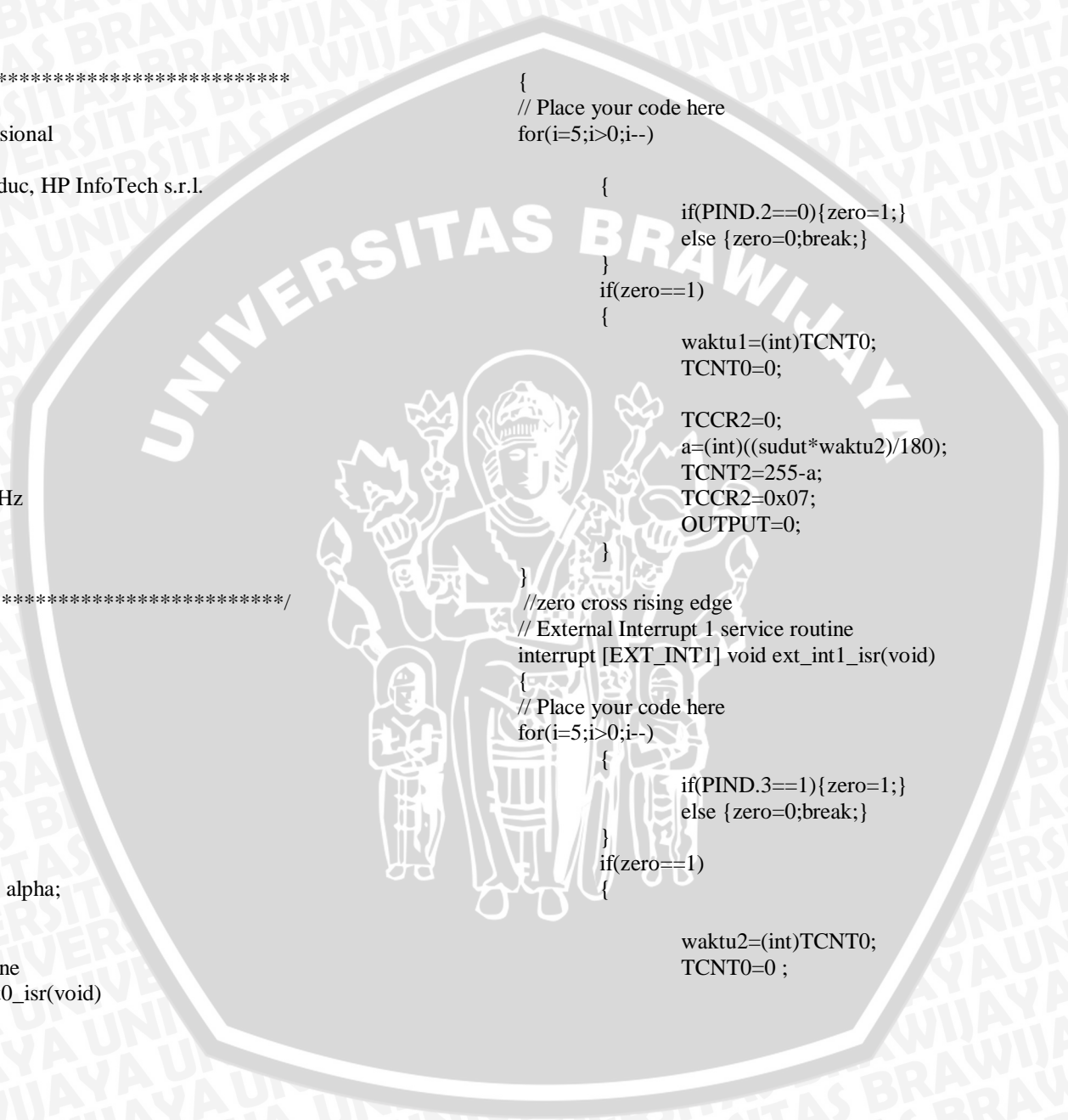
```
#include <mega8535.h>
#include <delay.h>
// Standard Input/Output functions
#include <stdio.h>
```

```
#define ADC_VREF_TYPE 0x60
#define OUTPUTPORTB.1
int i,zero;
int waktu1,waktu2;
int sudut,a;
unsigned char adc_data, data_arus, alpha;
```

```
//zero cross falling edge
// External Interrupt 0 service routine
interrupt [EXT_INT0] void ext_int0_isr(void)
```

```
{
// Place your code here
for(i=5;i>0;i--)
{
if(PIND.2==0){zero=1;}
else {zero=0;break;}
}
if(zero==1)
{
waktu1=(int)TCNT0;
TCNT0=0;

TCCR2=0;
a=(int)((sudut*waktu2)/180);
TCNT2=255-a;
TCCR2=0x07;
OUTPUT=0;
}
}
//zero cross rising edge
// External Interrupt 1 service routine
interrupt [EXT_INT1] void ext_int1_isr(void)
{
// Place your code here
for(i=5;i>0;i--)
{
if(PIND.3==1){zero=1;}
else {zero=0;break;}
}
if(zero==1)
{
waktu2=(int)TCNT0;
TCNT0=0 ;
}
```



```

TCCR2=0;
a=(int)((sudut*waktu1)/180);
TCNT2=255-a;
TCCR2=0x07;
OUTPUT=0;
}
}
// Timer 2 overflow interrupt service routine
interrupt [TIM2_OVF] void timer2_ovf_isr(void)
{
// Place your code here
TCCR2=0;
OUTPUT=1;
}
// ADC interrupt service routine
interrupt [ADC_INT] void adc_isr(void)
{
ADCSRA.7=0; //ADC dimatikan dengan cara mengisi bit ADEN
pada register ADCSRA bit ke 7 dengan nilai 0
ADCSRA.6=0; //Start conversion dimatikan dengan cara mengisi bit
ADSC pada register ADCSRA bit ke 6 dengan nilai 0

if(ADMUX==0x60) //adc0
{
adc_data=ADCH;
ADCSRA =0xCB; //ubah ke adc1 --> sensor arus
}
else if(ADMUX==0x61) //adc 1
{
data_arus=ADCH;
ADCSRA=0xCB; //ubah ke adc0 --> potesiorotary
}

//adc_data=ADCH; //data hasil konversi disimpan di variabel adc_data

```

```

ADCSRA.7=1; //ADC diaktifkan lagi dengan cara mengisi bit ADEN
pada register ADCSRA bit ke 7 dengan nilai 1
ADCSRA.6=1; //Start conversion diaktifkan lagi dengan cara mengisi
bit ADSC pada register ADCSRA bit ke 6 dengan nilai 1
// Place your code here
}
// Declare your global variables here
void main(void)
{
// Declare your local variables here
// Input/Output Ports initialization
// Port A initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In
Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;
// Port B initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In
Func0=Out
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=0
PORTB=0x00;
DDRB=0xFF;
// Port C initialization
// Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=Out Func3=Out Func2=Out
Func1=Out Func0=Out
// State7=0 State6=0 State5=0 State4=0 State3=0 State2=0 State1=0 State0=0
PORTC=0x00;
DDRC=0xFF;
// Port D initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In
Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;

```



```
// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=0x05;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;
```

```
// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 1 Stopped
// Mode: Normal top=FFFFh
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer 1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;
```

```
// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 2000.000 kHz
```

```
// Mode: Normal top=FFh
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
//TCCR2=0x02;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;
```

```
// External Interrupt(s) initialization
// INT0: On
// INT0 Mode: Falling Edge
// INT1: On
// INT1 Mode: Rising Edge
// INT2: Off
GICR|=0xC0;
MCUCR=0x0E;
MCUCSR=0x00;
GIFR=0xC0;
```

```
UCSRA=0x00;
UCSRB=0x18;
UCSRC=0x86;
UBRRH=0x00;
UBRRL=0x33;
// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x40;
// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;
ADMUX=ADC_VREF_TYPE;
ADCSRA=0xCB;
SFIO&=0xEF;
```

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

```
sudut=0;
while (1)
{
if ((adc_data<=2)&&(adc_data>=0)) //1
{
alpha=0;
printf("alpha= %d",alpha);
putchar(13);
}
else if ((adc_data<=5)&&(adc_data>=3)) //4
{
alpha=60;
printf("alpha= %d",alpha);
putchar(13);
}
else if ((adc_data<=20)&&(adc_data>=9)) //12
{
alpha=70;
printf("alpha= %d",alpha);
putchar(13);
}
else if ((adc_data<=50)&&(adc_data>=30)) //46
{
alpha=80;
printf("alpha= %d",alpha);
putchar(13);
}
else if ((adc_data<=90)&&(adc_data>=60)) //89
{
alpha=90;
printf("alpha= %d",alpha);
putchar(13);
}
else if ((adc_data<=140)&&(adc_data>=100)) //127
{
alpha=100;
printf("alpha= %d",alpha);
putchar(13);
}
else if ((adc_data<=180)&&(adc_data>=150)) //166
{
alpha=110;
printf("alpha= %d",alpha);
putchar(13);
}
else if ((adc_data<=220)&&(adc_data>=190)) //212
{
alpha=120;
printf("alpha= %d",alpha);
putchar(13);
}
else if ((adc_data<=249)&&(adc_data>=230)) //246
{
alpha=130;
printf("alpha= %d",alpha);
putchar(13);
}
else if ((adc_data<=252)&&(adc_data>=250)) //252
{
alpha=140;
printf("alpha= %d",alpha);
putchar(13);
}
else if ((adc_data<=255)&&(adc_data>=253)) //254
{
alpha=150;
printf("alpha= %d",alpha);
putchar(13);
}
}
```

```
if(data_arus < 0x02)
{
  while (sudut<alpha)
  {
    delay_ms(1000);
    sudut+=1;
    printf("%d",sudut);
  }
  while (sudut>alpha)
  {
    delay_ms(1000);
    sudut-=1;
    printf("%d",sudut);
  }
}
else
{
  sudut=180;
}
}
```



LAMPIRAN IV

DATASHEET

