

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGADUK
ADONAN DODOL DENGAN KECEPATAN KONSTAN DAN
TORSI ADAPTIF**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**



**Disusun Oleh:
RENDY ARDIANSYAH
NIM. 0910630018 - 63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2013**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGADUK ADONAN
DODOL DENGAN KECEPATAN KONSTAN DAN TORSI ADAPTIF**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:
RENDY ARDIANSYAH
NIM. 0910630018 - 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Rini Nur Hasanah, S.T.,M.Sc
NIP. 19680122 199512 2 001

Ir. Wijono, MT., Ph.D
NIP. 19621111 198903 1 003

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGADUK ADONAN
DODOL DENGAN KECEPATAN KONSTAN DAN TORSI ADAPTIF**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

RENDY ARDIANSYAH

NIM. 0910630018-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 2 Agustus 2013

Majelis Penguji :

Ir. Soemarwanto, M.T
NIP. 19500715 198003 1 002

Ir. Unggul Wibawa, M.Sc
NIP. 19630106 198802 1 001

Dr. Ir. Erni Yudaningtvas, M.T
NIP. 19650913 199002 2 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS.
NIP. 19580728 198701 1 001

PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas izin dan rahmat-NYA lah penulis mampu menyelesaikan pembuatan alat dan melakukan penelitian yang berjudul “Perancangan dan Pembuatan Alat Pengaduk Adonan Dodol dengan Kecepatan Konstan dan Torsi Adaptif” ini. Penelitian ini disusun dalam rangka untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak memberikan bantuan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik, antara lain:

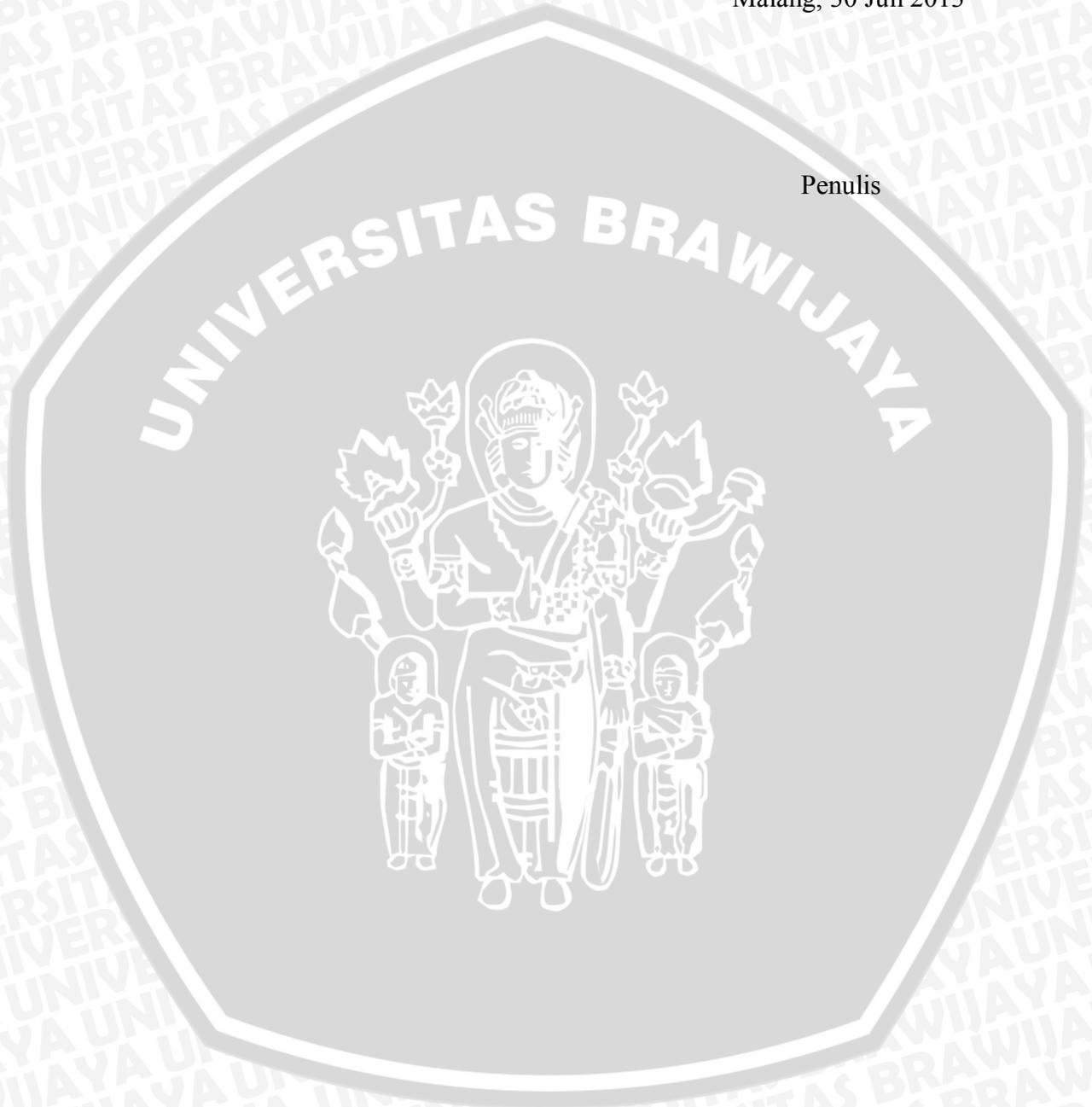
1. Ibu Ratna Dewi Herawati dan Bapak Mochamad Muchlas serta saudara penulis yang tercinta atas segala kasih sayang, doa dan dukungannya kepada penulis dalam pengerjaan penelitian ini.
2. Bapak DR. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
3. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc dan Ir. Wijono, M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu membimbing dengan penuh kesabaran dan memberi pengarahannya dalam penelitian ini.
4. Seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya atas segala bimbingan dan nasehatnya selama masa perkuliahan.
5. Seluruh teman-teman asisten lab sisdig khususnya asisten 2009 yang banyak memberikan dukungan moril.
6. Seluruh teman-teman angkatan 2009 terutama teman-teman Paket A yang telah menjadi bagian keluarga penulis.
7. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini jauh dari kata sempurna, oleh karena itu kritik dan saran atas penulisan ini sangat diharapkan oleh penulis untuk memperbaiki penulisan ini kedepannya agar lebih baik dan bermanfaat bagi

masyarakat. Akhir kata, semoga laporan penelitian ini bisa bermanfaat bagi kita semua.

Malang, 30 Juli 2013

Penulis



DAFTAR ISI

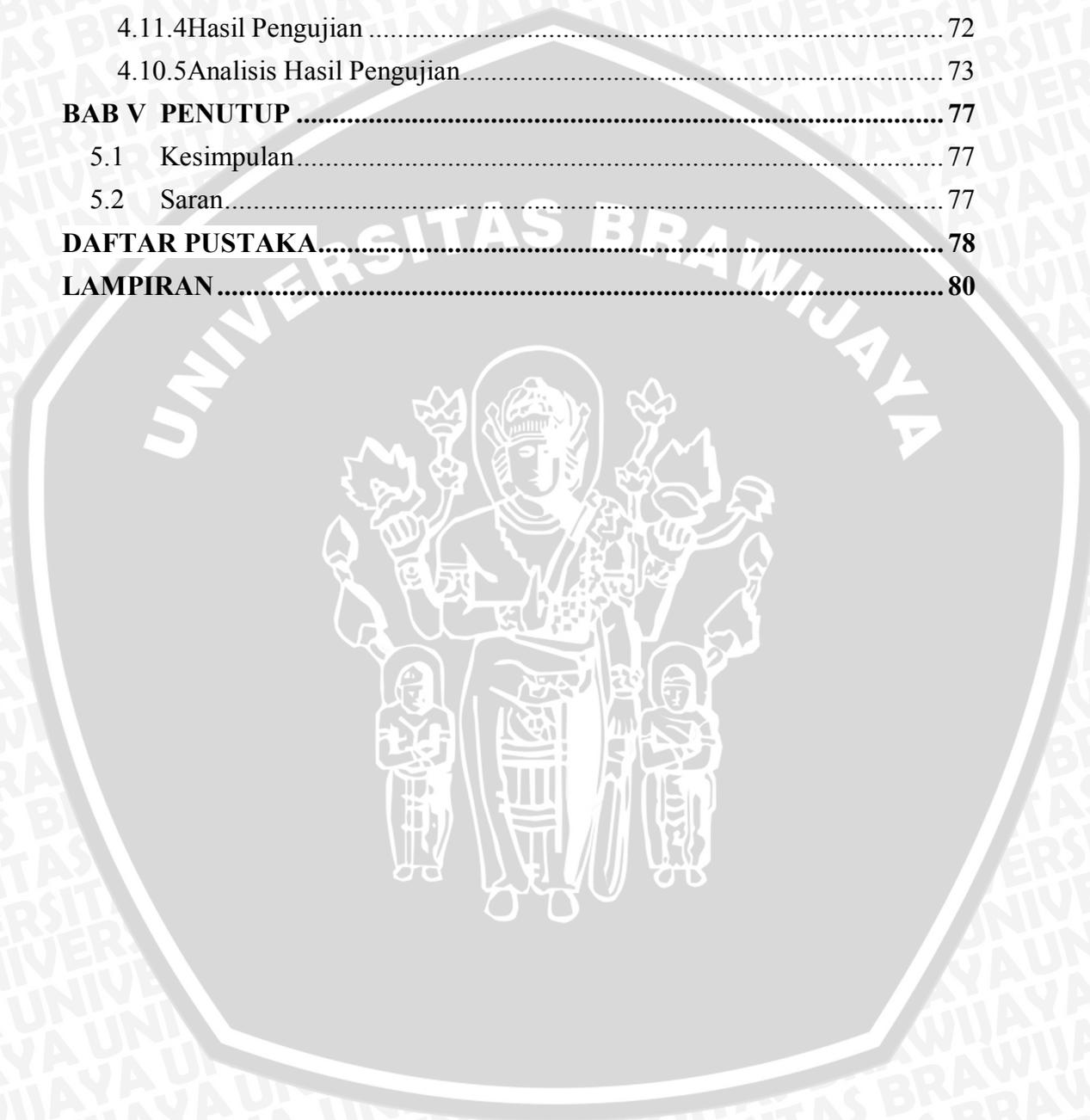
PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
ABSTRAK	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	1
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan.....	2
1.5. Manfaat.....	2
1.6. Sistematika Penulisan.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Karakteristik Beban.....	4
2.2 Mekanika Fluida.....	5
2.2.1 Fluida Newtonian	6
2.2.2 Fluida <i>Non-Newtonian</i>	6
2.2.3 Viskositas	6
2.2.4 Massa Jenis (Densitas).....	7
2.2.5 Daya Pengadukan.....	7
2.2.6 Torsi dan Gaya Pengadukan.....	8
2.2.7 <i>Pitched Blade Impeller</i>	9
2.3 Motor DC Magnet Permanen	10
2.4 <i>Rotary Encoder</i>	12
2.5 <i>Silicon Controlled Rectifier (SCR)</i>	13
2.5.1 <i>Zero Crossing Detector</i>	14
2.5.2 Sistem Pengontrol (Arduino).....	15
2.6 Rangkaian Penyearah Terkontrol Gelombang Penuh	17
2.7 <i>Optocoupler</i>	18
2.8 Regresi.....	20
2.8.1 Regresi Linier	20
2.8.2 Regresi Polinomial.....	20
2.9 Metode Newton Rhapson	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22



3.1	Penentuan Spesifikasi Komponen.....	22
3.2	Perancangan Alat	22
3.2.1	Blok Diagram Perancangan.....	22
3.2.2	Blok Diagram Kontrol	23
3.2.3	Gambar Rancangan Alat Pengaduk.....	24
3.2.4	Gambar Rancangan Mekanik Sistem Pengaduk.....	25
3.2.5	Penentuan Densitas Dodol.....	25
3.2.6	Penentuan Viskositas Dodol	26
3.2.7	Penentuan Daya Motor	27
3.2.8	Perancangan Rangkaian Pengontrol.....	27
3.2.9	Perancangan Rangkaian catu daya pemicu SCR.....	29
3.2.10	Perancangan Rangkaian <i>Driver</i>	30
3.2.11	Hubungan Kecepatan Motor dengan Sudut Penyalaan	31
3.2.12	Pengaturan Tegangan Masukan Motor dengan Menggunakan Arduino Uno	34
3.3	Pengujian Alat	36
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS		39
4.1	Analisis Penentuan Jenis Motor Listrik	39
4.2	Pengujian Sensor pada Rotary Encoder	40
4.2.1	Tujuan	40
4.2.2	Peralatan.....	40
4.2.3	Prosedur Pengujian	40
4.2.4	Hasil Pengujian.....	40
4.2.5	Analisis Hasil Pengujian	41
4.3	Pengujian Rangkaian <i>Zero Crossing Detector</i>	42
4.3.1	Tujuan	42
4.3.2	Peralatan.....	42
4.3.3	Prosedur Pengujian	42
4.3.4	Hasil Pengujian.....	43
4.3.5	Analisis Hasil Pengujian	43
4.4	Pengujian Rangkaian Catu Daya SCR	44
4.4.1	Tujuan	44
4.4.2	Peralatan.....	44
4.4.3	Prosedur Pengujian	44
4.4.4	Hasil Pengujian.....	44
4.4.5	Analisis Hasil Pengujian	45

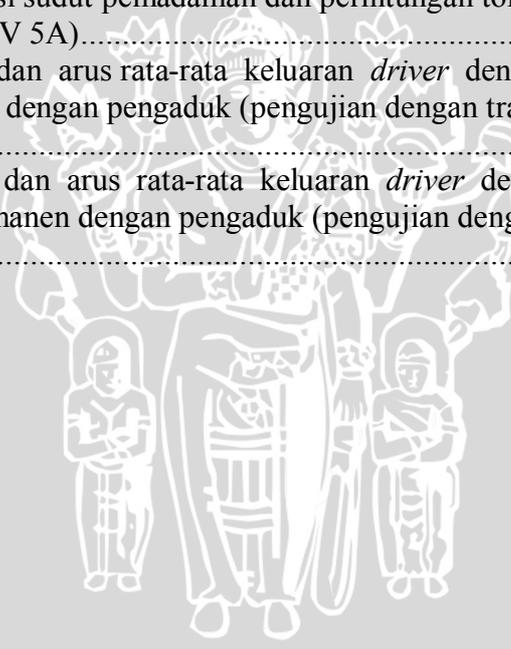
4.5	Pengujian Program Pemicuan <i>Gate</i> SCR	45
4.5.1	Tujuan	45
4.5.2	Peralatan	45
4.4.3	Prosedur Pengujian	46
4.4.4	Hasil Pengujian	46
4.4.5	Analisis Hasil Pengujian	47
4.6	Pengujian Rangkaian <i>Optocoupler</i>	48
4.6.1	Tujuan	48
4.6.2	Peralatan	48
4.6.3	Prosedur Pengujian	48
4.6.4	Hasil Pengujian	49
4.6.5	Analisis Hasil Pengujian	50
4.7	Pengujian Rangkaian <i>Driver</i> Berbeban Resistif 15 Ohm	50
4.7.1	Tujuan	50
4.7.2	Peralatan	50
4.7.3	Prosedur Pengujian	51
4.7.4	Hasil Pengujian	51
4.7.5	Analisis Hasil Pengujian	53
4.8	Pengujian Rangkaian <i>Driver</i> Berbeban motor DC Magnet Permanen Tanpa Pengaduk	55
4.8.1	Tujuan	55
4.8.2	Peralatan	55
4.8.3	Prosedur Pengujian	55
4.8.4	Hasil Pengujian	56
4.8.5	Analisis Hasil Pengujian	58
4.9	Pengujian Sistem Pengadukan Tanpa Adonan	62
4.9.1	Tujuan	62
4.9.2	Peralatan	62
4.9.3	Prosedur Pengujian	62
4.9.4	Hasil Pengujian	63
4.9.5	Analisis Hasil Pengujian	66
4.10	Pengujian Viskositas dan Densitas Adonan Dodol	69
4.10.1	Tujuan	69
4.10.2	Peralatan	69
4.10.3	Prosedur Pengujian	69
4.10.4	Hasil Pengujian	70

4.10.5 Analisis Hasil Pengujian.....	71
4.11 Pengujian Sistem Alat Pengaduk Adonan Dodol.....	71
4.11.1 Tujuan.....	71
4.11.2 Peralatan.....	71
4.11.3 Prosedur Pengujian.....	72
4.11.4 Hasil Pengujian.....	72
4.10.5 Analisis Hasil Pengujian.....	73
BAB V PENUTUP.....	77
5.1 Kesimpulan.....	77
5.2 Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA.....	78
LAMPIRAN.....	80



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi fluida non-newtonian	5
Tabel 4.1. Hasil pengukuran rangkaian <i>driver</i> dengan beban resistif 15 ohm.....	52
Tabel 4.2. Tegangan dan arus rata-rata keluaran <i>driver</i> dengan beban resistif 15 ohm	54
Tabel 4.3. Hasil pengukuran rangkaian <i>driver</i> dengan beban motor DC magnet permanen tanpa pengaduk.....	57
Tabel 4.4. Hasil perhitungan nilai Ke dan Kt.....	59
Tabel 4.5. Hasil iterasi sudut pemadaman dan perhitungan torsi.....	60
Tabel 4.6. Tegangan dan arus rata-rata keluaran <i>driver</i> dengan beban Motor DC magnet permanen tanpa pengaduk	61
Tabel 4. 7. Hasil pengukuran rangkaian <i>driver</i> dengan beban motor DC magnet permanen menggunakan pengaduk (trafo 240V / 9V 1A).....	64
Tabel 4. 8. Hasil pengukuran rangkaian <i>driver</i> dengan beban motor DC magnet permanen menggunakan pengaduk (trafo 220V / 18V 5A).....	64
Tabel 4. 9. Hasil iterasi sudut pemadaman dan perhitungan torsi (pengujian dengan trafo 240V / 9V 1A).....	67
Tabel 4. 10. Hasil iterasi sudut pemadaman dan perhitungan torsi (pengujian dengan trafo 220V / 18V 5A).....	67
Tabel 4. 11. Tegangan dan arus rata-rata keluaran <i>driver</i> dengan beban Motor DC magnet permanen dengan pengaduk (pengujian dengan trafo 240V / 9V 1A)	68
Tabel 4. 12. Tegangan dan arus rata-rata keluaran <i>driver</i> dengan beban Motor DC magnet permanen dengan pengaduk (pengujian dengan trafo 220V / 18V 5A).....	68



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Hubungan pengaduk dengan tangki	10
Gambar 2.2. Grafik karakteristik motor DC kecepatan = f (torsi) pada tegangan terminal (V_t) konstan.	11
Gambar 2.3. Rangkaian ekivalen motor DC magnet permanen pada keadaan tunak	11
Gambar 2.4. Rangkaian tipikal penghasil pulsa pada <i>rotary encoder</i>	13
Gambar 2.5. Konstruksi dan simbol SCR	14
Gambar 2.6. Rangkaian <i>zero crossing detector</i>	15
Gambar 2.7. Arduino uno	16
Gambar 2.8. Rangkaian penyearah terkontrol gelombang penuh beban motor DC magnet permanen.....	17
Gambar 2.9. Grafik konduksi SCR pada kondisi $\alpha > \gamma$, dan i_a mengalir dari α ke β dan tetap 0 dari β ke $(\pi + \alpha)$	18
Gambar 2.10. Beberapa contoh detektor optik aplikasi elektronika daya.	19
Gambar 3.1. Blok diagram desain sistem elektrik pengaduk adonan dodol.....	23
Gambar 3.2. Blok diagram kontrol sistem alat pengaduk adonan dodol.....	23
Gambar 3.3. Alat pengaduk adonan dodol.....	24
Gambar 3.4. Alat pengaduk adonan dodol.....	25
Gambar 3.5. Rangkaian <i>zero crossing detector</i>	28
Gambar 3.6. Rangkaian Pengontrol.....	29
Gambar 3.7. Rangkaian catu daya pemicu SCR	29
Gambar 3.8. Rangkaian optocoupler	30
Gambar 3.9. Rangkaian <i>driver</i>	31
Gambar 3.10. Grafik kecepatan motor = f (sudut penyalaan) dengan beta yang telah ditetapkan.....	33
Gambar 3.11. Diagram alir pemrograman Arduino Uno.....	35
Gambar 4.1. Grafik karakteristik kecepatan = f (tegangan) pada arus jangkar (I_a) konstan.	39
Gambar 4.2. Rangkaian pengujian sensor <i>rotary encoder</i>	41
Gambar 4.3. Tegangan keluaran dari sensor <i>rotary encoder</i>	41
Gambar 4.4. Putaran terukur motor dengan menggunakan tachometer dan <i>rotary encoder</i>	41
Gambar 4.5. Rangkaian pengujian <i>zero crossing detector</i>	43
Gambar 4.6. Gelombang tegangan AC 1 fasa dan gelombang persegi tegangan keluaran rangkaian <i>zero crossing detector</i>	43
Gambar 4.7. Rangkaian pengujian catu daya pemicu SCR	45
Gambar 4.8. Tegangan keluaran dari rangkaian catu daya pemicu SCR.....	45
Gambar 4.9. Rangkaian pengujian program pemicuan <i>gate</i> SCR.....	46
Gambar 4.10. Diagram alir program pemicuan <i>gate</i> SCR.....	47
Gambar 4.11. Tegangan keluaran dari pin mikrokontroller arduino uno dan gelombang tegangan AC 1 fasa.....	47
Gambar 4.12. Rangkaian pengujian <i>optocoupler</i>	49
Gambar 4.13. Gelombang tegangan keluaran <i>optocoupler</i> dan gelombang tegangan masukan <i>optocoupler</i>	49
Gambar 4.14. Rangkaian pengujian SCR gelombang penuh beban resistif	52



Gambar 4.15. Grafik gelombang tegangan AC 1 fasa dan tegangan keluaran rangkaian *driver* untuk beban resistif 15 ohm dengan sudut penyalaan (a) 45⁰ (b) 54⁰ (c) 66.6⁰ (d) 72⁰ (e) 90⁰ (f) 108⁰ (g) 126⁰ (h) 144⁰ 53

Gambar 4.16. Rangkaian pengujian SCR gelombang penuh beban motor DC magnet permanen tanpa pengaduk 57

Gambar 4.17. Grafik gelombang tegangan AC 1 fasa dan tegangan keluaran rangkaian *driver* untuk beban motor DC magnet permanen tanpa pengaduk dengan sudut penyalaan (a) 45⁰ (b) 54⁰ (c) 66.6⁰ (d) 72⁰ (e) 90⁰ (f) 108⁰ (g) 126⁰ (h) 144⁰ 58

Gambar 4.18. Grafik gelombang tegangan AC 1 fasa dan tegangan keluaran rangkaian *driver* untuk beban motor DC magnet permanen menggunakan pengaduk dengan sudut penyalaan (a) 45⁰ (b) 54⁰ (c) 66.6⁰ (d) 72⁰ (e) 90⁰ (f) 108⁰ (g) 126⁰ (h) 144⁰ (trafo 240 V / 9 V 1A) 65

Gambar 4.19. Grafik gelombang tegangan AC 1 fasa dan tegangan keluaran rangkaian *driver* untuk beban motor DC magnet permanen menggunakan pengaduk dengan sudut penyalaan (a) 126⁰ (b) 144⁰ (c) 162⁰ (trafo 220 V / 18 V 5A) 66

Gambar 4.20. Grafik densitas adonan dodol = f (waktu pemanasan)..... 70

Gambar 4.21. Grafik viskositas adonan dodol = f (waktu pemanasan)..... 71

Gambar 4.22. Grafik arus jangkar dan kecepatan = f (waktu pemanasan adonan dodol) 73

Gambar 4.23. Grafik arus jangkar dan kecepatan = f (sudut penyalaan)..... 73

Gambar 4.24. Grafik daya keluaran = f (waktu pemanasan adonan dodol)..... 74

Gambar 4.25. Grafik torsi dan kecepatan = f (waktu pemanasan adonan dodol) . 75



ABSTRAK

Rendy Ardiansyah, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2013, *Perancangan dan Pembuatan Alat Pengaduk Adonan Dodol dengan Kecepatan Konstan dan Torsi Adaptif*, Dosen Pembimbing : Dr. Rini Nur Hasanah S.T., M.Sc. dan Ir. Wijono, M.T., Ph.D.

Abstrak– Dodol adalah salah satu makanan khas Indonesia yang sulit dalam pembuatannya karena diperlukan waktu yang cukup lama dan energi yang besar untuk mengaduk adonan hingga mempunyai kekentalan tertentu. Selain itu, kecepatan pengaduk adonan dodol diusahakan konstan agar menghasilkan dodol berkualitas baik dengan tingkat kematangan merata. Sebagai solusi, prinsip kerja dari rangkaian terkontrol penyearah gelombang penuh yang dikombinasikan dengan *rotary encoder* sebagai sensor kecepatan dapat digunakan untuk menghasilkan pergerakan motor dengan kecepatan yang konstan dan torsi yang adaptif. Motor DC magnet permanen digunakan untuk menggerakkan pengaduk jenis *pitch blade impeller*. Dihasilkan suatu sistem pengadukan adonan dodol dengan kecepatan konstan dan torsi adaptif.

Kata kunci: Adonan dodol, rangkaian terkontrol gelombang penuh, kecepatan konstan, *pitch blade impeller*.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dodol adalah salah satu makanan khas Indonesia yang cukup sulit dalam proses pembuatannya. Dalam proses pembuatannya, diperlukan energi yang besar dan waktu yang cukup lama untuk mengaduk adonan dodol hingga menjadi dodol dengan kekentalan tertentu. Selain itu, kecepatan pengadukan adonan dodol diusahakan konstan agar menghasilkan dodol yang berkualitas baik dengan tingkat kematangan yang merata. Karena proses pembuatannya yang berat untuk dilakukan, maka para pembuat dodol tidak dapat membuat dodol dalam jumlah yang banyak tiap harinya. Selain itu, banyak generasi muda yang tidak mau bekerja menjadi pembuat dodol dan lebih memilih untuk menjadi pekerja kantoran sehingga kelestarian dodol sebagai makanan khas Indonesia semakin terancam.

Usaha dodol merupakan salah satu usaha kecil dan menengah (UKM). UKM di Indonesia sangat penting bagi ekonomi karena menyumbang 60% pendapatan domestik bruto (Wikipedia : 2012). Karena dodol merupakan makanan khas Indonesia diharapkan para pembuat dodol mampu memenuhi kebutuhan di dalam maupun luar negeri dengan adanya alat bantu proses pembuatannya.

Salah satu cara untuk mempermudah dalam proses pembuatannya adalah dengan menggunakan alat bantu pengaduk yang memiliki kecepatan pengadukan konstan. Alat pengaduk tersebut menggunakan motor listrik sebagai penggerak utamanya sehingga para pembuat dodol tidak perlu kesulitan lagi untuk mengaduk adonan dodol dalam jumlah sedikit maupun banyak.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah dijelaskan pada latar belakang, maka yang menjadi permasalahan dalam penelitian ini adalah “Bagaimana merancang sistem pengadukan dengan kecepatan motor listrik konstan pada proses pengadukan adonan dodol yang sifat adonannya makin lama makin mengental?”.

1.3. Batasan Masalah

Dalam menyusun penelitian ini, batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Sistem ini menggunakan motor dc magnet permanen dengan daya 95 watt arus nominal 5A putaran nominal 194 rpm.
2. Beban yang digunakan merupakan adonan dodol dengan bahan 500 gram tepung ketan, 1000 gram gula merah (gula jawa), 750 ml santan cair dari setengah kelapa, dan 250 ml santan kental dari satu kelapa.
3. Wadah tempat adonan dodol yang digunakan berbentuk parabola sehingga adukan yang digunakan berbentuk parabola.
4. Pengujian viskositas dilakukan dengan menggunakan metode bola jatuh.

1.4. Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah merancang dan membuat sistem pengontrolan kecepatan pengaduk pada adonan dodol dengan kecepatan konstan dan torsi adaptif.

1.5. Manfaat

Dengan menggunakan alat dari sistem pengadukan dodol ini, diharapkan ada manfaat sebagai berikut:

1. Mempermudah bagi pengusaha dodol dalam proses pembuatan dodol.
2. Dapat meningkatkan produksi dodol yang dihasilkan. Karena proses pengadukan adonan dodol (proses terberat pembuatan dodol) dapat diselesaikan dengan alat pengaduk ini.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan pustaka atau dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian yang dilakukan dan untuk mendukung permasalahan yang diungkapkan meliputi

teori mekanika fluida, teori komponen semikonduktor, teori dasar elektronika, teori elektronika daya, teori motor listrik serta teori mikrokontroler.

BAB III METODOLOGI

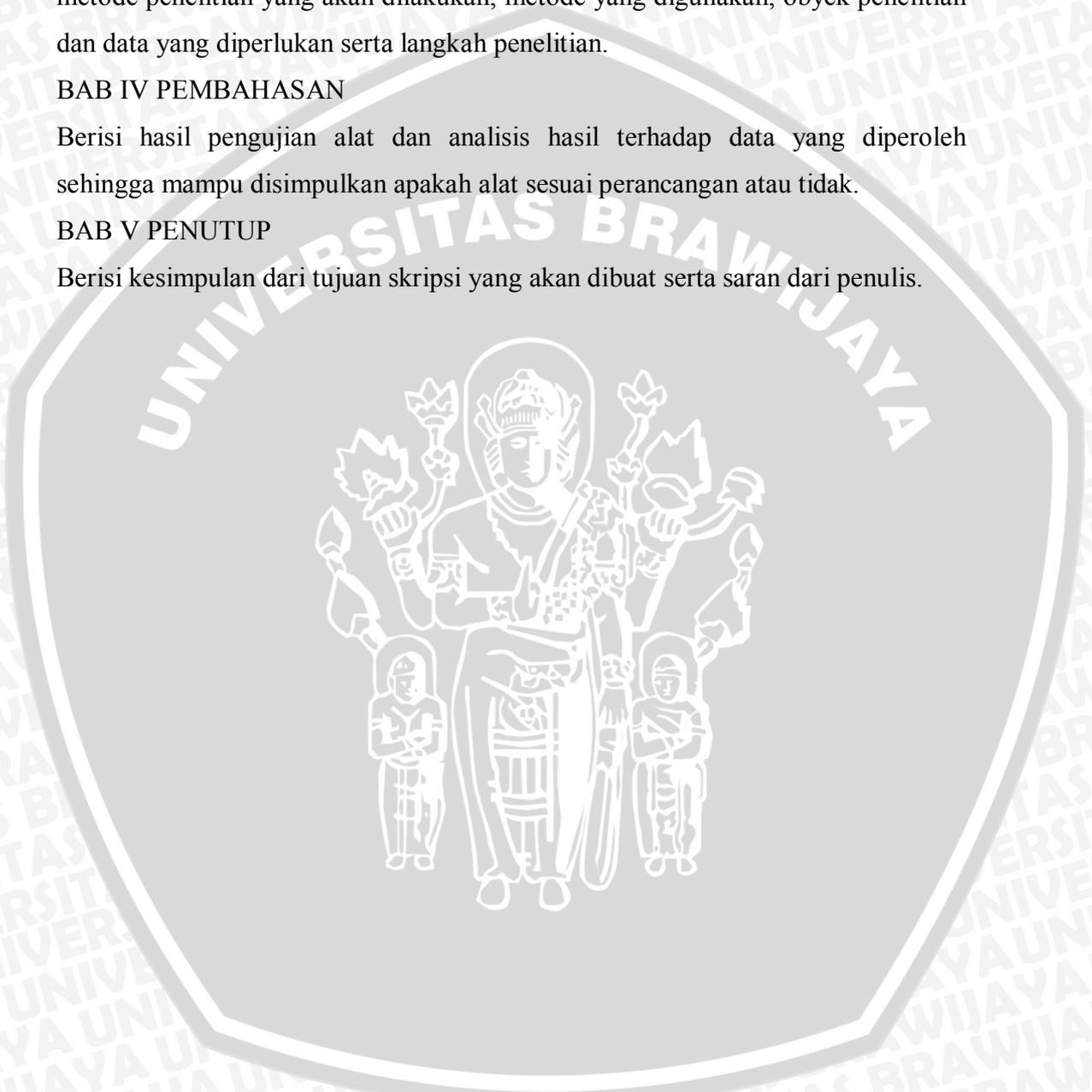
Berisi penjelasan tentang metode yang digunakan dalam skripsi ini, meliputi metode penelitian yang akan dilakukan, metode yang digunakan, obyek penelitian dan data yang diperlukan serta langkah penelitian.

BAB IV PEMBAHASAN

Berisi hasil pengujian alat dan analisis hasil terhadap data yang diperoleh sehingga mampu disimpulkan apakah alat sesuai perancangan atau tidak.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dari tujuan skripsi yang akan dibuat serta saran dari penulis.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Beban

Beban yang digunakan adalah adonan dodol. Pada adonan dodol terdapat campuran air, tepung beras, dan gula. Dalam proses pembuatan dodol, perlu dilakukan proses pemanasan yang berfungsi untuk melarutkan gula dan memekatkan larutan. Menurut Kusumah (2002), standar proses pemanasan untuk pembuatan dodol adalah dengan suhu antara $80^{\circ} - 85^{\circ}$ celcius. Proses pemanasan dilakukan hingga kekentalan yang diinginkan. Namun suhu tidak begitu berpengaruh terhadap tingkat kekentalan adonan dodol hanya saja suhu mempengaruhi waktu yang dibutuhkan untuk menuju kekentalan yang diinginkan. Selain proses pemanasan, dalam waktu yang bersamaan juga dilakukan proses pengadukan dengan kecepatan konstan yaitu 30 rpm untuk mencampur bahan-bahan tersebut agar dodol yang dihasilkan berkualitas baik.

Bahan yang digunakan untuk membuat dodol:

- 500 gram tepung ketan
- 1000 gram gula merah (gula jawa)
- 750 ml santan cair dari setengah kelapa
- 250 ml santan kental dari satu kelapa.

Langkah-langkah proses pembuatan dodol:

1. Panaskan campuran gula merah dan santan cair hingga gula merah mencair seluruhnya lalu ampas disaring. Proses pemanasan ini dilakukan selama 15 menit.
2. Campurkan tepung ketan pada campuran gula merah dan santan cair lalu aduk dan panaskan hingga menjadi bubur.
3. Tuangkan santan kental sedikit demi sedikit. Aduk dan panaskan terus hingga kental. Proses pemanasan dari pencampuran tepung ketan hingga menjadi kental dilakukan selama kurang lebih 60 menit.
4. Cetak dalam Loyang lalu dinginkan.

Tabel 2.1 Klasifikasi fluida non-newtonian

Tipe Fluida	Perilaku	Karakteristik	Contoh
Plastik padat	Plastik sempurna	Tegangan tidak menghasilkan regangan yang berkebalikan	Logam duktil lewat titik 'yield' nya
	Plastik Bingham	Tegangan geser dan regangan memiliki hubungan linier bila batas tegangan geser mulai berpengaruh terlampaui	Lumpur, beberapa koloid
	Yield pseudo-plastik	Pseudo-plastik yang melampaui beberapa batas tegangan geser mulai berpengaruh	
	Yield dilatan	Dilatant yang melampaui beberapa batas tegangan geser mulai berpengaruh	
Fluida eksponensial	Pseudoplastik	Pengurangan viskositas terlihat dengan jelas dengan adanya peningkatan gaya geser	
	Dilatant	Peningkatan viskositas terlihat dengan jelas dengan adanya peningkatan gaya geser	Larutan gula pekat dalam air, suspensi pati beras or pati jagung
Viskoelastis – memiliki karakteristik viskos dan elastis	Material Maxwell	Kombinasi linier "seri" dari efek elastis dan viskos	logam, material komposit
	fluida Oldroyd-B	kombinasi linier dari perilaku Maxwell dan Newtonian	Bitumen, adonan, nilon
	Material Kelvin	Kombinasi linier "paralel" efek elastis dan viskos	
	Anelastis	Material kembali ke bentuk awal bila gaya yang bekerja dihilangkan	
Viskositas yang bergantung waktu	Rheopektik	Peningkatan viskositas terlihat dengan jelas seiring dengan lama durasi tegangan	beberapa lubrikan
	Tiksotropik	Penurunan viskositas terlihat dengan jelas seiring dengan lama durasi tegangan	Saus tomat dan beberapa jenis madu

Sumber : Fluida non-newtonian (Wikipedia: 2012)

2.2 Mekanika Fluida

Mekanika fluida adalah sub disiplin dari mekanika kontinum yang mempelajari fluida (yang dapat berupa cairan dan gas). Mekanika fluida dapat dibagi menjadi fluida statik dan fluida dinamik. Fluida statis mempelajari fluida

pada keadaan diam sementara fluida dinamis mempelajari fluida yang bergerak. Pada mekanika fluida, jenis fluida dibagi menjadi fluida Newtonian dan non Newtonian.

2.2.1 Fluida Newtonian

Fluida newtonian (istilah yang diperoleh dari nama Isaac Newton) adalah suatu fluida yang memiliki kurva tegangan/regangan yang linier. Pada fluida newtonian, viskositas bernilai konstan sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida. Contoh umum dari fluida yang memiliki karakteristik ini adalah air

2.2.2 Fluida *Non-Newtonian*

Fluida *non-newtonian* adalah suatu fluida yang akan mengalami perubahan viskositas ketika terdapat gaya yang bekerja pada fluida tersebut. Hal ini menyebabkan fluida non-Newtonian tidak memiliki viskositas yang konstan. Berkebalikan dengan fluida non-newtonian, pada fluida newtonian viskositas bernilai konstan sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida. Klasifikasi dari fluida non-newtonian ditunjukkan pada Tabel 2.1.

2.2.3 Viskositas

Viskositas adalah "Ketebalan" atau "pergesekan internal". Viskositas menjelaskan ketahanan internal fluida untuk mengalir atau sebagai pengukuran dari pergeseran fluida. Oleh karena itu, air yang "tipis", memiliki viskositas lebih rendah, sedangkan madu yang "tebal", memiliki viskositas yang lebih tinggi. Sederhananya, semakin rendah viskositas suatu fluida, semakin besar juga pergerakan dari fluida tersebut.

Pengukuran viskositas dengan melakukan percobaan bola jatuh yaitu dengan mendapatkan nilai viskositas dengan cara mengukur waktu yang dibutuhkan oleh suatu bola jatuh melalui sampel pada jarak tertentu. Pada tahun 1851, George Gabriel Stokes menemukan jika suatu bola dijatuhkan ke cairan dengan gaya beratnya sendiri, maka nilai viskositas akan didapatkan dengan Persamaan 2-1 (Endarko, 2008 : 207).

$$\eta = \frac{2r^2 g (\rho_{bola} - \rho_{cairan})}{9v} \quad (2-1)$$

Dimana : V	= Kecepatan bola jatuh (m/s)
r	= jari-jari bola yang dijatuhkan (m)
g	= Percepatan gravitasi (m/s^2)
ρ_{bola}	= Densitas (massa jenis) bola (Kg/m^3)
ρ_{cairan}	= Densitas (massa jenis) fluida (Kg/m^3)
η	= Viskositas fluida (Pa s)

2.2.4 Massa Jenis (Densitas)

Densitas atau massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya. Massa jenis berfungsi untuk menentukan zat. Setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. Persamaan untuk menentukan massa jenis ditunjukkan pada Persamaan 2-2 (Young, 2002 : 424).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-2)$$

Dimana : ρ	= Massa jenis (Kg/m^3)
m	= Massa (Kg)
V	= Volume (m^3)

Cara mengukur massa jenis ada 3 cara yaitu :

1. Menimbang massa gelas ukur yang kosong.
2. Menimbang massa gelas ukur yang ada zat cairnya dan mencari volume zat yang ingin diukur baik secara langsung atau melalui perhitungan.
3. Membagi antara massa dan volume zat tersebut.

2.2.5 Daya Pengadukan

Faktor yang mempengaruhi kebutuhan daya untuk pengadukan adalah jenis fluida, diameter pengaduk, kekentalan cairan, kerapatan cairan, percepatan grafitasi dan laju putar pengaduk. Daya yang dibutuhkan pada pengadukan ini sangat dipengaruhi oleh kondisi beban. Kondisi beban ditunjukkan dalam bilangan Reynold dengan Persamaan 2-3 (Berk, 2009 : 178).

$$N_R = \frac{D^2 n \rho}{\mu} \quad (2-3)$$

Dengan mengetahui bilangan reynold maka dapat diketahui daya yang dibangkitkan. Persamaan daya yang dibangkitkan tergantung dari aliran fluida, sehingga :

- Persamaan daya secara umum ditunjukkan pada Persamaan 2-4 (Berk, 2009 : 178).

$$P = P_0 \rho n^3 D^5 \quad (2-4)$$

- Persamaan daya dengan bilangan Reynold < 10 (aliran laminar) ditunjukkan pada Persamaan 2-5 (Berk, 2009 : 179).

$$P = P_0 \mu n^2 D^3 \quad (2-5)$$

Dimana :

N_R = Bilangan Reynold

D = Diameter pengaduk (m)

n = putaran (rpm)

ρ = Densitas (Kg / m^3)

μ = Viskositas ($\text{N-s} / \text{m}^2$)

P = Daya yang digunakan untuk mengaduk (Watt)

P_0 = Koefisien daya

Pada sistem pengadukan, besarnya P_0 berdasarkan pada bentuk dari sistem adukan. Persamaan diatas hanya merupakan daya yang digunakan untuk memutar beban (rugi-rugi sistem belum termasuk dalam persamaan).

2.2.6 Torsi dan Gaya Pengadukan

Persamaan torsi dan gaya yang dibutuhkan untuk mengaduk fluida adalah :

- Persamaan torsi dan gaya secara umum ditunjukkan pada Persamaan 2-7 dan 2-9 (Weetman, 2002 : 206).

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi n} \quad (2-6)$$

$$T = \frac{P_0 \rho n^3 D^5}{2\pi n} = \frac{P_0 \rho n^2 D^5}{2\pi} \quad (2-7)$$

$$F = \frac{T}{N_{\text{efektif}} N_{\text{blade}}} = \frac{P_0 \rho n^2 D^5}{2\pi \left(0.75 \frac{D}{2}\right) N_{\text{blade}}} \quad (2-8)$$

$$F = \frac{4P_0 \rho n^2 D^4}{3\pi N_{\text{blade}}} \quad (2-9)$$

- Persamaan torsi dan gaya jika aliran laminar (bilangan Reynold < 10) ditunjukkan pada Persamaan 2-10 dan 2-12 (Weetman, 2002 : 206).

$$T = \frac{P_0 \mu n^2 D^3}{2\pi n} = \frac{P_0 \mu n D^3}{2\pi} \quad (2-10)$$

$$F = \frac{T}{N_{\text{efektif}} N_{\text{blade}}} = \frac{P_0 \mu n D^3}{2\pi \left(0.75 \frac{D}{2}\right) N_{\text{blade}}} \quad (2-11)$$

$$F = \frac{4P_0 \mu n D^2}{3\pi N_{\text{blade}}} \quad (2-12)$$

Dimana :

D = Diameter pengaduk (m)

n = putaran (rpm)

ρ = Densitas (Kg / m³)

μ = Viskositas (N-s / m²)

P = Daya yang digunakan untuk mengaduk (Watt)

P_0 = Koefisien daya

F = Gaya adukan (N)

T = Torsi adukan (N-m)

N_{blade} = Jumlah *blade* pengaduk

2.2.7 Pitched Blade Impeller

Untuk sistem adukan dengan menggunakan *pitched blade impeller* memiliki persamaan koefisien daya ditunjukkan pada Persamaan 2-13 (Beshay, 2001 : 22).

$$P_0 = 1.507 \left(\frac{T}{D}\right)^{-0.365} \left(\frac{h}{D}\right)^{-0.165} \left(\frac{H}{T}\right)^{0.140} n_B^{0.171} (\sin \alpha)^{2.077} \quad (2-13)$$

Dimana :

P_0 = Koefisien daya

n_B = Jumlah *blade* pengaduk

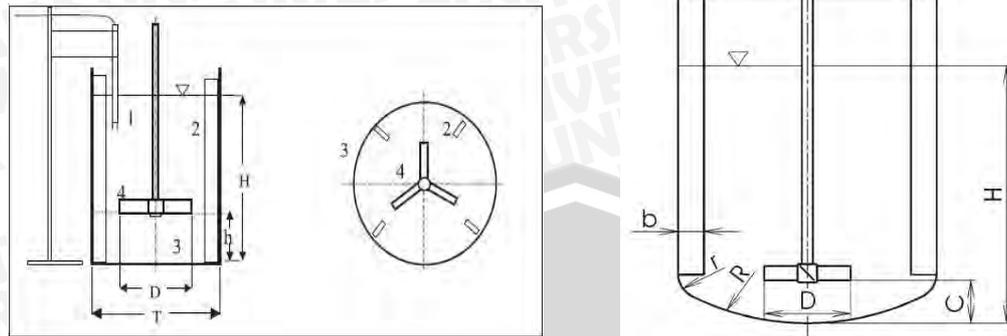
h = Tinggi pengaduk dari dasar (m)

D = Diameter *impeller* (m)

T = Diameter tangki (m)

H = Ketinggian cairan (m)

α = sudut dari kemiringan *blade* ($^\circ$)



a). Dasar tangki datar

b). Dasar tangki parabola

Gambar 2.1. Hubungan pengaduk dengan tangki

Sumber : a). Fořt, dkk (2001:8)

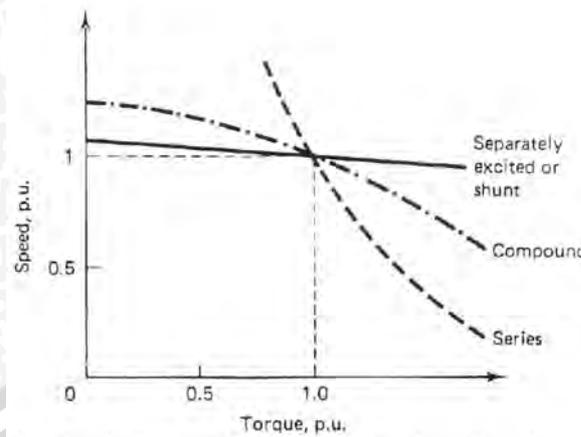
b). Fořt, dkk (2002:1)

Pada Gambar 2.1 bagian a, terdapat 3 buah *pitched blade impeller* yang digunakan untuk mengaduk suatu cairan. Berdasarkan persamaan ditunjukkan bahwa jumlah *blade* pengaduk mempengaruhi besarnya koefisien daya sehingga semakin banyak jumlah *blade* yang digunakan dalam proses pengadukan semakin besar pula daya yang dibutuhkan untuk memutar *blade* tersebut.

2.3 Motor DC Magnet Permanen

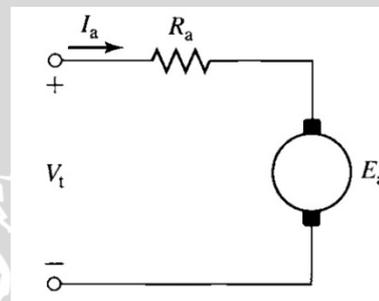
Motor DC magnet permanen secara umum ditemukan di berbagai jenis aplikasi yang berdaya rendah. Belitan medan (motor DC penguat terpisah) diganti dengan magnet permanen yang menghasilkan konstruksi dari motor DC magnet permanen lebih sederhana. Motor DC magnet permanen menawarkan beberapa keuntungan yaitu disipasi daya yang lebih kecil dibandingkan dengan yang menggunakan belitan medan, ukuran dari motor DC magnet permanen lebih kecil daripada motor DC dengan menggunakan belitan (motor DC penguat terpisah) dan pada beberapa kasus harga dari motor DC magnet permanen lebih murah daripada motor DC penguat terpisah.

Grafik karakteristik kecepatan fungsi torsi motor DC magnet permanen dibandingkan dengan motor DC yang lain ditunjukkan pada Gambar 2.2. Pada Gambar 2.2, grafik motor DC magnet permanen ekuivalen dengan motor DC penguat terpisah yang mana kumparan medan dicatu dengan tegangan konstan agar fluksi yang dihasilkan konstan. Rangkaian ekuivalen motor DC magnet permanen pada keadaan tunak ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.2. Grafik karakteristik motor DC kecepatan = f (torsi) pada tegangan terminal (V_t) konstan.

Sumber : Dubey (1989:37).



Gambar 2.3. Rangkaian ekivalen motor DC magnet permanen pada keadaan tunak

Sumber : Fitzgerald (2003:389).

Persamaan respon dinamis dari motor DC magnet permanen ditunjukkan oleh Persamaan 2-14 hingga 2-17 (Rashid, 2001 : 665). Persamaan respon dinamis torsi ditunjukkan oleh Persamaan 2-14, tegangan jepit motor ditunjukkan oleh Persamaan 2-15, tegangan jangkar ditunjukkan oleh Persamaan 2-16 dan torsi secara mekanik ditunjukkan oleh Persamaan 2-17.

$$T = K_T i_a \tag{2-14}$$

$$v_t = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e \tag{2-15}$$

$$e = K_e n \tag{2-16}$$

$$T = J \frac{d\omega}{dt} + D\omega + T_L \tag{2-17}$$

Persamaan respon tunak dari motor DC magnet permanen ditunjukkan oleh Persamaan 2-18 hingga 2-22 (Rashid, 2001 : 665). Persamaan respon tunak torsi ditunjukkan oleh Persamaan 2-18, tegangan jepit motor ditunjukkan oleh Persamaan 2-19, tegangan jangkar ditunjukkan oleh Persamaan 2-20, torsi secara mekanik ditunjukkan oleh Persamaan 2-21 dan kecepatan motor ditunjukkan oleh



Persamaan 2-22.

$$T = K_T I_a \quad (2-18)$$

$$V_t = R_a I_a + E \quad (2-19)$$

$$E = K_e n \quad (2-20)$$

$$T = J\omega + T_L \quad (2-21)$$

$$n = \frac{V_t - I_a R_a}{K_e} \quad (2-22)$$

Konstanta yang digunakan pada persamaan motor DC magnet permanen adalah K_e dan K_T . K_e adalah konstanta tegangan jangkar yang ditunjukkan oleh Persamaan 2-23 (Chapman, 2005: 516). K_T adalah konstanta torsi yang ditunjukkan oleh Persamaan 2-24 (Chapman, 2005: 516).

$$K_e = \frac{ZP}{a} \Phi \quad (2-23)$$

$$K_T = \frac{ZP}{2\pi a} \Phi \quad (2-24)$$

- | | |
|--|---------------------------------------|
| n = Kecepatan motor (rps). | R_a = Tahanan Jangkar (Ω). |
| K_e = Konstanta tegangan jangkar. | T_L = Torsi beban (Nm) |
| E = Tegangan jangkar (V). | L_a = Induktansi jangkar (H). |
| T = Torsi (Nm). | V_t = Tegangan jepit motor (V) |
| K_T = Konstanta torsi. | I_a = Arus jangkar (A). |
| J = Momen inersia (Kg/m^2). | Φ = Fluks magnet (weber). |
| ω = Kecepatan motor (rad/s). | P = Jumlah kutub. |
| D = Redaman (Kg/m^2). | a = banyak cabang. |
| Z = Jumlah konduktor pada belitan jangkar. | |

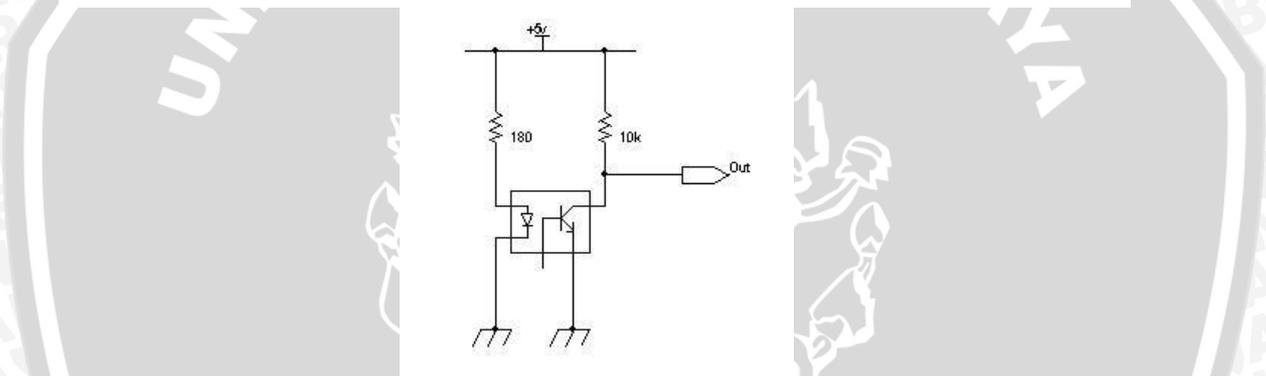
2.4 Rotary Encoder

Rotary encoder adalah divais elektromekanik yang dapat memonitor gerakan dan posisi. *Rotary encoder* umumnya menggunakan sensor optik untuk menghasilkan serial pulsa yang dapat diartikan menjadi gerakan, posisi, dan arah. Sehingga posisi sudut suatu poros benda berputar dapat diolah menjadi informasi berupa kode digital oleh *rotary encoder* untuk diteruskan oleh rangkaian kendali. *Rotary encoder* umumnya digunakan pada pengendalian robot, *motor drive*, dsb.

Rotary encoder tersusun dari suatu piringan tipis yang memiliki lubang-lubang pada bagian lingkaran piringan. LED ditempatkan pada salah satu sisi

piringan sehingga cahaya akan menuju ke piringan. Di sisi yang lain suatu foto-transistor diletakkan sehingga foto-transistor ini dapat mendeteksi cahaya dari LED yang berseberangan. Piringan tipis tersebut dikopel dengan poros motor, atau divais berputar lainnya yang ingin kita ketahui posisinya, sehingga ketika motor berputar piringan juga akan ikut berputar. Apabila posisi piringan mengakibatkan cahaya dari LED dapat mencapai photo-transistor melalui lubang-lubang yang ada, maka foto-transistor akan mengalami saturasi dan akan menghasilkan suatu pulsa gelombang persegi.

Rangkaian elektrik *rotary encoder* ditunjukkan oleh gambar 2.4. Resistor pada rangkaian ini berfungsi untuk membatasi arus yang mengalir pada foto-transistor. Tegangan keluaran yang dihasilkan yaitu 5 V ketika cahaya diblok oleh piringan dan 0 V ketika cahaya diteruskan ke foto-transistor.



Gambar 2.4. Rangkaian tipikal penghasil pulsa pada *rotary encoder*

Sumber: Rizqiawan (Sekilas rotary encoder : 2012)

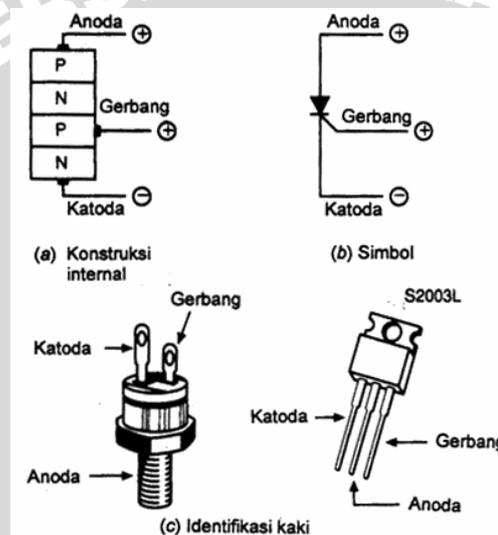
2.5 *Silicon Controlled Rectifier (SCR)*

Silicon Controlled Rectifier (SCR) merupakan alat semikonduktor empat lapis (PNPN) yang menggunakan tiga kaki yaitu anoda (*anode*), katoda (*cathode*), dan gerbang (*gate*) – dalam operasinya. SCR adalah salah satu *thyristor* yang paling sering digunakan dan dapat melakukan penyaklaran untuk arus yang besar. SCR dapat dikategorikan menurut jumlah arus yang dapat beroperasi, yaitu SCR arus rendah dan SCR arus tinggi. SCR arus rendah dapat bekerja dengan arus anoda kurang dari 1 A sedangkan SCR arus tinggi dapat menangani arus beban sampai ribuan ampere.

Simbol skematis untuk SCR mirip dengan simbol penyearah dioda dan diperlihatkan pada Gambar 2.5. Pada kenyataannya, SCR mirip dengan dioda

karena SCR menghantarkan hanya pada satu arah. SCR harus diberi bias maju dari anoda ke katoda untuk konduksi arus.

Operasi SCR sama dengan operasi dioda standar kecuali bahwa SCR memerlukan tegangan positif pada gerbang untuk menghidupkan saklar. Gerbang SCR dihubungkan dengan basis transistor internal, dan untuk itu diperlukan setidaknya 0,7 V untuk memicu SCR. Tegangan ini disebut sebagai tegangan pemicu gerbang (*gate trigger voltage*). Biasanya pabrik pembuat SCR memberikan data arus masukan minimum yang dibutuhkan untuk menghidupkan SCR. Lembar data (*Data sheet*) menyebutkan arus ini sebagai arus pemicu gerbang (*gate trigger current*).



Gambar 2.5. Konstruksi dan simbol SCR

Sumber : Hasad (2011 : 1)

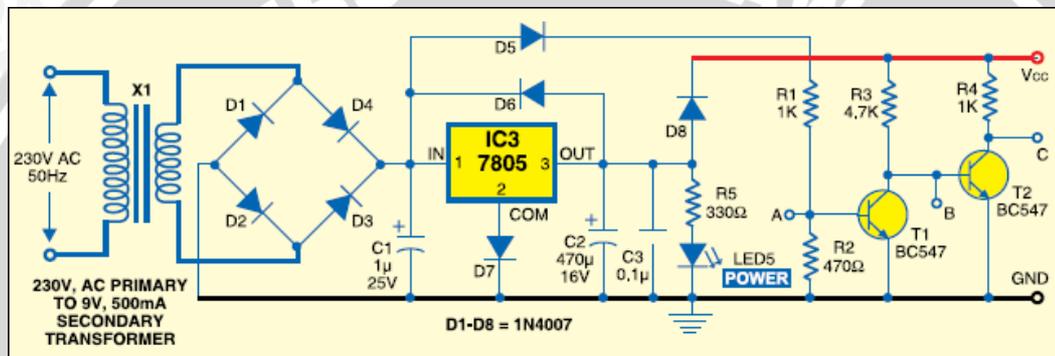
Pengaturan sudut penyalan memerlukan dua sistem yaitu :

1. *Zero crossing detector*
2. Sistem pengontrol

2.5.1 *Zero Crossing Detector*

Zero crossing detector merupakan rangkaian elektronis yang berfungsi untuk mendeteksi titik tegangan nol pada tegangan jala-jala. Rangkaian *zero crossing detector* akan menghasilkan output berupa pulsa sempit pada saat terjadi persilangan nol pada tegangan AC yang dideteksi. Rangkaian *zero crossing detector* umumnya digunakan untuk penentuan titik awal pada sudut penyalan triac maupun SCR.

Gambar 2.6 Merupakan diagram rangkaian detektor titik tegangan nol pada sumber jala-jala. Sistem utama dari rangkaian tersebut adalah rectifier, regulator, dan detektor titik nol. Tegangan 230 V AC diturunkan oleh trafo X1 sehingga tegangan sekunder trafo menjadi 9 V dengan nilai rating arus maksimum 500 mA. Keluaran dari trafo disearahkan dengan rangkaian penyearah jembatan penuh dan tegangan diubah menjadi 5 V dengan IC 7805 (regulator tegangan). Kapasitor C2 dan C3 digunakan untuk menghilangkan *ripple* yang dihasilkan oleh IC 7805. Dioda D6 digunakan untuk melindungi IC regulator pada kasus masukan hubung singkat ke tanah. LED5 mengindikasikan rangkaian berfungsi dan resistor R5 untuk membatasi arus pada LED5.



Gambar 2.6. Rangkaian *zero crossing detector*

Sumber : Bhatt (*Phase Angle Control of SCR Using AT89C51*: 2012)

Tegangan 5V dari regulator tegangan digunakan untuk tegangan bias pada kedua transistor (T1 dan T2) dan untuk sistem pengontrolan. Tegangan pulsa DC digunakan pada basis transistor T1 melalui dioda D5 dan resistor R1 dan R2. Ketika tegangan pulsa menuju ke nol, kolektor dari T1 beranjak naik. Hal ini yang digunakan untuk mendeteksi pulsa ketika tegangan nol. Pulsa yang terdeteksi dari C ditujukan ke mikrokontroler untuk seksi pengontrolan.

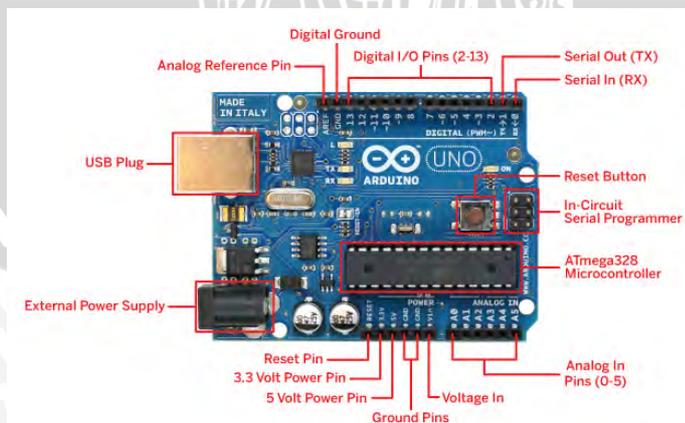
2.5.2 Sistem Pengontrol (Arduino)

Arduino adalah sebuah project *open-source developing tools* berupa mikrokontroler yang dirancang oleh sebuah tim yang dimotori oleh Massimo Banzi dari Italia. Arduino memiliki bahasa pemrograman yang didasarkan atas *board Wiring* yang begitu mudah dipahami dan sederhana sehingga setiap orang bisa menggunakan Arduino. Kekuatan Arduino terletak pada basis komunitas karena sifat Arduino adalah *open-source*, sehingga begitu banyak orang yang

mengupload project mereka dengan Arduino di forum-forum yang membahas tentang Arduino di *internet*.

Jenis Arduino yang tersedia begitu beragam, antara lain Arduino Uno, Arduino Mega, Arduino Mini, Arduino LilyPad, Arduino Leonardo, dll. Jenis yang paling umum digunakan di kalangan praktisi adalah Arduino Uno seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Komponen utama dari Arduino ini adalah Mikrokontroler ATmega 328 yang berfungsi sebagai “otak” dari Arduino. Kemudian tersedia pula USB plug yang berfungsi sebagai “jembatan” antara Arduino dengan program yang tersedia di PC/Notebook. Sebuah kabel USB dibutuhkan untuk bisa menghubungkan Arduino dengan PC/Notebook. Di program inilah nanti para pengguna bisa memprogram Arduinonya sesuai dengan keinginan dan kebutuhan.

Selain menggunakan USB plug, untuk memprogram Arduino dapat pula digunakan In-Circuit Serial Programmer yang juga telah disediakan di board Arduino. Pada Gambar 2.7 dapat dilihat juga terdapat External Power Supply port, ini adalah port yang digunakan untuk menyuplai daya ke board Arduino. Board Arduino Uno membutuhkan tegangan DC sebesar 5 volt. Terdapat total 28 pin pada Arduino, 12 pin difungsikan sebagai Digital I/O pin yaitu dari pin 2-13. 6 pin digunakan sebagai Analog Input pin yaitu pin A0-A5. Kemudian terdapat Analog Reference Pin, Digital Ground Pin, Serial Out (Tx) Pin, Serial In (Rx) Pin, Reset Pin, 3.3 Volt Power Pin, 5 Volt Power Pin, 2 Ground Pin, dan Voltage In Pin.



Gambar 2.7. Arduino uno

Sumber : Margolis (2011:3)

2.6 Rangkaian Penyearah Terkontrol Gelombang Penuh

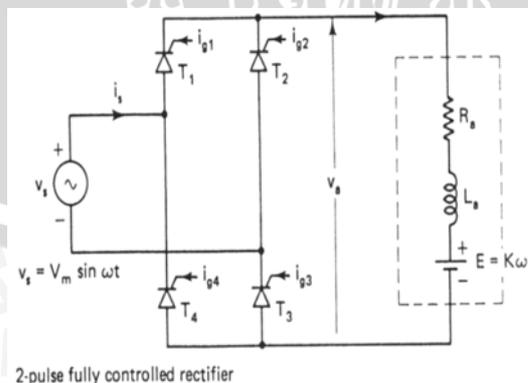
Rangkaian penyearah terkontrol gelombang penuh merupakan rangkaian penyearah arus (AC ke DC) yang dapat diatur waktu konduksinya melalui *gate* SCR. Persamaan umum untuk menentukan tegangan rata-rata keluaran dan arus rata-rata keluaran dari rangkaian penyearah terkontrol gelombang penuh ditunjukkan pada Persamaan 2-25 dan 2-26 (Rashid, 2001 : 170).

$$V_a = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) \quad (2-25)$$

$$I_a = \frac{1}{\pi R_a} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) \quad (2-26)$$

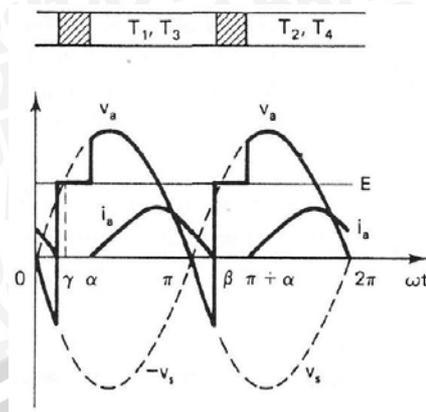
Gambar 2.8 menunjukkan rangkaian penyearah gelombang penuh terkontrol untuk beban motor DC magnet permanen. Pada gambar 2.8 tegangan jangkar dari motor DC diatur dengan mengatur melalui 4 buah SCR yang dapat dikontrol tegangannya melalui *gate* SCR.

Gambar 2.9 menunjukkan grafik konduksi SCR pada kondisi $\alpha > \gamma$, dan i_a mengalir dari α ke β dan tetap 0 dari β ke $(\pi + \alpha)$. Di setiap siklus tegangan keluar memiliki interval kerja dan interval arus 0. Untuk siklus tegangan keluar dari α ke $(\pi + \alpha)$, interval kerja berada dari α hingga β dan interval arus 0 berada dari β ke $(\pi + \alpha)$. Persamaan arus dinamis untuk interval kerja ditunjukkan pada Persamaan 2-27 (Dubey, 1989 : 80) dan Persamaan arus untuk keadaan tunak ditunjukkan pada persamaan 2-28 (Dubey, 1989 : 80) serta persamaan tegangan rata-rata ditunjukkan pada Persamaan 2-29 (Dubey, 1989 : 80). Persamaan konstanta γ ditunjukkan pada Persamaan 2-30 (Dubey, 1989 : 73) dan konstanta ψ ditunjukkan pada Persamaan 2-31 (Dubey, 1989 : 79).



Gambar 2.8. Rangkaian penyearah terkontrol gelombang penuh beban motor DC magnet permanen

Sumber : Dubey (1989:73)



Gambar 2.9. Grafik konduksi SCR pada kondisi $\alpha > \gamma$, dan i_a mengalir dari α ke β dan tetap 0 dari β ke $(\pi + \alpha)$

Sumber : Dubey (1989:74)

$$i_a(\omega t) = \frac{V_m}{Z} [\sin(\omega t - \psi) - \sin(\alpha - \psi)e^{(\alpha - \omega t) \cot(\psi)}] - \frac{K_{en}}{R_a} [1 - e^{(\alpha - \omega t) \cot(\psi)}] \quad (2-27)$$

$$I_a = \frac{V_m [\cos(\alpha) - \cos(\beta)] - (\beta - \alpha) K_{en}}{\pi R_a} \quad (2-28)$$

$$V_a = \frac{1}{\pi} \left[\int_{\alpha}^{\beta} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) + \int_{\beta}^{\pi + \alpha} E d(\omega t) \right] \quad (2-29)$$

Dimana :

$$\gamma = \sin^{-1} \left(\frac{E}{V_m} \right) \quad (2-30)$$

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{\omega L_a}{R_a} \right) \quad (2-31)$$

2.7 Optocoupler

Komponen yang digunakan untuk mengisolasi komponen elektronika daya dengan rangkaian berdaya rendah yang sebagai rangkaian pengontrol salah satunya adalah *optocoupler*. Sering kali ditemukan rangkaian elektronika daya orde megawatt dikontrol hanya dengan rangkaian beberapa watt. *Optocoupler* berfungsi sebagai pengisolasi sinyal listrik antara rangkaian sinyal masukan dan keluaran (Mazda, 1997: 82). *Optocoupler* merupakan alat yang digunakan untuk mengkopel suatu sumber dengan detektor menggunakan perantara cahaya. Oleh karena itu piranti ini disebut dengan *optoisolator / optocoupler*.

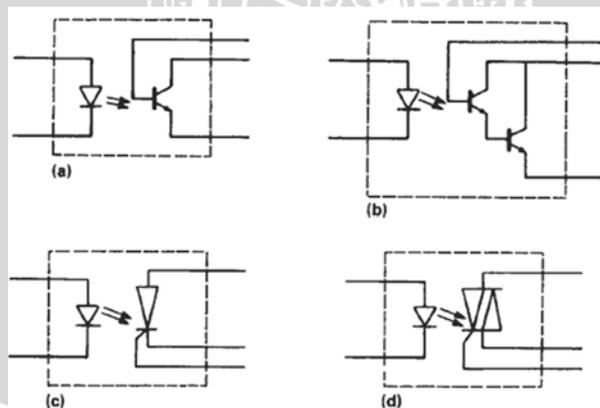
Optocoupler terbuat dari kombinasi dari sumber cahaya dan pendeteksi cahaya yang tergabung dalam satu kemasan. *Light emitting diode* atau LED seringkali digunakan sebagai sumber cahaya, dan berbagai komponen semikonduktor sebagai detektor cahaya. Kaca atau plastik digunakan sebagai

pemisah antara sumber cahaya dan detektor, sehingga memungkinkan untuk ditempatkan pada tempat yang berdekatan.

Pada prinsipnya, sinyal listrik dalam bentuk arus pada masukan diubah menjadi sinyal optik dengan menggunakan sumber cahaya LED. Sinyal optik tersebut akan diterima oleh detektor untuk diubah kembali menjadi sinyal listrik. Umumnya *optocoupler* dipakai untuk mengisolasi sinyal listrik yang ada pada rangkaian masukan dan keluaran sehingga dapat digunakan transmisi sinyal antar rangkaian.

Optocoupler memiliki beberapa parameter antara lain: tingkat isolasi antara sumber cahaya dan detektor, rasio transfer arus masukan-luaran, dan kecepatan operasi *optocoupler*. Rasio transfer arus merupakan rasio antara arus keluaran dan arus masukan dari sumber potensial, ketika optocoupler bekerja.

Berbagai jenis dari detektor yang digunakan pada *optocoupler* ditunjukkan pada Gambar 2.10. foto transistor-coupler dikenal dalam kategori harga rendah dengan kecepatan operasi kerja 100-500 kHz dan minimum rasio transfer arus antara 20% dan 300%. Foto darlington memiliki rasio transfer arus antara 100% dan 1000% namun memiliki tingkat keakuratan yang rendah dikarenakan adanya tingkat penguatan pada hubungan darlington dengan kecepatan operasi termasuk rendah, dengan nilai antara 20 kHz dan 10 kHz.



Gambar 2.10. Beberapa contoh detektor optik aplikasi elektronika daya.

a) Transistor, b) Darlington, c) Thyristor, d) Triac

Sumber : Mazda (1997:83)

Foto thyristor dan foto triac digunakan sebagai detector untuk aplikasi dengan arus yang besar. Namun parameter yang perlu diperhatikan lebih lanjut adalah arus yang mengalir melalui LED yang nantinya akan memicu thyristor atau

TRIAC. Efisiensi hantaran antara LED dengan foto transistor yang rendah sehingga perlu untuk mendesain thyristor atau TRIAC yang memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi. Biasanya proses desain memerlukan perhatian lebih agar tidak menurunkan parameter yang lain seperti kemampuan hantaran arus. Beberapa parameter umum dari foto transistor dan foto triac antara lain : arus pemicuan 10-130 mA, mampu menyalurkan 100 sampai 300 mA, dan Waktu kerja 1-10 ms.

2.8 Regresi

Regresi digunakan untuk mengetahui suatu persamaan yang belum diketahui dari suatu kumpulan data.

2.8.1 Regresi Linier

Regresi linier digunakan untuk menentukan fungsi linier yang paling sesuai dengan kumpulan titik data (x_n, y_n) yang diketahui. Persamaan umum untuk regresi linier ditunjukkan oleh Persamaan 2-32 (Anonim, Bahan Ajar Metode Numerik : 7). Untuk mengetahui nilai m maka digunakan perhitungan dengan Persamaan 2-33 (Anonim, Bahan Ajar Metode Numerik : 7) dan untuk mengetahui nilai c maka digunakan perhitungan dengan Persamaan 2-34 (Anonim, Bahan Ajar Metode Numerik : 7).

$$y = mx + c \quad (2-32)$$

$$m = \frac{N \sum_{n=1}^N x_n y_n - (\sum_{n=1}^N x_n)(\sum_{n=1}^N y_n)}{N \sum_{n=1}^N x_n^2 - (\sum_{n=1}^N x_n)^2} \quad (2-33)$$

$$c = \frac{\sum_{n=1}^N y_n}{N} - m \frac{\sum_{n=1}^N x_n}{N} \quad (2-34)$$

2.8.2 Regresi Polinomial

Regresi polinomial digunakan untuk membentuk fungsi polinomial yang paling sesuai dengan kumpulan titik data (x_n, y_n) yang diketahui. Persamaan umum untuk regresi polinomial orde 2 ditunjukkan oleh Persamaan 2-35 (Anonim, Bahan Ajar Metode Numerik : 15). untuk mendapatkan nilai a_0 a_1 dan a_2 ditunjukkan oleh Persamaan 2-36 (Anonim, Bahan Ajar Metode Numerik : 15).

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 \quad (2-35)$$

$$\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & \sum_{n=1}^N x_n & \sum_{n=1}^N x_n^2 \\ \sum_{n=1}^N x_n & \sum_{n=1}^N x_n^2 & \sum_{n=1}^N x_n^3 \\ \sum_{n=1}^N x_n^2 & \sum_{n=1}^N x_n^3 & \sum_{n=1}^N x_n^4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum_{n=1}^N y_n \\ \sum_{n=1}^N x_n y_n \\ \sum_{n=1}^N x_n^2 y_n \end{bmatrix} \quad (2-36)$$

2.9 Metode Newton Rhapson

Metode Newton Rhapson merupakan salah satu metode untuk mengetahui suatu nilai pada variabel tertentu yang belum diketahui nilainya dengan memberikan nilai awalan pada variabel tersebut. Dalam proses penentuan nilai variabel tersebut terdapat *error* dari proses perhitungan (iterasi) yang digunakan sebagai batas dari proses perhitungan tersebut. Persamaan Newton Rhapson ditunjukkan oleh Persamaan 2-37 (Chapra, 2010 : 149) .

$$X_{n+1} = X_n - \frac{f(X_n)}{f'(X_n)} \quad (2-37)$$



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Penentuan Spesifikasi Komponen

Alat yang dirancang memenuhi spesifikasi sebagai berikut :

1. Menggunakan SCR S6008L sebagai komponen pensaklaran *AC-DC Converter*.
2. Menggunakan motor DC magnet permanen 95 Watt, 19 VDC, 5 A, 194 rpm sebagai penggerak utama.
3. Sistem pengontrol yang digunakan adalah arduino uno sebagai pengatur *trigger gate* SCR dan menghitung kecepatan motor yang akan ditampilkan di LCD Display.
4. *Rotary encoder* Copal LC38RM 200 pulsa per putaran sebagai pengukur kecepatan motor.
5. Trafo 220V/18V 5A digunakan untuk menyuplai motor.
6. Trafo 240V/9V 1A digunakan untuk rangkaian pengontrol.
7. LCD Display 2x16.
8. Kecepatan motor sebesar 30 rpm.
9. Sistem pengaduk berjenis *pitch blade impeller*.
10. Tangki yang digunakan berbentuk parabola.

3.2 Perancangan Alat

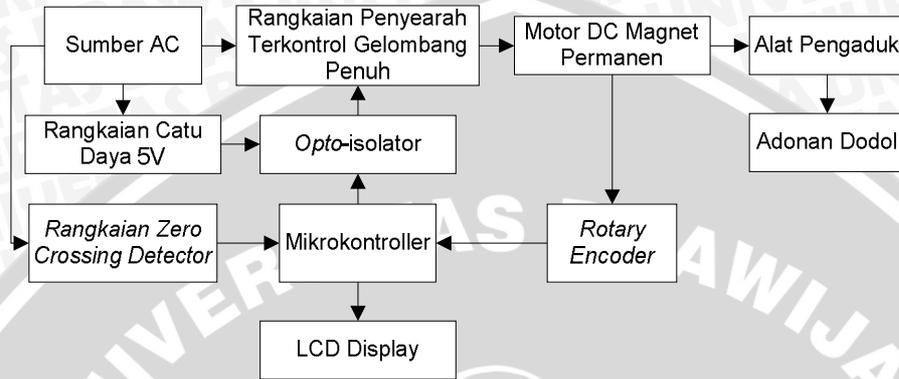
3.2.1 Blok Diagram Perancangan

Blok diagram yang direncanakan dapat dilihat seperti pada Gambar 3.1. Cara kerja sistem pada Gambar 3.1 adalah :

1. Baling-baling yang dikopel dengan motor mengaduk adonan dodol dengan kecepatan konstan 30 Rpm.
2. Adonan dodol makin lama makin mengental sehingga akan meningkatkan torsi beban yang mengakibatkan kecepatan motor berkurang.
3. *Rotary encoder* mendeteksi perubahan kecepatan motor sehingga sensor memerintahkan mikrokontroler untuk mengatur sudut penyalan pada SCR. Sudut penyalan yang dibangkitkan pada SCR harus dapat menghasilkan

tegangan keluaran yang mampu menghasilkan kecepatan motor sebesar 30 Rpm.

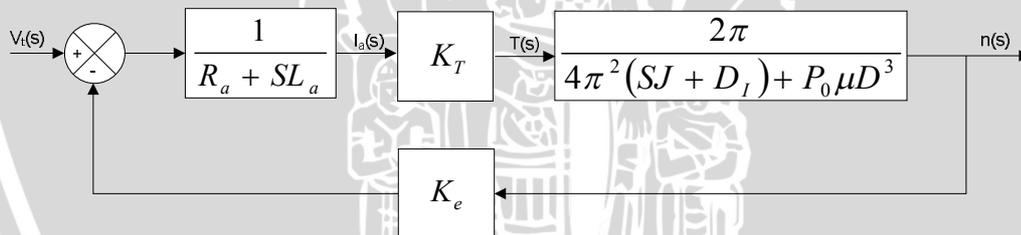
- Titik referensi dari sudut penyalaan adalah berdasarkan pada perubahan logika tinggi ke rendah pada rangkaian *zero crossing detector*.
- Kecepatan motor ditampilkan pada LCD *display* setiap 30 detik.



Gambar 3.1. Blok diagram desain sistem elektrik pengaduk adonan dodol

3.2.2 Blok Diagram Kontrol

Blok diagram kontrol yang direncanakan dapat dilihat seperti pada Gambar 3.2. variabel yang ada pada masing-masing balok pada Gambar 3.2 merupakan hasil dari penentuan fungsi alih untuk motor DC magnet permanen.



Gambar 3.2. Blok diagram kontrol sistem alat pengaduk adonan dodol

Pertama yang harus dilakukan adalah mengetahui torsi yang diperlukan motor DC magnet permanen untuk mengaduk adonan dodol. Torsi yang diperlukan motor DC untuk mengaduk adonan dodol ditunjukkan pada Persamaan 2-17 dan torsi beban ditunjukkan pada Persamaan 2-10. Dengan menggabungkan Persamaan 2-17 dan 2-10 maka akan didapatkan Persamaan 3-1. Hubungan arus dan torsi pada motor DC magnet permanen ditunjukkan pada Persamaan 2-14.

$$T(s) = \left[2\pi(sJ + D_l) + \frac{P_0\mu D^3}{2\pi} \right] n(s) \quad (3-1)$$

Hubungan tegangan terminal (V_t) dengan kecepatan (n) ditunjukkan pada Persamaan 3-2 yang merupakan penurunan dari Persamaan 2-15. Dengan

mensubstitusikan Persamaan 2-14 ke Persamaan 3-2 maka akan didapatkan Persamaan 3-3. Hubungan tegangan terminal dengan kecepatan motor DC secara keseluruhan ditunjukkan oleh Persamaan 3-4.

$$V_t(s) = (R_a + SL_a)I_a(s) + K_e n(s) \quad (3-2)$$

$$V_t(s) = (R_a + SL_a)\left(\frac{T(s)}{K_T}\right) + K_e n(s) \quad (3-3)$$

$$V_t(s) = \left[\frac{(R_a + SL_a)}{K_T}\left(2\pi(sJ + D_I) + \frac{P_0 \mu D^3}{2\pi}\right) + K_e\right] n(s) \quad (3-4)$$

3.2.3 Gambar Rancangan Alat Pengaduk

Pengaduk yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan alat pengaduk adonan dodol ditunjukkan pada Gambar 3.3. Pengaduk yang digunakan merupakan jenis *pitch blade impeller* dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Diameter pengaduk sebesar 13.5 cm
- Jumlah *blade* adalah 1
- Sudut kemiringan pengaduk sebesar 30°
- Pengaduk memiliki ketinggian terhadap tangki sebesar 2 mm
- Panjang poros pengaduk sebesar 40 cm
- Poros pengaduk berdiameter 2 cm



a). Tampak depan

b). Tampak samping

Gambar 3.3. Alat pengaduk adonan dodol

Hubungan tangki dan adonan yang digunakan dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Tangki yang digunakan berbentuk parabola dengan diameter sebesar 33 cm
- Ketinggian cairan terhadap tangki sebesar 7 cm

3.2.4 Gambar Rancangan Mekanik Sistem Pengaduk

Gambar mekanik sistem pengaduk adonan dodol ditunjukkan pada Gambar 3.4. Kotak berukuran 40 cm x 40 cm x 30 cm digunakan untuk menempatkan komponen elektrik sistem pengadukan dodol. Dimensi kotak tersebut ditentukan berdasarkan dimensi masing-masing komponen agar semua komponen elektrik dapat masuk ke dalam kotak tersebut.



a). Tampak depan

b). Tampak samping

Gambar 3.4. Alat pengaduk adonan dodol

Terlihat pada Gambar 3.4 alat pengaduk di kopel langsung dengan batang motor dan dihubungkan langsung dengan *rotary encoder* menggunakan rantai dengan perbandingan roda gigi 1:1. Pada sisi bagian kiri kotak terdapat lubang yang digunakan untuk mengeluarkan *staker* (colokan listrik).

3.2.5 Penentuan Densitas Dodol

Proses pengambilan data untuk densitas dodol dilakukan setiap 5 menit dengan langkah pengambilan data sebagai berikut:

1. Menimbang massa gelas ukur yang kosong (dilakukan hanya sekali sebelum pengambilan data pertama).
2. Menimbang massa gelas ukur yang ada adonan dodolnya dan mencari volume adonan dodol yang ingin diukur dengan melihat takaran pada gelas ukur.
3. Membagi antara massa adonan dodol dengan volume adonan dodol.
4. *Plot* keseluruhan hasil pengambilan data densitas dodol (dilakukan setelah

pengambilan data selesai).

3.2.6 Penentuan Viskositas Dodol

Proses pengambilan data untuk viskositas dodol dilakukan setiap 5 menit dengan langkah pengambilan data sebagai berikut:

1. Menentukan massa jenis (densitas) bola yang akan dijatuhkan ke dalam adonan dodol dengan membagi massa bola dengan volume bola. Massa bola dapat ditentukan dengan menimbang bola. Volume bola dapat ditentukan dengan memasukkan bola ke dalam gelas ukur yang berisi air dan perbedaan volume yang dihasilkan sebelum bola dengan sesudah bola dimasukkan ke dalam gelas ukur merupakan volume bola (Pengukuran massa jenis bola hanya dilakukan sekali sebelum proses pengambilan data viskositas).
2. Mengukur jari-jari bola yang dijatuhkan (dilakukan hanya sekali sebelum pengambilan data pertama).
3. Menentukan gravitasi tempat pengujian. Penentuan dapat dilakukan dengan asumsi nilai gravitasi sebesar $9.8 \text{ m/s} - 10 \text{ m/s}$ ataupun dengan menggunakan bola jatuh dengan kecepatan awal 0 dengan jarak bola jatuh dari titik awal ke titik akhir diketahui. Lalu ukur waktu yang diperlukan bola untuk jatuh dari titik awal ke titik akhir sehingga gravitasi dapat diketahui dengan memasukkan data tersebut ke dalam Persamaan 3-5.

$$g = \frac{2 \times S}{t^2} \quad (3-5)$$

(dilakukan sekali sebelum pengambilan data pertama).

4. Mengukur ketinggian dari permukaan adonan dodol hingga dasar adonan dodol.
5. Bola dijatuhkan dengan kecepatan awal 0 pada posisi tepat di permukaan adonan dodol hingga dasar adonan dodol dan hitung waktu bola jatuh.
6. Kecepatan bola jatuh dapat dihitung dengan membagi ketinggian bola jatuh dengan waktu bola jatuh seperti pada Persamaan 3-6.

$$V = \frac{S}{t} \quad (3-6)$$

7. Menentukan densitas adonan dodol dengan melihat hasil pengukuran pada sub bab 3.2.5.
8. Menentukan viskositas adonan dodol dengan menghitung dengan persamaan

2-1.

9. *Plot* keseluruhan hasil pengambilan data viskositas dodol (dilakukan setelah pengambilan data selesai).

3.2.7 Penentuan Daya Motor

Sistem adukan dodol ini menggunakan jenis pengaduk *pitch blade impeller* sehingga diperlukan persamaan koefisien daya untuk menentukan daya motor yang digunakan. Persamaan yang digunakan adalah seperti Persamaan 2-13.

Untuk mengetahui besarnya daya yang dibutuhkan maka diperlukan perhitungan bilangan Reynold untuk menentukan persamaan yang digunakan. Untuk menentukan bilangan Reynold maka digunakan Persamaan 2-3. Dengan mengetahui bilangan Reynold maka dapat ditentukan persamaan daya yang akan digunakan. Daya yang dihitung merupakan daya keluaran dari motor.

- Persamaan daya secara umum ditunjukkan pada Persamaan 2-4.
- Persamaan daya dengan bilangan Reynold < 10 (aliran laminar) ditunjukkan pada Persamaan 2-5.

Untuk menentukan torsi dan gaya yang dibutuhkan untuk mengaduk suatu fluida maka digunakan persamaan :

- Persamaan torsi dan gaya secara umum ditunjukkan pada Persamaan 2-7 dan 2-9.
- Persamaan torsi dan gaya jika aliran laminar (bilangan reynold < 10) ditunjukkan pada Persamaan 2-10 dan 2-12.

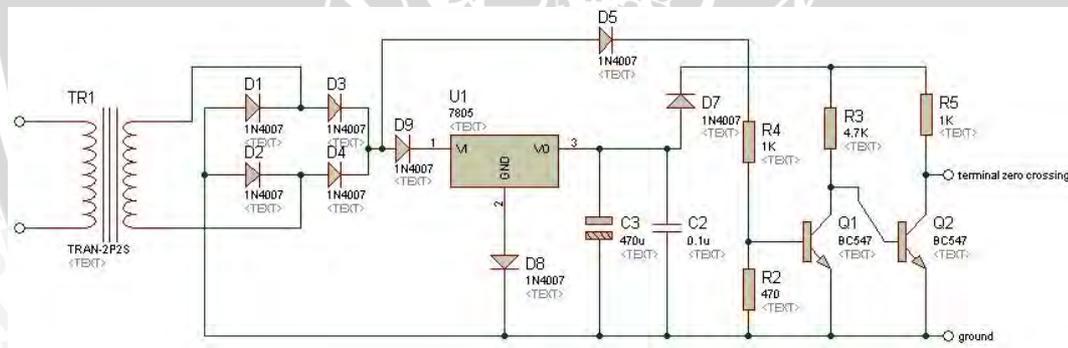
3.2.8 Perancangan Rangkaian Pengontrol

Rangkaian pengontrol sistem pengadukan dodol ini terdiri dari 2 bagian sistem yaitu rangkaian *zero crossing detector* dan rangkaian mikrokontroler. Rangkaian *zero crossing detector* digunakan untuk mengetahui titik nol dari tegangan masukan motor DC sehingga titik nol tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk pengontrolan kecepatan motor DC. Rangkaian mikrokontroler digunakan untuk mengatur kecepatan motor DC dengan mengatur tegangan masukan motor DC berdasarkan nilai masukan yang diberikan yaitu jumlah pulsa *rotary encoder* dan pulsa *zero crossing detector*.

3.2.8.1 Perancangan Rangkaian *Zero Crossing Detector*

Rangkaian *zero crossing detector* ditunjukkan pada Gambar 3.5. Rangkaian ini merupakan pengembangan dari rangkaian *zero crossing detector* pada *phase angle control of SCR using AT89C51* (Electronicforu.com, 2012). Rangkaian tersebut menggunakan trafo 240V/9V 1A yang berfungsi untuk menurunkan tegangan. Pada sisi sekunder trafo dihubungkan dengan rangkaian penyearah gelombang penuh yang didalamnya berisi 4 dioda 1N4007 (Dioda 1-4). Pada rangkaian, dioda D5-D8 digunakan agar tidak terjadi arus balik yang dapat merusak komponen elektrik lainnya. Untuk menstabilkan tegangan keluaran dari rangkaian *zero crossing detector*, digunakan IC 7805. Tegangan keluaran dari *zero crossing detector* tersebut digunakan sebagai penentu tegangan nol (terminal *zero crossing*) dengan memanfaatkan tegangan tepi turun yang dihasilkan pada terminal *zero crossing*.

Pada rangkaian *zero crossing detector* terdapat rangkaian pensaklaran yang digunakan sebagai penentu titik tegangan nol. Rangkaian pensaklaran menggunakan 2 buah transistor (BC 547) dengan memanfaatkan mode *cut off* dan mode saturasi untuk pensaklaran.

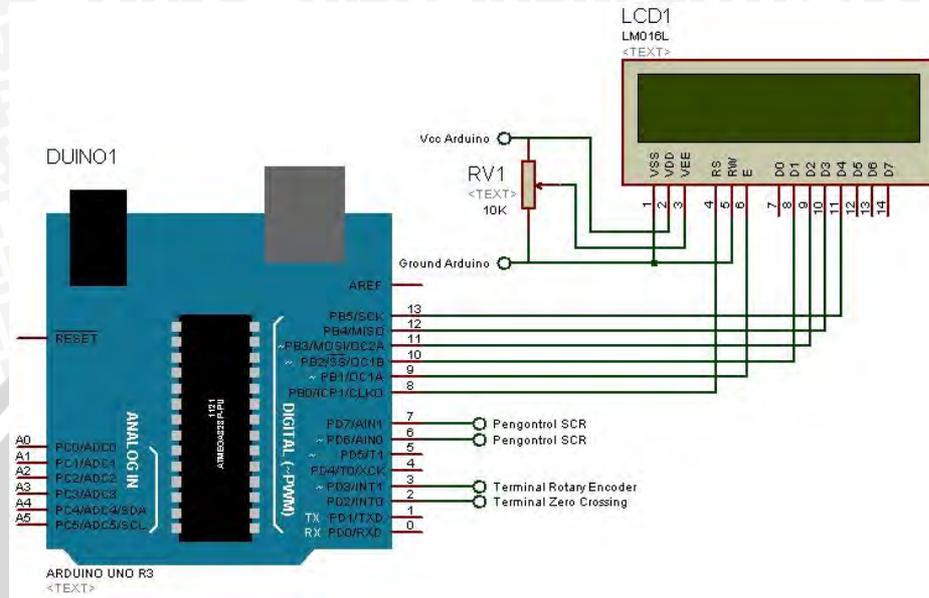


Gambar 3.5. Rangkaian *zero crossing detector*

3.2.8.2 Perancangan Rangkaian Mikrokontroller

Rancangan rangkaian yang terhubung ke mikrokontroler ditunjukkan oleh Gambar 3.6. Terminal *zero crossing* merupakan terminal penentu titik tegangan nol yang dihubungkan ke pin 2 yang memiliki fitur *external interrupt*. Terminal *rotary encoder* dihubungkan ke pin 3 yang memiliki fitur *external interrupt*. Fitur *external interrupt* yang digunakan memanfaatkan picu tepi turun sehingga pin 2 dan pin 3 akan aktif jika terjadi perubahan dari tegangan 5 volt ke 0 volt (logika 1

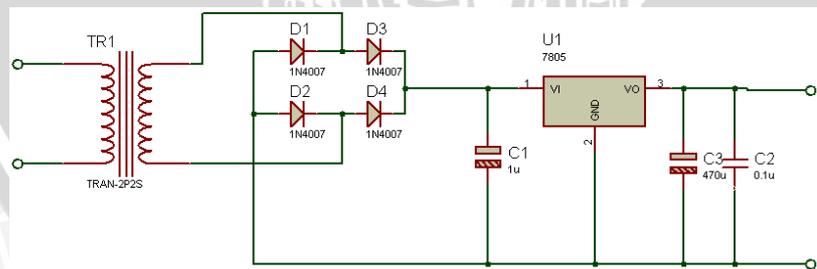
ke 0). Pin 6 dan pin 7 merupakan pin yang berfungsi untuk mengatur sudut penyalan SCR. Pin 7 – pin 13 terhubung ke LCD *display* untuk menampilkan besar kecepatan motor.



Gambar 3.6. Rangkaian Pengontrol

3.2.9 Perancangan Rangkaian catu daya pemacu SCR

Rangkaian catu daya pemacu SCR merupakan rangkaian yang terhubung langsung dengan *gate* SCR melalui *optocoupler* sebagai media pensaklarannya. Rangkaian ini menggunakan sisi catu daya *rangkaian zero crossing detector* pada *phase angle control of SCR using AT89C51* (Electronicforu.com, 2012). Rangkaian catu daya pemacu SCR ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Rangkaian catu daya pemacu SCR

Rangkaian catu daya pemacu SCR pada Gambar 3.7 terdiri dari komponen dioda 1N4007 yang difungsikan sebagai penyearah gelombang penuh untuk selanjutnya *ripple* dikurangi menggunakan kapasitor 1µF. Tegangan yang telah disearahkan tersebut masuk ke IC 7805 untuk membuat tegangan keluaran menjadi 5V. Tegangan keluaran tersebut diparalel dengan kapasitor 470.1 F untuk

menjamin bahwa tegangan keluaran rangkaian catu daya pemacu SCR bebas ripple.

3.2.10 Perancangan Rangkaian *Driver*

Rangkaian *driver* yang digunakan adalah rangkaian SCR yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor dengan mengatur *gate* SCR. Untuk menghubungkan antara rangkaian pengontrol dengan *gate* SCR maka diperlukan isolasi yaitu optocoupler. Optocoupler diperlukan untuk memisahkan dua tegangan yang berbeda tanpa ada satupun titik yang terhubung secara fisik.

Optocoupler yang digunakan bertipe 4N25. Optocoupler ini memiliki *datasheet* sebagai berikut :

- Arus maju (I_F) = 10 mA.
- Tegangan maju (V_F) = 1,2 V.
- Tegangan saturasi kolektor – emitor ($V_{CE(Sat)}$) = 0,1 V saat kondisi tes $I_C = 1$ mA.

Besar resistor (R_1) yang digunakan untuk menghubungkan antara mikrokontroller dengan masukan optocoupler dihitung dengan Persamaan 3-7.

$$R_1 = \frac{V_{MK} - V_F}{I_F} = \frac{5V - 1.2V}{10mA} = 380 \Omega \quad (3-7)$$

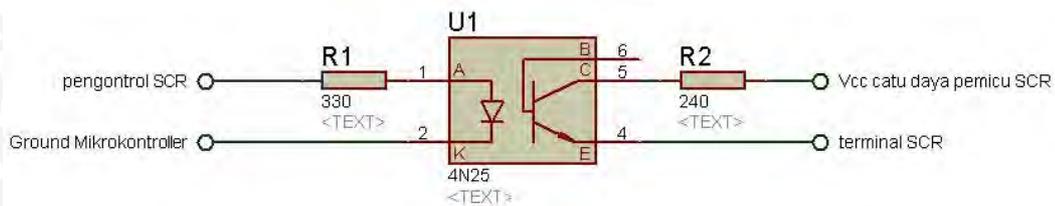
SCR tipe S6008L yang digunakan memiliki *datasheet* sebagai berikut :

- I_{GT} Maksimum = 15 mA.
- V_{GT} Maksimum = 1.5V.

Sehingga besar resistor (R_2) yang digunakan untuk menghubungkan V_{cc} dengan keluaran optocoupler dihitung dengan Persamaan 3-8.

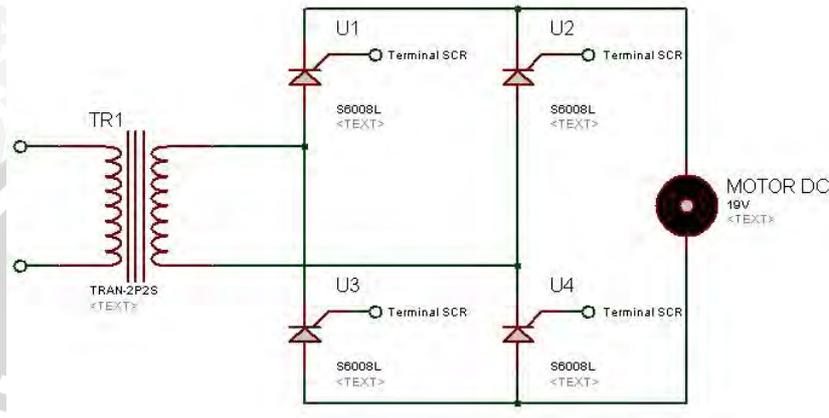
$$R_2 = \frac{V_{cc} - V_{GT}}{I_{GT}} = \frac{5V - 1.3V}{15mA} = 233.33 \Omega \quad (3-8)$$

Pemilihan nilai R_1 dan R_2 sesuai dengan yang tersedia di pasaran adalah 330 Ω dan 240 Ω . Rangkaian optocoupler ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Rangkaian optocoupler

Rangkaian pengendali (*driver*) yang digunakan adalah SCR tipe S6008L dan trafo yang digunakan adalah trafo 220V/18V 5A. SCR yang digunakan berjumlah 4 untuk melakukan penyearahan terkendali gelombang penuh. Pengendalian kecepatan motor DC dilakukan dengan menempatkan SCR pada sisi sekunder trafo. Kecepatan motor DC diatur dengan mengatur tegangan masukan motor DC. Rangkaian pengendali ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Rangkaian *driver*

3.2.11 Hubungan Kecepatan Motor dengan Sudut Penyalan

Untuk mengetahui hubungan kecepatan motor dengan sudut penyalan maka diperlukan untuk analisis beban dengan menggunakan Persamaan 2-3. Dengan menggunakan hubungan torsi (Persamaan 2-21) dan arus jangkar (Persamaan 2-18) maka akan didapatkan Persamaan 3-9.

$$I_a = \frac{1}{K_T} \left(\frac{P_o \mu n D^3}{2\pi} + 2\pi J n \right) \quad (3-9)$$

Hubungan arus rata-rata dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 3-10 dimana persamaan arus yang melalui *driver* dengan beban motor DC magnet permanen ditunjukkan oleh Persamaan 2-27. Arus rata-rata yang dibutuhkan motor DC magnet permanen ditunjukkan pada Persamaan 3-12.

$$I_a = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\beta} i_a(\omega t) d(\omega t) \quad (3-10)$$

$$I_a = \frac{1}{\pi} \left[\frac{V_m}{Z} \left[-\cos(\omega t - \psi) + \frac{\sin(\alpha - \psi)}{\cot(\psi)} e^{\{(\alpha - \omega t) \cot(\psi)\}} \right] - \frac{K_e n}{R_a} \left[\omega t + \frac{e^{\{(\alpha - \omega t) \cot(\psi)\}}}{\cot(\psi)} \right] \right]_{\alpha}^{\beta} \quad (3-11)$$

$$I_a = \frac{1}{\pi} \left[\frac{V_m}{Z} \left[-\cos(\beta - \psi) + \cos(\alpha - \psi) + \frac{\sin(\alpha - \psi)}{\cot(\psi)} \left(e^{\{(\alpha - \beta) \cot(\psi)\}} - 1 \right) \right] - \frac{K_e n}{R_a} \left[(\beta - \alpha) + \frac{1}{\cot(\psi)} \left(e^{\{(\alpha - \beta) \cot(\psi)\}} - 1 \right) \right] \right] \quad (3-12)$$

Sudut pemadaman dapat dicari dengan menggunakan metode Newton-Rhapson ditunjukkan pada Persamaan 2-37. Nilai $f(x)$ pada persamaan Newton-Rhapson adalah persamaan arus *driver* dengan beban motor DC magnet permanen yang ditunjukkan pada Persamaan 2-32. Nilai $f'(x)$ pada persamaan Newton-Rhapson adalah turunan dari persamaan arus *driver* dengan beban motor DC magnet permanen yang ditunjukkan pada Persamaan 3-13.

$$\frac{d(i_a(\omega t))}{dt} = \frac{V_m}{Z} \left[\cos(\omega t - \psi) + \frac{\sin(\alpha - \psi)}{\tan(\psi)} e^{\{(\alpha - \omega t) \cot(\psi)\}} \right] - \frac{K_e n}{\tan(\psi) R_a} e^{\{(\alpha - \omega t) \cot(\psi)\}} \quad (3-13)$$

Dengan menghubungkan Persamaan 3-9 dengan Persamaan 3-12 maka akan didapatkan persamaan kecepatan motor yang ditunjukkan pada Persamaan 3-17. Penurunan Persamaan 3-9 dengan Persamaan 3-12 hingga didapat persamaan kecepatan motor ditunjukkan Persamaan 3-14 hingga 3-16. Hubungan antara sudut penyalan dan kecepatan motor ditunjukkan pada Persamaan 3-18.

$$\frac{1}{K_T} \left(\frac{P_0 \mu n D^3}{2\pi} + 2 \pi J n \right) = \frac{1}{\pi} \left[\frac{V_m}{Z} \left[-\cos(\beta - \psi) + \cos(\alpha - \psi) + \frac{\sin(\alpha - \psi)}{\cot(\psi)} \left(e^{\{(\alpha - \beta) \cot(\psi)\}} - 1 \right) \right] - \frac{K_e n}{R_a} \left[(\beta - \alpha) + \frac{1}{\cot(\psi)} \left(e^{\{(\alpha - \beta) \cot(\psi)\}} - 1 \right) \right] \right] \quad (3-14)$$

$$\frac{\pi}{K_T} \left(\frac{P_0 \mu n D^3}{2\pi} + 2 \pi n J \right) + \frac{K_e n}{R_a} \left[(\beta - \alpha) + \frac{1}{\cot(\psi)} \left(e^{\{(\alpha - \beta) \cot(\psi)\}} - 1 \right) \right] = \frac{V_m}{Z} \left[-\cos(\beta - \psi) + \cos(\alpha - \psi) + \frac{\sin(\alpha - \psi)}{\cot(\psi)} \left(e^{\{(\alpha - \beta) \cot(\psi)\}} - 1 \right) \right] \quad (3-15)$$

$$n \left[\frac{\pi}{K_T} \left(\frac{P_0 \mu D^3}{2\pi} + 2 \pi J \right) + \frac{K_e}{R_a} \left[(\beta - \alpha) + \frac{1}{\cot(\psi)} \left(e^{\{(\alpha - \beta) \cot(\psi)\}} - 1 \right) \right] \right] = \frac{V_m}{Z} \left[-\cos(\beta - \psi) + \cos(\alpha - \psi) + \frac{\sin(\alpha - \psi)}{\cot(\psi)} \left(e^{\{(\alpha - \beta) \cot(\psi)\}} - 1 \right) \right] \quad (3-16)$$

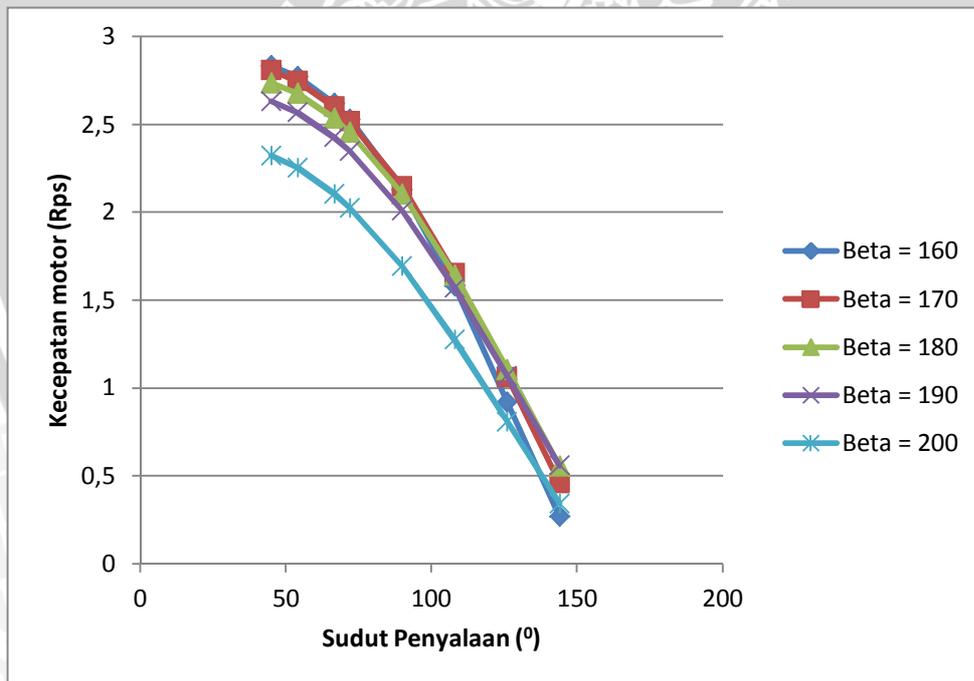
$$n = \frac{V_m \left[-\cos(\beta - \psi) + \cos(\alpha - \psi) + \frac{\sin(\alpha - \psi)}{\cot(\psi)} \left(e^{\{(\alpha - \beta) \cot(\psi)\}} - 1 \right) \right]}{Z \left[\frac{\pi}{K_T} \left(\frac{P_0 \mu D^3}{2\pi} + 2 \pi J \right) + \frac{K_e}{R_a} \left[(\beta - \alpha) + \frac{1}{\cot(\psi)} \left(e^{\{(\alpha - \beta) \cot(\psi)\}} - 1 \right) \right] \right]} \quad (3-17)$$

$$G(\alpha) = n \quad (3-18)$$

Persamaan 3-17 dapat dibuat grafik untuk memberi gambaran dasar tentang perilaku kecepatan motor (n) terhadap sudut penyalaan (α). Sebagai contoh diambil data sebagai berikut:

- Momen inersia (J) diasumsikan sebesar 0.5 Kg-m^2 (Gopal,1989; Fitzgerald,2003)
- Tegangan maksimum (V_m), sesuai perancangan sebesar 25.4558 V
- Viskositas (μ) diambil dari salah satu pengujian sebesar 2601 Pa s
- K_e diambil dari pengujian sebesar 5.0069
- K_t diambil dari pengujian sebesar 0.7969
- Koefisien daya pengadukan (P_0), sesuai perancangan sebesar 0.4157
- Diameter pengaduk (D), sesuai perancangan sebesar 0.135 m
- R_a diambil dari data motor DC magnet permanen sebesar 1.15Ω
- Z diambil dari data motor DC magnet permanen sebesar 1.1842Ω
- ψ mengikuti dengan data motor yang tersedia sebesar 0.24108 rad

Dari nilai-nilai tersebut dapat dibuat grafik seperti terlihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10. Grafik kecepatan motor = f (sudut penyalaan) dengan beta yang telah ditetapkan

Berdasarkan Gambar 3.10, Semakin besar sudut penyalaan diberikan semakin kecil kecepatan yang dihasilkan motor DC. Hal ini disebabkan karena dengan memperbesar sudut penyalaan berarti memperkecil tegangan masukan

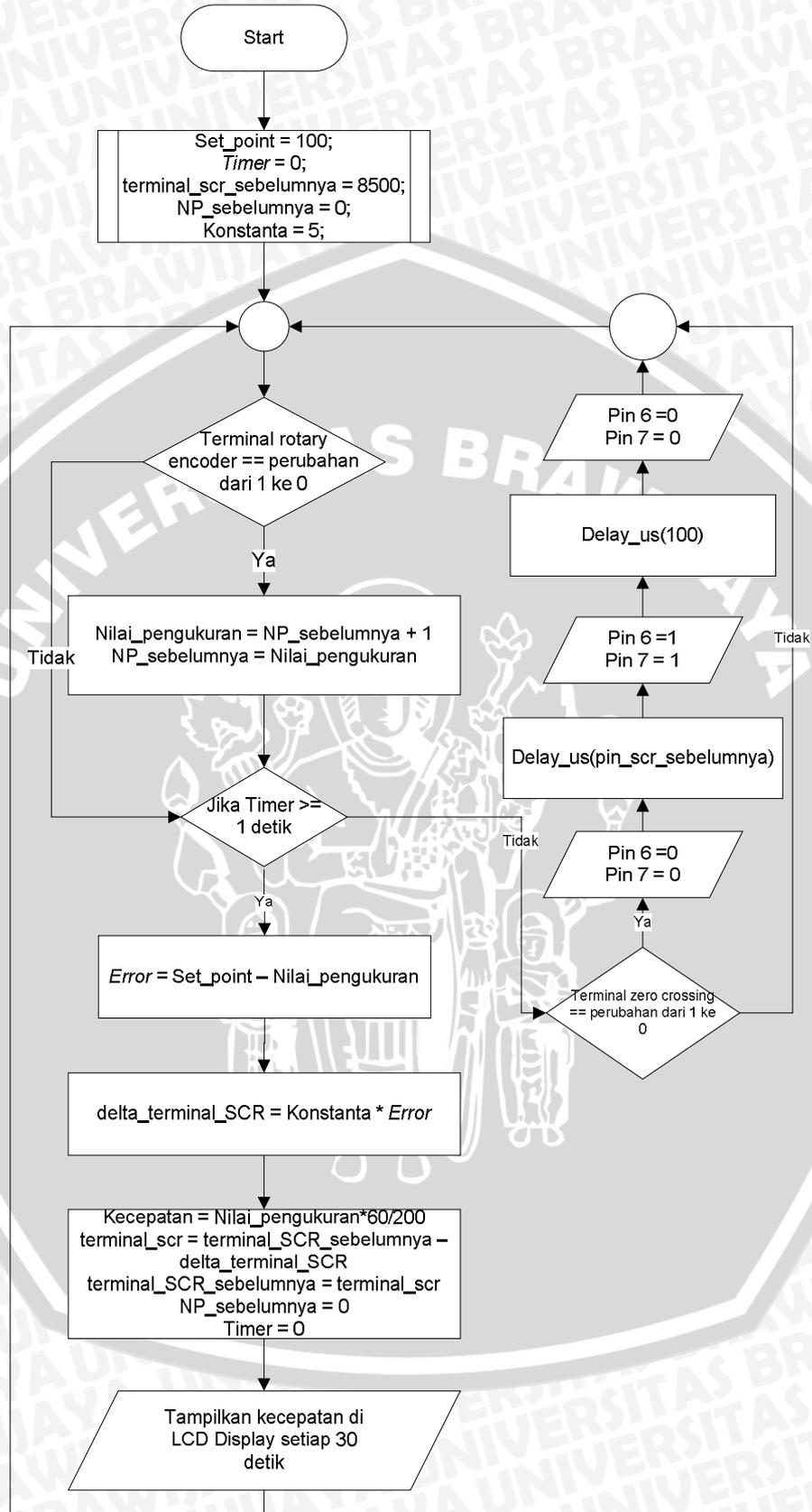
motor DC sehingga tegangan jangkar menurun dan menyebabkan putaran melambat. Untuk Beta yang divariasikan, semakin besar beta (sudut pemadaman) semakin kecil putaran motor untuk sudut penyalan yang kecil. Sedangkan ketika sudut penyalan besar, putaran pada beta adalah 160° dan beta adalah 200° cenderung sama namun putaran pada beta diantaranya ($170^{\circ}, 180^{\circ}, 190^{\circ}$) lebih besar.

3.2.12 Pengaturan Tegangan Masukan Motor dengan Menggunakan Arduino Uno

Dengan menggunakan *rotary encoder* sebagai sensor kecepatan, dapat diketahui bahwa untuk setiap satu putaran sensor cahaya akan melewati 200 lubang. Untuk mendapatkan kecepatan yang diinginkan yaitu 30 Rpm, maka setiap detik sensor harus mendeteksi sebanyak 100 lubang. Setiap sensor yang melalui lubang di representasikan sebagai logika 1 oleh Arduino Uno. Logika 1 tersebut didapat karena ada tegangan sekitar 5 volt masuk menuju Arduino Uno.

Jika mikrokontroler melakukan pendeteksian kecepatan setiap detik, maka Arduino Uno harus mendapatkan logika 1 sebanyak 100 yang didapat dari sensor pada *rotary encoder* yang mendeteksi lubang sebanyak 100 setiap detik. Jika sensor pada *rotary encoder* mendeteksi lebih dari 100 lubang setiap detik, maka Arduino Uno akan mengurangi tegangan dengan mengontrol *gate* dari SCR. Tegangan dapat dikurangi dengan memperpendek waktu konduksi dari SCR. Jika sensor pada *rotary encoder* mendeteksi kurang dari 100 lubang setiap detik, maka Arduino Uno akan menambahkan tegangan dengan mengontrol *gate* dari SCR. Tegangan dapat ditambahkan dengan memperpanjang waktu konduksi dari SCR.

Diagram alir untuk pemrosesan pengaturan tegangan Arduino Uno berdasarkan parameter dari *rotary encoder* ditunjukkan pada Gambar 3.11. Diagram alir tersebut digunakan untuk mempermudah pemrograman karena proses yang dibutuhkan untuk mengatur tegangan telah dijabarkan pada diagram alir.



Gambar 3.11. Diagram alir pemrograman Arduino Uno

Pada Gambar 3.11, proses pengontrolan kecepatan motor pengaduk dodol dilakukan dengan membandingkan nilai yang diinginkan (*set point*) dengan nilai yang terukur pada *rotary encoder* (Nilai_pengukuran). Nilai_pengukuran merupakan banyak logika 1 yang terbaca oleh *rotary encoder* dalam waktu 1 detik diubah ke fungsi waktu (*Delta_terminal_SCR*) dengan mengalikan *error* dengan konstanta_waktu. *Terminal_SCR* yang digunakan untuk mengatur gate SCR merupakan hasil dari penjumlahan antara *terminal_SCR_sebelumnya* dengan *Delta_terminal_SCR* yang proses perhitungannya dilakukan setiap 1 detik.

Untuk mengatur besar kecepatan motor, nilai *terminal_SCR* yang sudah dihitung digunakan sebagai waktu tunda dari pulsa tepi turun (perubahan dari 1 ke 0) terminal *zero crossing* menuju waktu konduksi SCR. Sehingga semakin besar waktu tunda (nilai *terminal_SCR*) maka semakin kecil tegangan yang diberikan ke motor dan semakin kecil waktu tunda (nilai *terminal_SCR*) maka semakin besar tegangan yang diberikan ke motor.

Penentuan besar nilai waktu konduksi SCR awal yang diberikan berdasarkan pengujian pada Tabel 4.8. Untuk sudut penyalan 162° putaran yang dihasilkan 8.5 rpm sedangkan untuk sudut penyalan 153° putaran yang dihasilkan 26 rpm. Sehingga dipilihlah 153° atau waktu tunda 8500 sebagai nilai awal waktu konduksi SCR.

3.3 Pengujian Alat

Untuk mengetahui kinerja alat apakah sesuai dengan perancangan atau tidak, maka dilakukan pengujian alat. Pengujian dilakukan secara bertahap yaitu pada seluruh sub sistem terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan dengan pengujian sistem secara keseluruhan. Secara garis besar pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Pengujian sensor pada *rotary encoder*

Pengujian sensor pada *rotary encoder* dilakukan dengan melihat hasil keluaran dari sensor photodiode. Jika cahaya LED mengenai foto-diode maka keluaran tegangan 5V atau masih dalam *range* tegangan logika 1 dan jika cahaya LED tertutup oleh piringan maka photodiode akan mengeluarkan tegangan 0V atau masih dalam *range* tegangan logika 0.

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sensor pada *rotary encoder* mampu bekerja sesuai perancangan.

2) Pengujian rangkaian *zero crossing detector*

Pengujian rangkaian *zero crossing detector* dilakukan dengan menguji tegangan keluaran pada pin *zero crossing*. Tegangan keluaran pada pin *zero crossing* akan 0 V jika sumber tegangan bertegangan 0 V dan bertegangan 5 V jika sumber tegangan bertegangan selain 0 V. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan rangkaian *zero crossing detector* mampu bekerja sesuai perancangan.

3) Pengujian rangkaian catu daya pemicu SCR

Pengujian rangkaian catu daya pemicu SCR dilakukan dengan menguji tegangan keluaran dari rangkaian catu daya pemicu SCR. Tegangan keluaran pada rangkaian catu daya pemicu SCR ini adalah 5V. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan rangkaian catu daya pemicu SCR mampu bekerja sesuai perancangan.

4) Pengujian program pemicuan *gate SCR*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah program yang dimasukkan kedalam mikrokontroler arduino uno dapat bekerja dengan baik sesuai dengan perancangan.

5) Pengujian tegangan keluaran *optocoupler*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sinyal keluaran *optocoupler* yang berfungsi untuk mengatur sudut penyalan / pemicuan pada *gate SCR* sesuai dengan sinyal masukan *optocoupler* yang berasal dari pin mikrokontroler arduino uno dan untuk mengetahui respon sinyal keluaran *optocoupler* terhadap sinyal masukan *optocoupler*.

6) Pengujian rangkaian *driver* berbeban resistif

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah pemicuan *gate SCR* yang diberikan oleh mikrokontroler mampu bekerja jika beban yang digunakan beban resistif. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui bagaimana respon tegangan dan arus keluaran yang dihasilkan oleh *driver* untuk beban berupa beban resistif.

- 7) Pengujian rangkaian *driver* berbeban motor DC magnet permanen tanpa pengaduk

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah pemecuan gate SCR yang diberikan oleh mikrokontroller mampu bekerja jika beban yang digunakan motor DC magnet permanen yang bekerja tanpa pengaduk. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui bagaimana respon tegangan dan arus keluaran yang dihasilkan oleh *driver* untuk beban berupa motor DC magnet permanen yang bekerja tanpa pengaduk. Selain itu, pengujian ini berfungsi untuk mengetahui hubungan sudut penyalaan dengan putaran pada motor DC magnet permanen tanpa pengaduk.

- 8) Pengujian sistem pengaduk tanpa adonan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana respon tegangan dan arus keluaran yang dihasilkan oleh *driver* untuk beban motor DC magnet permanen yang bekerja dengan pengaduk. Selain itu, pengujian ini berfungsi untuk mengetahui hubungan sudut penyalaan dengan putaran pada motor DC magnet permanen dengan pengaduk.

- 9) Pengujian viskositas dan densitas adonan dodol

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik viskositas dan densitas adonan dodol dari mulai dipanaskan hingga adonan dodol mendekati kematangan.

- 10) Pengujian sistem alat pengaduk adonan dodol

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja sistem alat pengaduk adonan dodol jika digunakan untuk mengaduk adonan dodol.

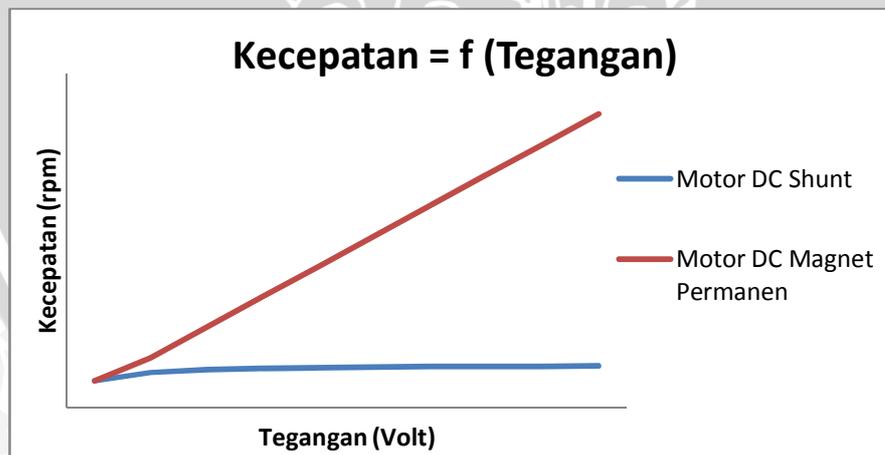
BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Analisis Penentuan Jenis Motor Listrik

Alat pengaduk adonan dodol digunakan untuk industri menengah ke bawah yang merupakan industri rumah tangga sehingga perlu mempertimbangkan selain aspek teknis yaitu aspek ekonomis. Dengan mempertimbangkan aspek ekonomis, maka untuk motor yang digunakan pada alat pengaduk adonan dodol ini adalah motor DC karena pada motor DC hanya perlu rangkaian penyearah terkontrol gelombang penuh untuk mengatur tegangan masukan motor DC.

Motor DC yang dipilih untuk memenuhi kebutuhan kecepatan konstan pada torsi beban yang berubah-ubah adalah motor DC magnet permanen atau motor DC shunt. Penentuan jenis motor ini berdasarkan grafik karakteristik pada Gambar 2.2. Grafik karakteristik pada Gambar 2.2 merupakan grafik kecepatan = f (torsi) pada keadaan tegangan terminal konstan. Untuk menentukan kecepatan motor DC magnet permanen atau motor DC shunt dapat digunakan Persamaan 2-22.



Gambar 4.1. Grafik karakteristik kecepatan = f (tegangan) pada arus jangkar (I_a) konstan.

Pada Gambar 4.1 ditunjukkan grafik karakteristik kecepatan = f (tegangan) dari motor DC magnet permanen dan motor DC shunt pada arus jangkar (I_a) konstan dengan kondisi tegangan terminal (V_t) diubah-ubah. Pada Gambar 4.1 terlihat bahwa untuk motor DC shunt putaran relatif konstan sedangkan untuk

motor DC magnet permanen putaran meningkat dengan bertambahnya tegangan terminal yang diberikan.

Pemilihan motor DC yang digunakan dengan mengacu pada Gambar 4.1, untuk mendapatkan putaran 30 rpm maka paling memungkinkan adalah dengan menggunakan motor DC magnet permanen. Sehingga dalam perancangan alat pengaduk adonan dodol ini dipilih motor DC magnet permanen sebagai penggerak utamanya.

4.2 Pengujian Sensor pada Rotary Encoder

4.2.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sensor pada *rotary encoder* sudah berfungsi dengan baik sebagai alat pengukur kecepatan motor.

4.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah :

- 1) Copal LC38RM
- 2) Arduino uno
- 3) Resistor 75 ohm
- 4) Osiloskop
- 5) *Probe* osiloskop

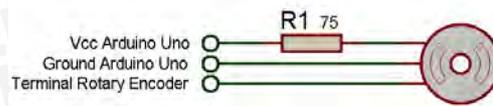
4.2.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian sensor pada *rotary encoder* adalah sebagai berikut:

- 1) Membuat rangkaian pengujian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2
- 2) Menghubungkan *probe* 1 osiloskop ke pin *rotary encoder*.
- 3) Memutar poros *rotary encoder* dengan menggunakan tangan.

4.2.4 Hasil Pengujian

Hasil dari pengujian tegangan keluaran dari sensor *rotary encoder* ditunjukkan oleh Gambar 4.3. Pada Gambar 4.3 *channel* 1 merupakan tegangan keluaran yang dihasilkan *rotary encoder* yang diputar dengan menggunakan tangan.

Gambar 4.2. Rangkaian pengujian sensor *rotary encoder*Gambar 4.3. Tegangan keluaran dari sensor *rotary encoder*Gambar 4.4. Putaran terukur motor dengan menggunakan tachometer dan *rotary encoder*

4.2.5 Analisis Hasil Pengujian

Gambar 4.3 menunjukkan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh sensor *rotary encoder* ketika diputar porosnya berbentuk pulsa. Hal ini disebabkan pada *rotary encoder* terdapat piringan yang memiliki banyak lubang untuk memisahkan antara LED dan foto transistor. Ketika poros *rotary encoder* diputar, maka foto transistor akan aktif (tegangan keluaran 4 V -4.5 V) ketika kondisi LED tidak terhalangi oleh piringan dan foto transistor akan tidak aktif (tegangan keluaran 0 V) ketika kondisi LED terhalangi oleh piringan. Tegangan keluaran ketika foto transistor aktif berada pada rentang 4 V – 4.5 V, tegangan tersebut masih dianggap logika 1 oleh mikrokontroller karena mikrokontroller ini memiliki rentang tegangan 2.7 V – 5.5 V untuk logika 1 dan ketika foto transistor tidak aktif tegangan keluaran 0 V atau logika 0.

Berdasarkan Gambar 4.4, *error* antara hasil pengukuran *rotary encoder* dibandingkan dengan tachometer ditunjukkan pada Perhitungan 4-1. *Error* yang dihasilkan sebesar 1.322%. Berdasarkan hasil analisis dari Gambar 4.3 dan *error* dari *rotary encoder* dibandingkan dengan tachometer maka sensor pada *rotary encoder* mampu digunakan sebagai alat pengukur kecepatan motor.

$$\text{Error} = \frac{|29.5 - 29.89|}{29.5} \times 100\% = 1.322\% \quad (4-1)$$

4.3 Pengujian Rangkaian *Zero Crossing Detector*

4.3.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian *zero crossing detector* sudah berfungsi dengan baik sebagai penanda titik nol gelombang AC yang digunakan mikrokontroller sebagai titik acuan pemicuan sudut penyalan SCR.

4.3.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah :

- 1) Sumber AC 1 fasa 220V / 50 Hz
- 2) Trafo 240V / 9V 1A
- 3) Dioda 1N4007
- 4) IC LM 7805
- 5) Kapasitor 470 μ F 16V, 0.1 μ F
- 6) Resistor 470 Ω , 1K Ω , 4.7K Ω
- 7) Transistor BC 547
- 8) Osiloskop
- 9) *Probe* osiloskop

4.3.3 Prosedur Pengujian

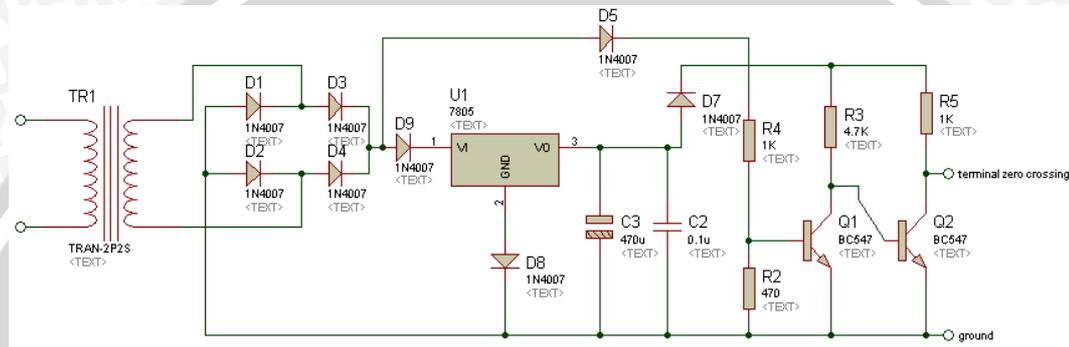
Prosedur pengujian rangkaian *zero crossing detector* adalah sebagai berikut:

- 1) Membuat rangkaian pengujian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.
- 2) Menghubungkan sumber tegangan AC 1 fasa ke rangkaian *zero crossing detector*.

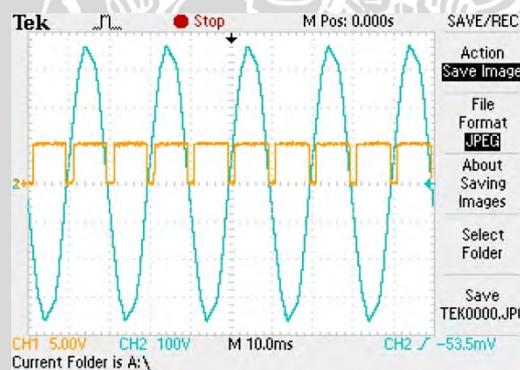
- 3) Menghubungkan *probe* 1 osiloskop ke pin *zero crossing detector* dan *probe* 2 osiloskop ke sumber tegangan AC 1 fasa.

4.3.4 Hasil Pengujian

Bentuk gelombang tegangan AC 1 fasa dan gelombang tegangan keluaran dari rangkaian *zero crossing detector* ditunjukkan pada Gambar 4.5. Pada gambar 4.5 ditunjukkan *channel* 1 merupakan gelombang hasil keluaran dari terminal *zero crossing* dan *channel* 2 merupakan gelombang sumber AC 1 fasa.



Gambar 4.5. Rangkaian pengujian *zero crossing detector*



Gambar 4.6. Gelombang tegangan AC 1 fasa dan gelombang persegi tegangan keluaran rangkaian *zero crossing detector*

4.3.5 Analisis Hasil Pengujian

Gambar 4.6 menunjukkan gelombang tegangan bolak-balik bersinggungan dengan gelombang persegi tegangan keluaran dari rangkaian *zero crossing detector*. Ketika tegangan AC 1 fasa akan bernilai 0 V maka akan terjadi perubahan tegangan keluaran dari rangkaian *zero crossing detector* dari 5 V menjadi 0 V. Perubahan tegangan 5 V menjadi 0 V dapat dimanfaatkan sebagai pemicuan tepi turun pada mikrokontroler. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian

zero crossing detector telah bekerja dengan baik dan siap digunakan sebagai acuan mikrokontroler untuk melakukan pemucuan SCR.

4.4 Pengujian Rangkaian Catu Daya SCR

4.4.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian catu daya sudah berfungsi dengan baik sebagai pemacu SCR.

4.4.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah :

- 1) Sumber AC 1 fasa 220V / 50 Hz
- 2) Trafo 240V / 9V 1A
- 3) IC LM 7805
- 4) Dioda 1N4007
- 5) Kapasitor $1\mu\text{F}$ 50V, $470\mu\text{F}$ 16V, $0.1\mu\text{F}$
- 6) Osiloskop
- 7) *Probe* osiloskop
- 8) *Multimeter*

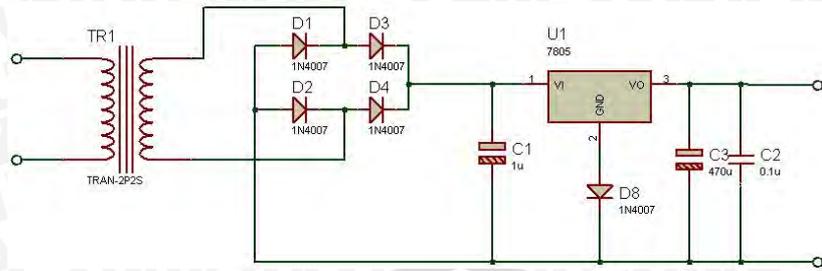
4.4.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian catu daya pemacu SCR adalah sebagai berikut:

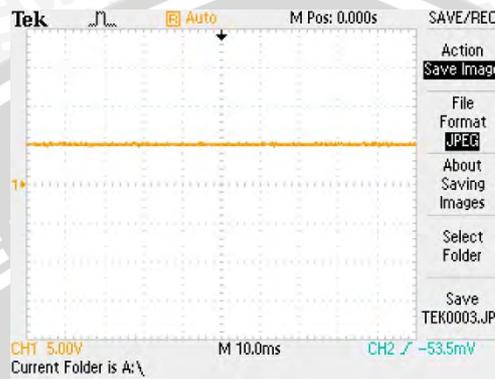
- 1) Membuat rangkaian pengujian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7.
- 2) Menghubungkan sumber tegangan AC 1 fasa ke rangkaian catu daya.
- 3) Menghubungkan *probe* 1 osiloskop ke rangkaian keluaran catu daya pemacu SCR dan *probe* 2 osiloskop ke sumber tegangan AC 1 fasa.

4.4.4 Hasil Pengujian

Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian catu daya pemacu SCR ditunjukkan oleh Gambar 4.8. Hasil pengukuran tegangan keluaran dengan menggunakan *multimeter* didapatkan tegangan catu daya SCR adalah 5.05 V.



Gambar 4.7. Rangkaian pengujian catu daya pemacu SCR



Gambar 4.8. Tegangan keluaran dari rangkaian catu daya pemacu SCR

4.4.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 4.8, tegangan keluaran catu daya pemacu SCR menghasilkan tegangan keluaran sebesar 5 V. Catu daya pemacu SCR ini dihubungkan dengan keluaran *optocoupler* untuk menghasilkan tegangan yang bisa diatur nyala matinya. Untuk membatasi arus maksimum yang diperlukan *gate* SCR untuk aktif yaitu 15 mA maka diperlukan resistor 240 Ω yang dipasang seri dengan *gate* SCR untuk membatasi arus yang mengalir.

4.5 Pengujian Program Pemucuan *Gate* SCR

4.5.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah program yang dimasukkan kedalam mikrokontroler dapat bekerja dengan baik sesuai dengan perancangan.

4.5.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah :

- 1) Sumber AC 1 fasa 220V / 50 Hz
- 2) Trafo 240V / 9V 1A
- 3) Rangkaian *zero crossing detector*

- 4) Arduino uno
- 5) Osiloskop
- 6) *Probe* osiloskop

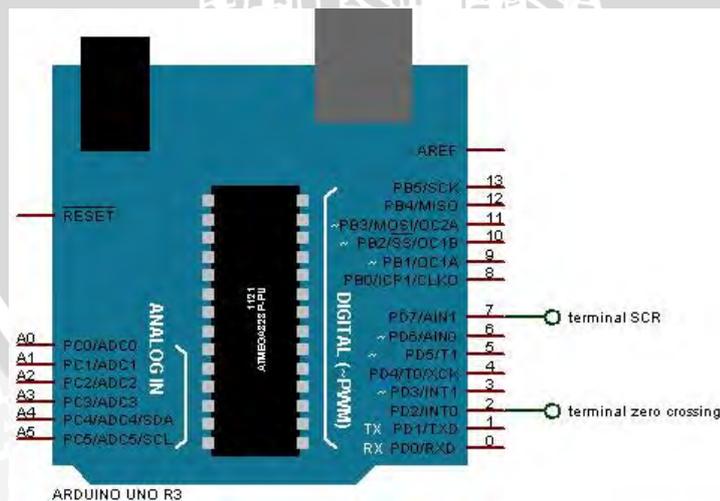
4.4.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian program pemecuan *gate* SCR adalah sebagai berikut:

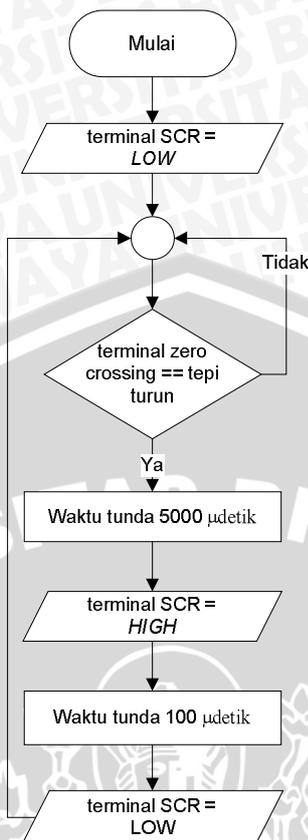
- 1) Membuat rangkaian *zero crossing detector* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5.
- 2) Membuat program sesuai dengan diagram alir pada Gambar 4.10.
- 3) Menghubungkan terminal *zero crossing* ke pin 2 arduino uno seperti pada Gambar 4.9.
- 4) Menghubungkan sumber tegangan AC 1 fasa ke rangkaian *zero crossing detector*.
- 5) Menghubungkan *probe* 1 osiloskop ke terminal SCR (pin 7) dan *probe* 2 osiloskop ke sumber tegangan AC 1 fasa.

4.4.4 Hasil Pengujian

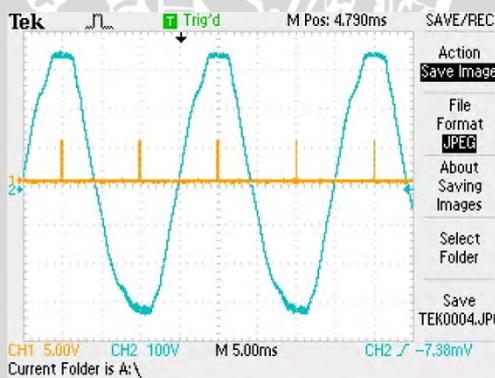
Tegangan keluaran dari mikrokontroller dan gelombang AC 1 fasa ditunjukkan oleh Gambar 4.11. Pada Gambar 4.11, *channel* 1 menunjukkan gelombang tegangan keluaran dari terminal SCR dan *channel* 2 merupakan gelombang tegangan AC 1 fasa.



Gambar 4.9. Rangkaian pengujian program pemecuan *gate* SCR



Gambar 4.10. Diagram alir program pemecuan *gate* SCR



Gambar 4.11. Tegangan keluaran dari pin mikrokontroler arduino uno dan gelombang tegangan AC 1 fasa

4.4.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 4.11 terlihat program yang dimasukkan kedalam mikrokontroler arduino uno menghasilkan tegangan 5V selama 100 mikro detik pada pin SCR dengan waktu tunda 5000 mikro detik terhadap titik tegangan 0V sumber AC. Ini menunjukkan bahwa program yang dimasukkan ke dalam mikrokontroler telah bekerja dengan baik dan siap digunakan untuk pemecuan *gate* SCR.

4.6 Pengujian Rangkaian *Optocoupler*

4.6.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sinyal keluaran *optocoupler* yang berfungsi untuk mengatur sudut penyalaan / pemicuan pada *gate* SCR sesuai dengan sinyal masukan *optocoupler* yang berasal dari pin mikrokontroller dan untuk mengetahui respon sinyal keluaran *optocoupler* terhadap sinyal masukan *optocoupler*.

4.6.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah :

- 1) Sumber AC 1 fasa 220V / 50Hz
- 2) Trafo 240V / 9V 1A
- 3) Rangkaian catu daya pemicu SCR
- 4) Rangkaian *zero crossing detector*
- 5) *Optocoupler* 4N25
- 6) Resistor 330 ohm
- 7) Resistor 240 ohm
- 8) Arduino uno
- 9) Osiloskop
- 10) *Probe* osiloskop

4.6.3 Prosedur Pengujian

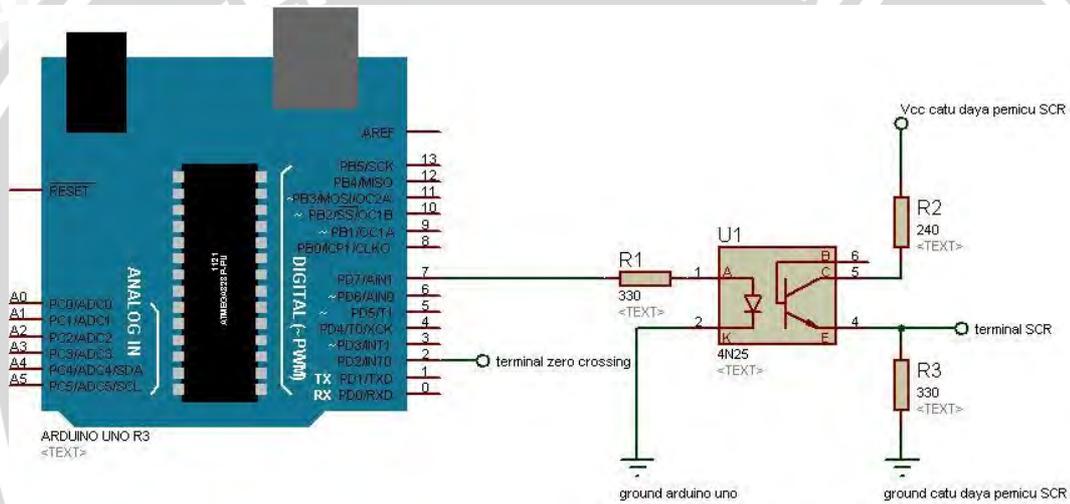
Prosedur pengujian rangkaian *optocoupler* adalah sebagai berikut:

- 1) Membuat rangkaian *zero crossing detector* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.
- 2) Membuat rangkaian pengujian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12.
- 3) Menghubungkan terminal *zero crossing* ke pin 2 Arduino Uno dan *ground* dari rangkaian *zero crossing detector* ke *ground* Arduino Uno.
- 4) Membuat program sesuai dengan diagram alir pada Gambar 4.10.
- 5) Menghubungkan sumber tegangan AC 1 fasa ke rangkaian catu daya pemicu SCR dan rangkaian *zero crossing detector*.

- 6) Menghubungkan *probe* 1 osiloskop ke pin 7 mikrokontroler arduino uno dan *probe* 2 osiloskop ke terminal SCR.

4.6.4 Hasil Pengujian

Tegangan masukan *optocoupler* dan tegangan keluaran dari *optocoupler* ditunjukkan pada Gambar 4.13 (a) dan 4.13 (b). Pada Gambar 4.13 (a), *channel 1* merupakan tegangan masukan *optocoupler* (pin 7 arduino uno) dan *channel 2* merupakan tegangan keluaran *optocoupler* (terminal SCR) dengan lebar waktu setiap kotak 5 mili detik. Pada Gambar 4.13 (b), *channel 1* merupakan tegangan masukan *optocoupler* dan *channel 2* merupakan tegangan keluaran *optocoupler* dengan lebar waktu setiap kotak 50 mikro detik.



Gambar 4.12. Rangkaian pengujian *optocoupler*



(a)

(b)

Gambar 4.13. Gelombang tegangan keluaran *optocoupler* dan gelombang tegangan masukan *optocoupler*

4.6.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 4.13 (a), gelombang tegangan keluaran dari *optocoupler* tampak berhimpit dengan tegangan masukan dari *optocoupler* pada skala waktu 5 mili detik. Jika skala waktu diperkecil menjadi 50 mikro detik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13 (b), maka akan terlihat bahwa gelombang tegangan keluaran *optocoupler* tertinggal terhadap gelombang tegangan masukan *optocoupler*. Terdapat perbedaan waktu antara tegangan masukan dan tegangan keluaran *optocoupler* sebesar 11 mikro detik sedangkan frekuensi mikrokontroler menghasilkan pulsa pemicuan SCR adalah 100 Hz (10 mili detik), Sehingga *error* sudut penyalan ditunjukkan pada Perhitungan 4-2.

$$\theta^0 = \frac{11}{10000} \times 180^0 = 0.198^0 \quad (4-2)$$

4.7 Pengujian Rangkaian *Driver* Berbeban Resistif 15 Ohm

4.7.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah pemicuan *gate* SCR yang diberikan oleh mikrokontroler mampu bekerja jika beban yang digunakan beban resistif. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui bagaimana respon tegangan dan arus keluaran yang dihasilkan oleh *driver* untuk beban berupa beban resistif.

4.7.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah :

- 1) Sumber AC 1 fasa 220 V / 50 Hz
- 2) Trafo 240V / 9V 1A
- 3) Rangkaian catu daya pemicu SCR
- 4) Rangkaian *zero crossing detector*
- 5) Rangkaian *optocoupler*
- 6) SCR S6008L
- 7) Resistor 330 ohm
- 8) Resistor 15 ohm
- 9) Osiloskop
- 10) *Probe* osiloskop
- 11) *Multimeter*

4.7.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian *driver* adalah sebagai berikut:

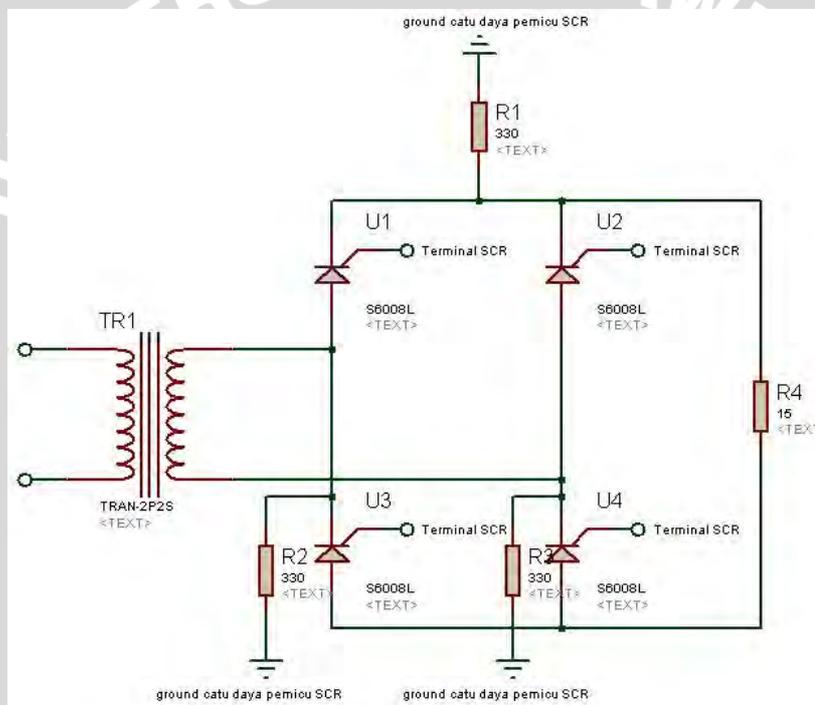
- 1) Membuat rangkaian *zero crossing detector* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5
- 2) Membuat rangkaian catu daya pemicu SCR seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7
- 3) Menghubungkan sisi primer trafo 240V / 9V 1A ke sumber AC 1 fasa 220V / 50 Hz dan menghubungkan sisi sekunder trafo 240V / 9V 1A ke rangkaian *zero crossing detector*, rangkaian catu daya pemicu SCR, dan rangkaian SCR gelombang penuh.
- 4) Membuat rangkaian pengujian seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.14.
- 5) Membuat program sesuai dengan diagram alir pada Gambar 4.10 dengan mengatur waktu tunda antara logika *low* ke *high* sebesar 2500, 3000, 3700, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000.
- 6) Menghubungkan *probe* 1 osiloskop ke keluaran dari rangkaian SCR gelombang penuh dan *probe* 2 osiloskop ke sumber tegangan AC 1 fasa.
- 7) Mengukur arus keluaran dari rangkaian SCR gelombang penuh dengan menggunakan *Multimeter*.

4.7.4 Hasil Pengujian

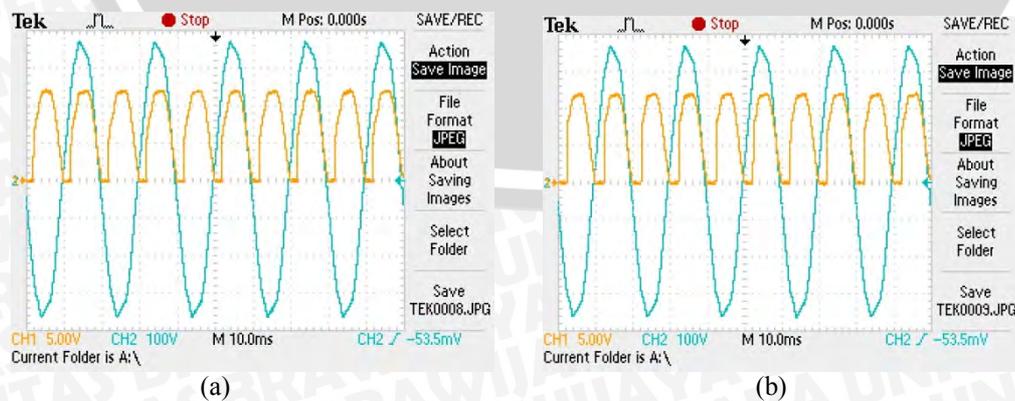
Tegangan keluaran rangkaian *driver* dan tegangan masukan AC 1 fasa untuk beban resistif ditunjukkan oleh Gambar 4.15. Pada Gambar 4.15, *channel* 1 menunjukkan tegangan keluaran dari rangkaian SCR gelombang penuh dan *channel* 2 menunjukkan tegangan masukan AC 1 fasa. Nilai tegangan keluaran rata-rata (V) dan arus rata-rata (A) untuk beban resistif 15 Ω ditunjukkan oleh Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil pengukuran rangkaian *driver* dengan beban resistif 15 ohm

Waktu tunda (μs)	Sudut penyalan ($^{\circ}$)	Tegangan rata-rata (V)	Arus rata-rata (A)
2500	45	6.82	0.44
3000	54	6.38	0.41
3700	66.6	5.61	0.36
4000	72	5.24	0.34
5000	90	4.02	0.26
6000	108	2.65	0.18
7000	126	1.54	0.11
8000	144	0.65	0.05

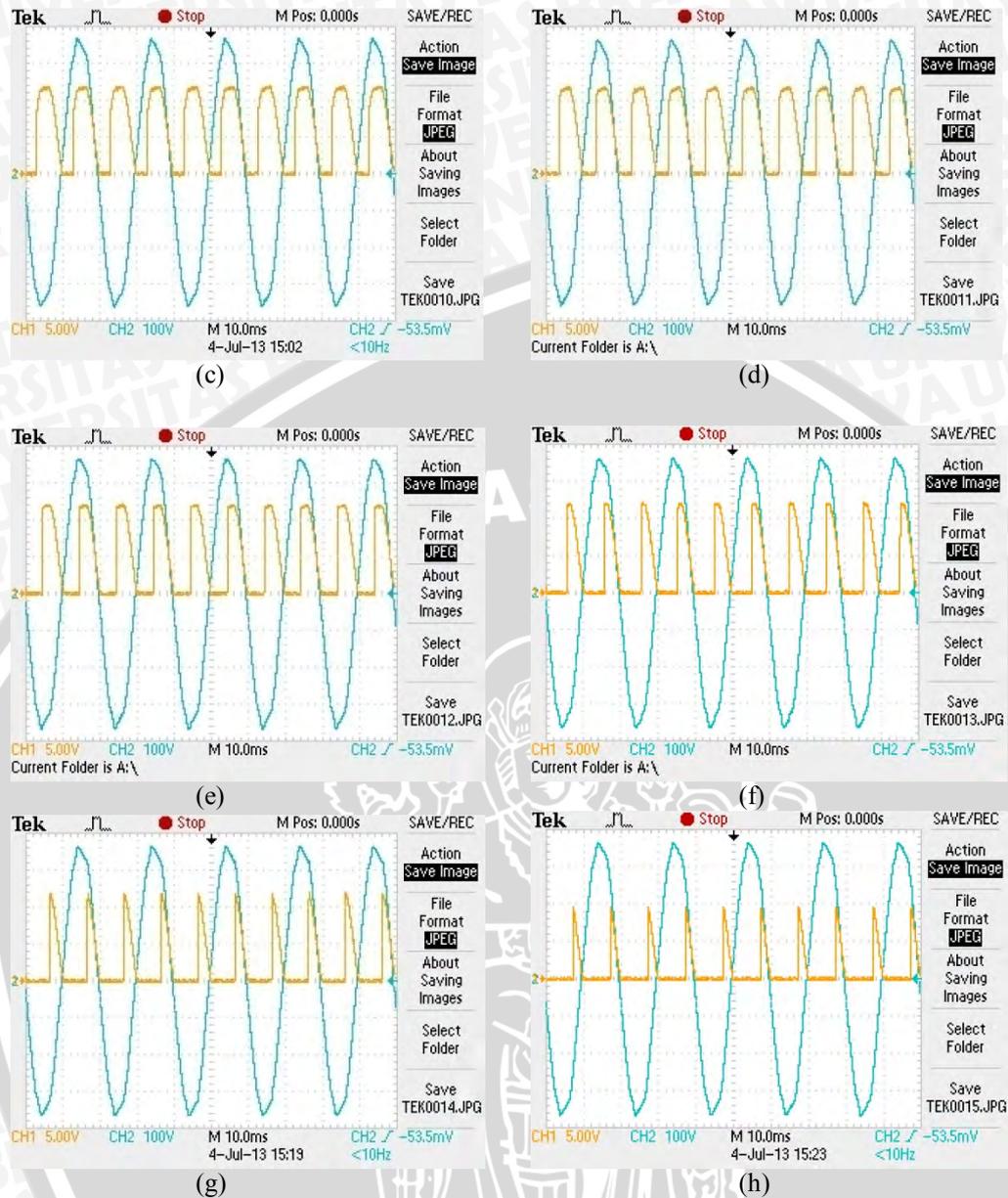


Gambar 4.14. Rangkaian pengujian SCR gelombang penuh beban resistif



(a)

(b)



Gambar 4.15. Grafik gelombang tegangan AC 1 fasa dan tegangan keluaran rangkaian *driver* untuk beban resistif 15 ohm dengan sudut penyalan (a) 45° (b) 54° (c) 66.6° (d) 72° (e) 90° (f) 108° (g) 126° (h) 144°

4.7.5 Analisis Hasil Pengujian

Pada Tabel 4.1 untuk kondisi *driver* motor dibebani dengan beban resistif 15 ohm semakin tinggi sudut penyalan maka semakin kecil tegangan dan arus keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian *driver*. Sudut penyalan dipengaruhi oleh waktu penundaan pemicuan dari mikrokontroler. Semakin lama waktu penundaan semakin tinggi sudut penyalan yang dihasilkan.

Dari Gambar 4.15 terlihat bahwa Semakin tinggi sudut penyalan diberikan semakin besar tegangan yang terpotong. Semakin besar pemotongan tegangan akan menyebabkan semakin kecil tegangan rata-rata yang dihasilkan hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian. Dengan demikian rangkaian *driver* ini berfungsi sesuai dengan perancangan untuk dapat memotong tegangan sesuai dengan sudut penyalan yang diberikan .

Perhitungan nilai tegangan rata-rata teori menggunakan Persamaan 2-25 dan arus rata-rata teori dengan menggunakan Persamaan 2-26. Nilai *error* diperoleh dari selisih harga mutlak nilai perhitungan dengan nilai pengujian. Persentase *error* dihitung dengan Persamaan 4-3. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4.2.

$$Error = \frac{|perhitungan - pengujian|}{perhitungan} \times 100\% \quad (4-3)$$

Tabel 4.2. Tegangan dan arus rata-rata keluaran *driver* dengan beban resistif 15 ohm

Sudut penyalan (°)	Tegangan rata-rata Praktek (V)	Tegangan rata-rata Teori (V)	<i>Error</i> tegangan rata-rata (%)	Arus rata-rata Praktek (A)	Arus rata-rata Teori (A)	<i>Error</i> Arus rata-rata (%)
45	6.82	6.3399	7.5733	0.44	0.4227	4.1032
54	6.38	5.8967	8.1597	0.41	0.3931	4.2952
66.6	5.61	5.1887	8.1188	0.36	0.3459	4.0716
72	5.24	4.8614	7.7871	0.34	0.3241	4.9073
90	4.02	3.7138	8.2448	0.26	0.2476	5.0136
108	2.65	2.5662	3.2665	0.18	0.1711	5.2149
126	1.54	1.5309	0.5954	0.11	0.1021	7.7808
144	0.65	0.7093	8.3569	0.05	0.0473	5.7420

Pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa semakin besar sudut penyalan yang diberikan pada *driver* dengan beban resistif semakin kecil tegangan rata-rata keluarannya. Semakin besar sudut penyalan yang diberikan pada *driver* dengan beban resistif semakin kecil pula arus rata-ratanya. Arus rata-rata keluaran pada *driver* berbeban resistif sangat dipengaruhi oleh tegangan rata-rata keluaran *driver* yang diatur melalui sudut penyalan. Hal ini karena arus rata-rata keluaran yang dihasilkan merupakan hasil pembagian antara nilai tegangan rata-rata dengan nilai beban resistif. *Error* tegangan dan arus rata-rata yang dihasilkan oleh pengujian ini disebabkan oleh pengukuran yang kurang akurat, suhu resistor uji yang panas

ketika dilakukan percobaan, dan frekuensi jala-jala yang kurang dari 50 Hz yaitu berkisar antara 48 Hz-49 Hz.

4.8 Pengujian Rangkaian *Driver* Berbeban motor DC Magnet Permanen Tanpa Pengaduk

4.8.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah pemecuan *gate* SCR yang diberikan oleh mikrokontroler mampu bekerja jika beban yang digunakan motor DC magnet permanen yang bekerja tanpa pengaduk. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui bagaimana respon tegangan dan arus keluaran yang dihasilkan oleh *Driver* untuk beban berupa motor DC magnet permanen yang bekerja tanpa pengaduk. Selain itu, pengujian ini berfungsi untuk mengetahui hubungan sudut penyalan dengan kecepatan pada motor DC magnet permanen tanpa pengaduk.

4.8.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah :

- 1) Sumber AC 1 fasa 220 V / 50 Hz
- 2) Trafo 240V / 9V 1A
- 3) Rangkaian catu daya pemacu SCR
- 4) Rangkaian *zero crossing detector*
- 5) Rangkaian *optocoupler*
- 6) SCR S6008L
- 7) Resistor 330 ohm
- 8) Osiloskop
- 9) *Probe* osiloskop
- 10) *Multimeter*
- 11) Tachometer

4.8.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian *driver* adalah sebagai berikut:

- 1) Membuat rangkaian *zero crossing detector* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5

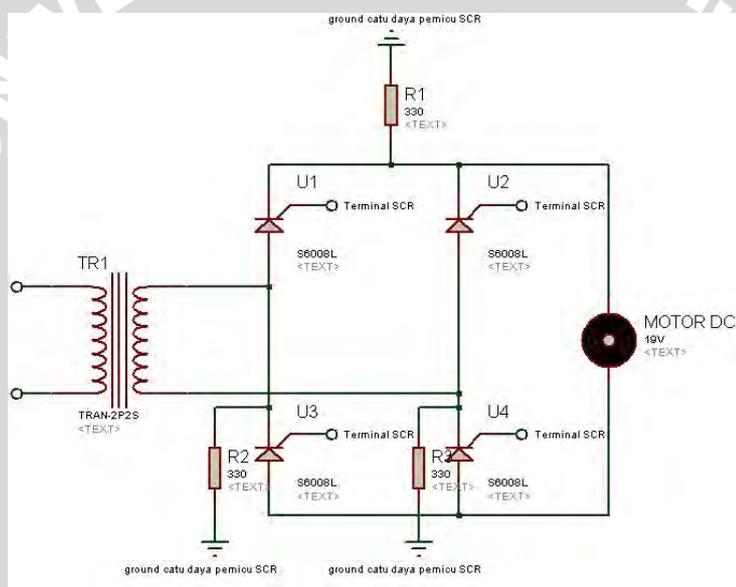
- 2) Membuat rangkaian catu daya pemicu SCR seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7
- 3) Menghubungkan sisi primer trafo 240V / 9V 1A ke sumber AC 1 fasa 220V / 50 Hz dan menghubungkan sisi sekunder trafo 240V / 9V 1A ke rangkaian *zero crossing detector*, rangkaian catu daya pemicu SCR, dan rangkaian SCR gelombang penuh.
- 4) Membuat rangkaian pengujian seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.16.
- 5) Membuat program sesuai dengan diagram alir pada Gambar 4.10 dengan mengatur waktu tunda antara logika *low* ke *high* sebesar 2500, 3000, 3700, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000.
- 6) Menghubungkan *probe* 1 osiloskop ke keluaran dari rangkaian SCR gelombang penuh dan *probe* 2 osiloskop ke sumber tegangan AC 1 fasa.
- 7) Mengukur arus keluaran dari rangkaian SCR gelombang penuh dengan menggunakan *Multimeter*.
- 8) Mengukur putaran motor dengan menggunakan Tachometer.

4.8.4 Hasil Pengujian

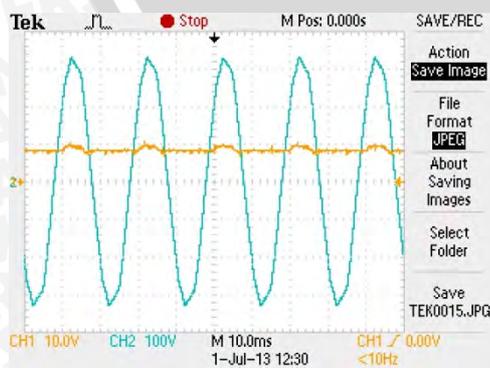
Tegangan keluaran rangkaian *driver* dengan beban motor DC magnet permanen tanpa pengaduk ditunjukkan oleh Gambar 4.17. Pada Gambar 4.17, *channel* 1 menunjukkan tegangan keluaran dari rangkaian SCR gelombang penuh dan *channel* 2 menunjukkan tegangan masukan AC 1 fasa. Nilai tegangan keluaran rata-rata (V), arus rata-rata (A) dan kecepatan (rpm) untuk beban motor DC magnet permanen ditunjukkan oleh Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil pengukuran rangkaian *driver* dengan beban motor DC magnet permanen tanpa pengaduk

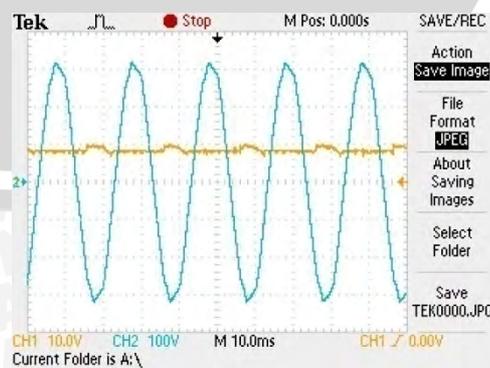
Waktu tunda (μ s)	Sudut penyalaaan ($^{\circ}$)	Tegangan rata-rata (V)	Arus rata-rata (A)	Kecepatan (rpm)
2500	45	8.5	0.21	100.8
3000	54	8.36	0.21	99.4
3700	66.6	10.8	0.22	123.2
4000	72	10.7	0.22	122.1
5000	90	10.02	0.22	114.4
6000	108	8.13	0.21	95.7
7000	126	5.47	0.21	64.1
8000	144	0.27	0.08	6



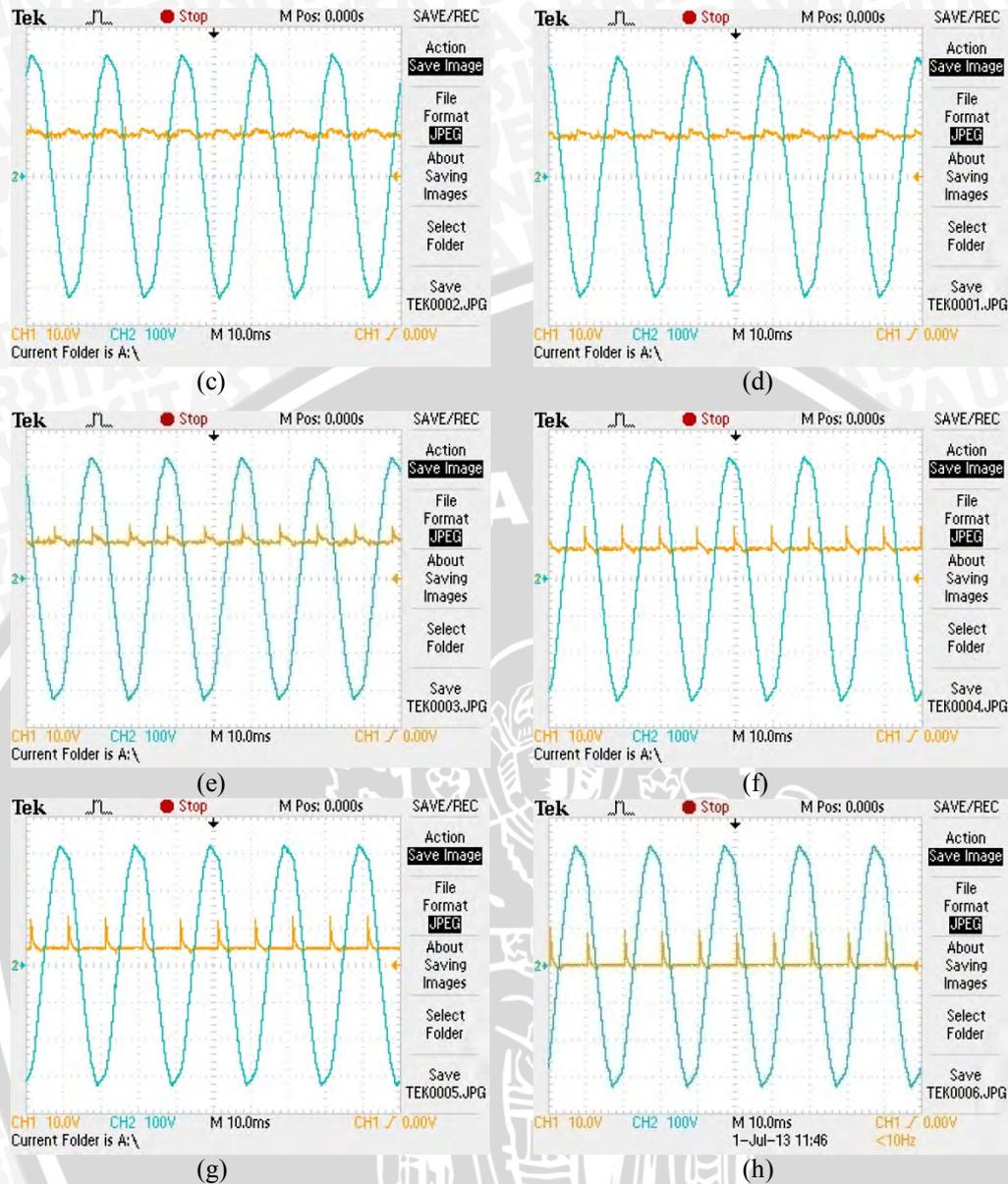
Gambar 4.16. Rangkaian pengujian SCR gelombang penuh beban motor DC magnet permanen tanpa pengaduk



(a)



(b)



Gambar 4.17. Grafik gelombang tegangan AC 1 fasa dan tegangan keluaran rangkaian *driver* untuk beban motor DC magnet permanen tanpa pengaduk dengan sudut penyalaaan (a) 45° (b) 54° (c) 66.6° (d) 72° (e) 90° (f) 108° (g) 126° (h) 144°

4.8.5 Analisis Hasil Pengujian

Pada Tabel 4.3 untuk kondisi motor tanpa pengaduk diketahui bahwa nilai tertinggi kecepatan terjadi pada saat sudut penyalaaan 66.6°. Hal ini disebabkan karena pada kondisi dimana sudut penyalaaan kurang dari 66.6° (dalam pengujian 45° dan 54°) rangkaian penyearah terkontrol gelombang penuh tidak berfungsi dengan baik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.17 (a) dan (b). Rangkaian penyearah terkontrol gelombang penuh tersebut hanya berfungsi sebagai rangkaian penyearah terkontrol gelombang setengah penuh. Hal ini belum

diketahui penyebabnya karena belum dilakukan penelitian lebih lanjut tentang kejadian tersebut.

Pada Tabel 3 dan Gambar 4.17 menunjukkan Semakin tinggi sudut penyalan (sudut penyalan $\geq 66.6^\circ$) maka semakin kecil tegangan rata-rata keluaran yang dihasilkan *driver* motor DC . Hal ini disebabkan tegangan rata-rata masukan yang diterima Motor DC magnet permanen melalui sisi sekunder trafo semakin kecil seiring dengan penambahan sudut penyalan yang diberikan sehingga tegangan keluaran *driver* semakin kecil. Dengan semakin kecilnya tegangan yang diterima oleh motor DC magnet permanen maka kecepatan motor semakin pelan. Sedangkan untuk arus rata-rata yang dibutuhkan oleh motor DC magnet permanen tanpa pengaduk untuk berputar cenderung konstan karena torsi yang dibutuhkan hanya untuk memutar poros motor DC magnet permanen. Namun perbedaan terjadi pada kondisi sudut penyalan 144° . Arus yang mengalir pada *driver* kecil sehingga torsi yang dihasilkan pada kondisi tersebut kecil dan putaran motor yang terjadi tidak konstan. Dengan melihat hasil dari pengujian, maka pada kondisi sudut penyalan $\geq 66.6^\circ$ *driver* berfungsi dengan baik sebagai penyearah terkontrol gelombang penuh.

Motor DC magnet permanen yang digunakan memiliki resistansi jangkar (R_a) sebesar 1.15 ohm dan L_a sebesar 0.9 mH. Nilai K_e dan K_t motor DC magnet permanen dihitung dengan persamaan 2-22 dan 2-24. Hasil dari perhitungan ditunjukkan oleh Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Hasil perhitungan nilai K_e dan K_t

Waktu tunda (μs)	Sudut penyalan ($^\circ$)	K_e	K_t
2500	45	4.9158	0.7824
3000	54	4.9005	0.7799
3700	66.6	5.1365	0.8175
4000	72	5.1337	0.8170
5000	90	5.1226	0.8153
6000	108	4.9458	0.7871
7000	126	4.8940	0.7789
8000	144	1.7800	0.4424

Pada Tabel 4.4 ditunjukkan bahwa hasil perhitungan K_e dan K_t cenderung konstan. Namun pada sudut penyalan 144° K_e berbeda jauh karena pengukuran yang terjadi pada kondisi tersebut kurang akurat. Hal ini disebabkan karena kecepatan motor DC yang dihasilkan tidak konstan sehingga mengurangi keakuratan hasil sampling pada tachometer digital sehingga perhitungan rata-rata nilai K_e dan K_t dilakukan tanpa melibatkan kondisi sudut penyalan 144° . Hasil rata-rata dari nilai K_e sebesar 5.0069 dan nilai K_t sebesar 0.7969.

Sudut pemadaman bisa didapatkan dengan melakukan iterasi menggunakan Persamaan 2-37 dengan menggunakan metode Newton Raphson dengan ketelitian 0.0001, dimana $d(i(\omega t))/dt$ ditunjukkan pada Persamaan 3-13. Torsi yang dihasilkan oleh motor DC magnet permanen dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2-14. Hasil iterasi untuk mendapatkan sudut pemadaman dan hasil perhitungan torsi ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil iterasi sudut pemadaman dan perhitungan torsi

Waktu tunda (μs)	Sudut penyalan ($^\circ$)	Sudut pemadaman ($^\circ$)	Torsi (N m)
2500	45	145.8882	0.1673
3000	54	146.7580	0.1673
3700	66.6	128.8428	0.1753
4000	72	129.8503	0.1753
5000	90	135.8655	0.1753
6000	108	147.5495	0.1673
7000	126	163.5714	0.1673
8000	144	189.6649	0.0638

Pada Tabel 4.5 ditunjukkan pada kondisi sudut penyalan $\geq 66.6^\circ$ semakin besar sudut penyalan maka sudut pemadaman akan semakin besar pula. Hal ini disebabkan untuk mendapatkan arus yang cenderung konstan maka sistem melakukan respon dengan semakin besar sudut penyalan semakin besar pula sudut pemadamannya. Torsi yang dihasilkan oleh motor DC magnet permanen tanpa pengaduk adalah konstan walaupun diubah-ubah sudut penyalannya.

Untuk mengetahui nilai arus teori maka digunakan Persamaan 3-12 dan untuk mengetahui nilai dari tegangan keluaran *driver* teori dengan menggunakan persamaan 2-29. Persentase *error* dihitung dengan menggunakan Persamaan 4-3.

Hasil dari nilai tegangan keluaran dan arus keluaran *driver* teori ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Pada Tabel 4.6 menunjukkan pada kondisi sudut penyalaan $\geq 66.6^\circ$ semakin besar sudut penyalaan maka semakin kecil tegangan rata-ratanya. Sedangkan untuk arus rata-rata cenderung konstan pada kondisi sudut penyalaan diubah-ubah. *Error* tegangan dan arus rata-rata yang dihasilkan oleh pengujian ini disebabkan oleh pengukuran yang kurang akurat, Ke yang digunakan merupakan hasil rata-rata dan frekuensi jala-jala yang kurang dari 50 Hz yaitu berkisar antara 48 Hz-49 Hz. Untuk *error* yang dihasilkan ketika sudut penyalaan 144° besar karena keakuratan tachometer digital untuk mengukur kecepatan sangat rendah. Sedangkan *error* arus ketika sudut penyalaan $< 66.6^\circ$ besar disebabkan oleh rangkaian penyearah terkontrol gelombang penuh berubah fungsi menjadi rangkaian penyearah terkontrol setengah penuh. Sehingga penyebaran arus hanya terjadi di setengah rangkaian penyearah terkontrol dan menyebabkan arus yang terjadi di rangkaian setengah rangkaian penyearah terkontrol tersebut semakin besar. Untuk analisisnya belum diketahui karena belum dilakukan penelitian lebih lanjut tentang kejadian tersebut.

Tabel 4.6. Tegangan dan arus rata-rata keluaran *driver* dengan beban Motor DC magnet permanen tanpa pengaduk

Sudut penyalaan ($^\circ$)	Tegangan rata-rata Praktek (V)	Tegangan rata-rata Teori (V)	<i>Error</i> tegangan rata-rata (%)	Arus rata-rata Praktek (A)	Arus rata-rata Teori (A)	<i>Error</i> Arus rata-rata (%)
45	8.5	8.904822	4.5461	0.21	0.8576	75.5519
54	8.36	8.806538	5.0705	0.21	0.8819	76.1877
66.6	10.8	10.53007	2.5634	0.22	0.2166	1.5759
72	10.7	10.44186	2.4721	0.22	0.2197	0.1340
90	10.02	9.779501	2.4592	0.22	0.2025	8.6487
108	8.13	8.217709	1.0673	0.21	0.2014	4.2852
126	5.47	5.611861	2.5279	0.21	0.2285	8.0835
144	0.27	0.184218	46.5651	0.08	0.0940	14.9046

4.9 Pengujian Sistem Pengadukan Tanpa Adonan

4.9.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana respon tegangan dan arus keluaran yang dihasilkan oleh *driver* untuk beban motor DC magnet permanen yang bekerja dengan pengaduk. Selain itu, pengujian ini berfungsi untuk mengetahui hubungan sudut penyalaan dengan kecepatan pada motor DC magnet permanen dengan pengaduk.

4.9.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah :

- 1) Sumber AC 1 fasa 220 V / 50 Hz
- 2) Trafo 240V / 9V 1A
- 3) Trafo 220V / 18V 5A
- 4) Rangkaian catu daya pemacu SCR
- 5) Rangkaian *zero crossing detector*
- 6) Rangkaian *optocoupler*
- 7) SCR S6008L
- 8) Resistor 330 ohm
- 9) Osiloskop
- 10) *Probe* osiloskop
- 11) *Multimeter*
- 12) Tachometer

4.9.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian *driver* adalah sebagai berikut:

- 1) Membuat rangkaian *zero crossing detector* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5
- 2) Membuat rangkaian catu daya pemacu SCR seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7
- 3) Menghubungkan sisi primer trafo 240V / 9V 1A ke sumber AC 1 fasa 220V / 50 Hz dan menghubungkan sisi sekunder trafo 240V / 9V 1A ke rangkaian *zero crossing detector* dan rangkaian catu daya pemacu SCR.

- 4) Membuat rangkaian pengujian seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.16 untuk beban motor DC magnet permanen yang telah dikopel dengan pengaduk.
- 5) Membuat program sesuai dengan diagram alir pada Gambar 4.10 dengan mengatur waktu tunda antara logika *low* ke *high* sebesar 2500, 3000, 3700, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000 (untuk penggunaan trafo 240V / 9V 1A) dan waktu tunda antara logika *low* ke *high* sebesar 8000, 8500, 9000 (untuk penggunaan trafo 220V / 18V 5A).
- 6) Menghubungkan sisi primer trafo 240V / 9V 1A ke sumber AC 1 fasa 220V / 50 Hz dan menghubungkan sisi sekunder trafo 240V / 9V 1A ke rangkaian SCR gelombang penuh (untuk percobaan menggunakan trafo 1A).
- 7) Menghubungkan sisi primer trafo 220V / 18V 5A ke sumber AC 1 fasa 220V / 50 Hz dan menghubungkan sisi sekunder trafo 220V / 18 V 5A ke rangkaian SCR gelombang penuh (untuk percobaan menggunakan trafo 5A).
- 8) Menghubungkan *probe* 1 osiloskop ke keluaran dari rangkaian SCR gelombang penuh dan *probe* 2 osiloskop ke sumber tegangan AC 1 fasa.
- 9) Mengukur arus keluaran dari rangkaian SCR gelombang penuh dengan menggunakan *Multimeter*.
- 10) Mengukur putaran motor dengan menggunakan Tachometer.

4.9.4 Hasil Pengujian

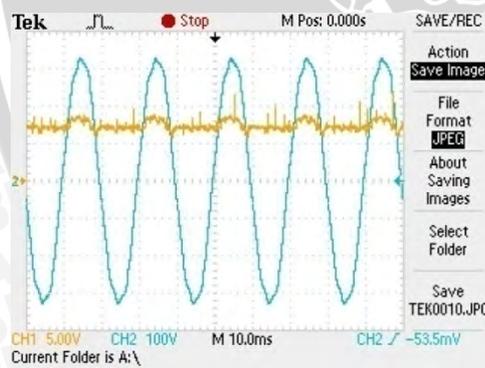
Nilai tegangan keluaran rata-rata (V), arus rata-rata (A) dan kecepatan (rpm) untuk sistem pengadukan tanpa adonan ditunjukkan oleh Tabel 4.7 (trafo 240V / 9V 1A) dan Tabel 4.8 (trafo 220V / 18V 5A). Tegangan keluaran rangkaian *driver* dengan beban motor DC magnet permanen menggunakan pengaduk ditunjukkan oleh Gambar 4.18 (trafo 240V / 9V 1A) dan Gambar 4.19 (trafo 220V / 18V 5A). Pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19, *channel* 1 menunjukkan tegangan keluaran dari rangkaian SCR gelombang penuh dan *channel* 2 menunjukkan tegangan masukan AC 1 fasa.

Tabel 4.7. Hasil pengukuran rangkaian *driver* dengan beban motor DC magnet permanen menggunakan pengaduk (trafo 240V / 9V 1A)

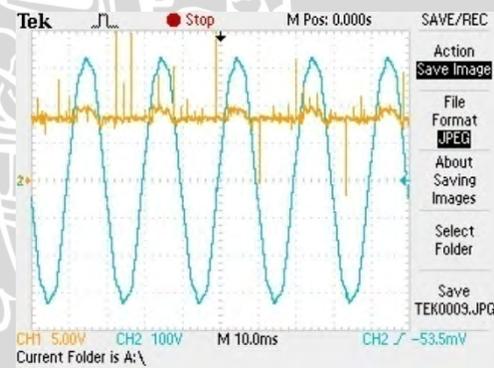
Waktu tunda (μ s)	Sudut penyalaaan ($^{\circ}$)	Tegangan rata-rata (V)	Arus rata-rata (A)	Kecepatan (rpm)
2500	45	7.05	0.4	81.4
3000	54	7.75	0.41	87
3700	66.6	9.74	0.43	112.2
4000	72	9.58	0.43	110.5
5000	90	8.35	0.42	99.2
6000	108	6.46	0.41	77.5
7000	126	4.19	0.42	48
8000	144	0.58	0.24	0

Tabel 4.8. Hasil pengukuran rangkaian *driver* dengan beban motor DC magnet permanen menggunakan pengaduk (trafo 220V / 18V 5A)

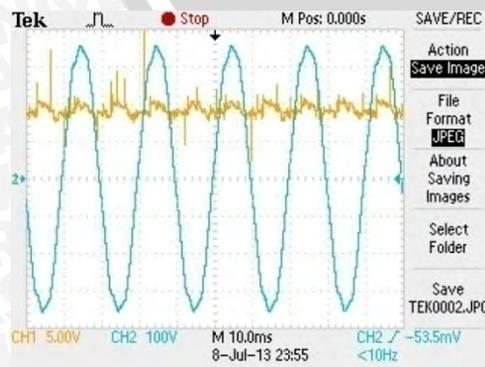
Waktu tunda (μ s)	Sudut penyalaaan ($^{\circ}$)	Tegangan rata-rata (V)	Arus rata-rata (A)	Kecepatan (rpm)
8000	144	5.92	0.4	68.02
8500	153	2.56	0.41	26
9000	162	0.86	0.21	8.5



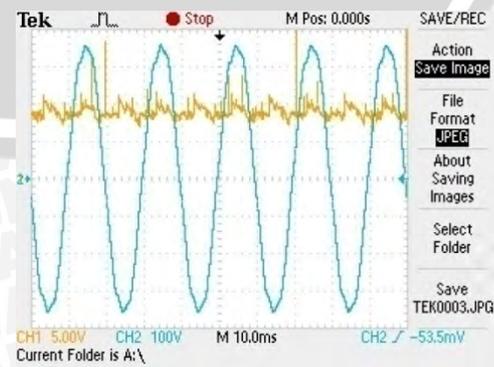
(a)



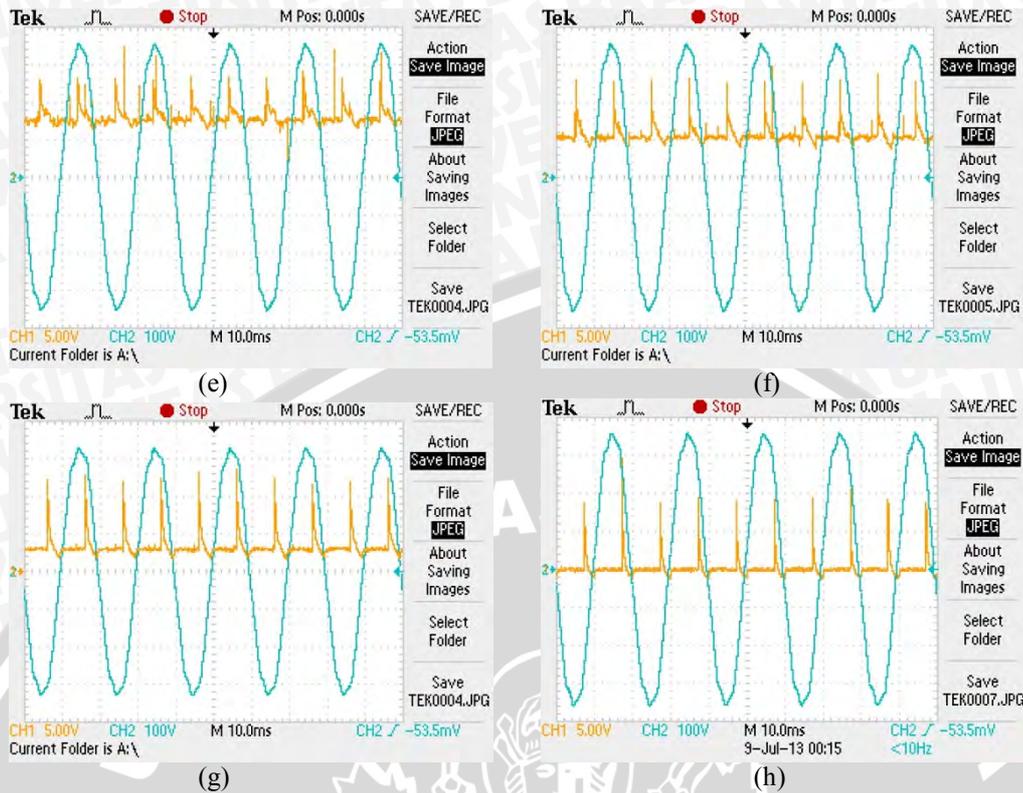
(b)



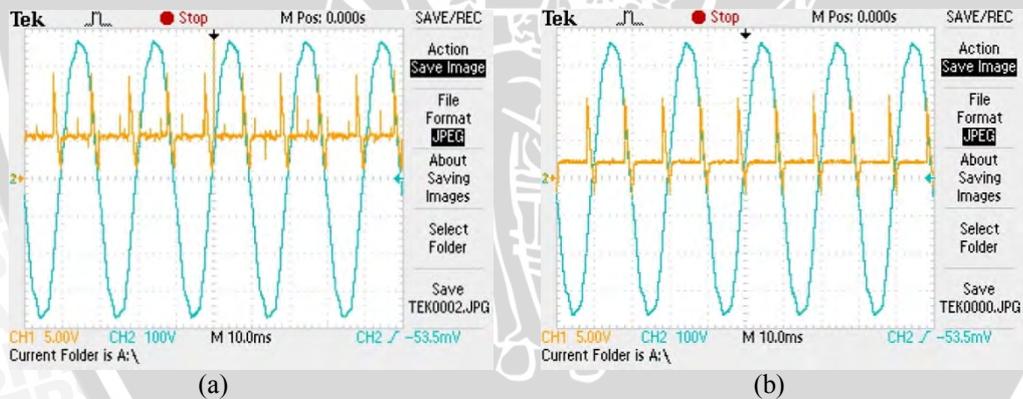
(c)

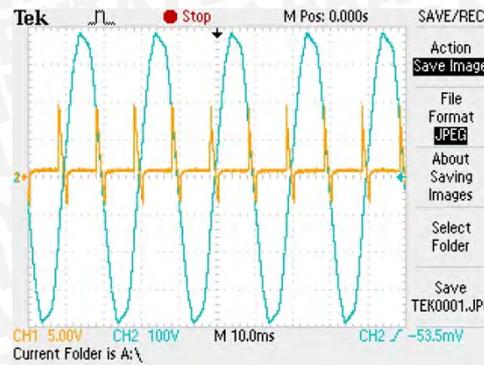


(d)



Gambar 4.18. Grafik gelombang tegangan AC 1 fasa dan tegangan keluaran rangkaian *driver* untuk beban motor DC magnet permanen menggunakan pengaduk dengan sudut penyalan (a) 45° (b) 54° (c) 66.6° (d) 72° (e) 90° (f) 108° (g) 126° (h) 144° (trafo 240 V / 9 V 1A)





(c)

Gambar 4.19. Grafik gelombang tegangan AC 1 fasa dan tegangan keluaran rangkaian *driver* untuk beban motor DC magnet permanen menggunakan pengaduk dengan sudut penyalaaan (a) 126° (b) 144° (c) 162° (trafo 220 V / 18 V 5A)

4.9.5 Analisis Hasil Pengujian

Pada Tabel 4.7 untuk kondisi motor dengan pengaduk diketahui bahwa nilai tertinggi putaran terjadi pada saat sudut penyalaaan 66.6° . Hal ini disebabkan karena pada kondisi dimana sudut penyalaaan kurang dari 66.6° (dalam pengujian 45° dan 54°) rangkaian penyearah terkontrol gelombang penuh tidak berfungsi dengan baik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.18 (a) dan (b). Rangkaian penyearah terkontrol gelombang penuh tersebut hanya berfungsi sebagai rangkaian penyearah terkontrol gelombang setengah penuh. Hal ini belum diketahui penyebabnya karena belum dilakukan penelitian lebih lanjut tentang kejadian tersebut.

Pada Tabel 4.7, Tabel 4.8, Gambar 4.18 dan Gambar 4.19 menunjukkan Semakin tinggi sudut penyalaaan (sudut penyalaaan $\geq 66.6^{\circ}$ untuk pengujian menggunakan trafo 240V / 9V 1A) maka semakin kecil tegangan rata-rata keluaran yang dihasilkan *driver* motor DC. Hal ini disebabkan tegangan rata-rata masukan yang diterima Motor DC magnet permanen melalui sisi sekunder trafo semakin kecil seiring dengan penambahan sudut penyalaaan yang diberikan sehingga tegangan keluaran *driver* semakin kecil. Dengan semakin kecilnya tegangan yang diterima oleh motor DC magnet permanen maka kecepatan motor semakin pelan. Sedangkan untuk arus rata-rata yang dibutuhkan oleh motor DC magnet permanen dengan pengaduk untuk berputar cenderung konstan karena torsi yang dibutuhkan hanya untuk memutar poros motor DC magnet permanen dan pengaduk. Namun perbedaan terjadi pada kondisi sudut penyalaaan 144° untuk pengujian dengan trafo 240V /9V 1A dan pada kondisi sudut penyalaaan 162°

untuk pengujian dengan trafo 220V / 18V 5A. Arus yang mengalir pada *driver* kecil sehingga torsi yang dihasilkan pada kondisi tersebut kecil dan kecepatan motor yang terjadi tidak konstan. Dengan melihat hasil dari pengujian, maka *driver* berfungsi dengan baik sebagai penyearah terkontrol gelombang penuh (kondisi sudut penyalan $\geq 66.6^\circ$ untuk pengujian dengan trafo 240V / 9V 1A).

Sudut pemadaman bisa didapatkan dengan melakukan iterasi menggunakan Persamaan 2-37 dengan menggunakan metode Newton Rhapsion dengan ketelitian 0.0001, dimana $d(i(\omega t))/dt$ ditunjukkan pada Persamaan 3-13. Torsi yang dihasilkan oleh motor DC magnet permanen dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 2-14. Hasil iterasi untuk mendapatkan sudut pemadaman dan hasil perhitungan torsi ditunjukkan pada Tabel 4.9 (pengujian dengan trafo 240V / 9V 1A) dan Tabel 4.10 (pengujian dengan trafo 220V / 18V 5A).

Tabel 4.9. Hasil iterasi sudut pemadaman dan perhitungan torsi (pengujian dengan trafo 240V / 9V 1A)

Waktu tunda (μs)	Sudut penyalan ($^\circ$)	Sudut pemadaman ($^\circ$)	Torsi (N m)
2500	45	156.9774	0.3187
3000	54	153.9615	0.3267
3700	66.6	128.8428	0.3427
4000	72	139.3060	0.3427
5000	90	146.5050	0.3347
6000	108	158.1548	0.3267
7000	126	171.7388	0.3347
8000	144	192.4038	0.1912

Tabel 4.10. Hasil iterasi sudut pemadaman dan perhitungan torsi (pengujian dengan trafo 220V / 18V 5A)

Waktu tunda (μs)	Sudut penyalan ($^\circ$)	Sudut pemadaman ($^\circ$)	Torsi (N m)
8000	144	177.6293	0.3187
8500	153	185.5362	0.3267
9000	162	187.4745	0.1673

Pada Tabel 4.9 ditunjukkan pada kondisi sudut penyalan $\geq 66.6^\circ$ dan pada Tabel 4.10 semakin besar sudut penyalan maka sudut pemadaman akan semakin

besar pula. Hal ini disebabkan untuk mendapatkan arus yang cenderung konstan maka sistem melakukan respon dengan semakin besar sudut penyalan semakin besar pula sudut pemadamannya. Torsi yang dihasilkan oleh motor DC magnet permanen dengan pengaduk adalah konstan walaupun diubah-ubah sudut penyalannya.

Untuk mengetahui nilai arus teori maka digunakan Persamaan 3-12 dan untuk mengetahui nilai dari tegangan keluaran *driver* teori dengan menggunakan Persamaan 2-29. Persentase *error* dihitung dengan menggunakan Persamaan 4-3. Hasil dari nilai tegangan keluaran dan arus keluaran *driver* teori ditunjukkan pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12.

Tabel 4.11. Tegangan dan arus rata-rata keluaran *driver* dengan beban Motor DC magnet permanen dengan pengaduk (pengujian dengan trafo 240V / 9V 1A)

Sudut penyalan ($^{\circ}$)	Tegangan rata-rata Praktek (V)	Tegangan rata-rata Teori (V)	<i>Error</i> tegangan rata-rata (%)	Arus rata-rata Praktek (A)	Arus rata-rata Teori (A)	<i>Error</i> Arus rata-rata (%)
45	7.05	7.7019	8.4646	0.4	1.5811	74.7013
54	7.75	8.0041	3.1744	0.41	1.2938	68.3115
66.6	9.74	9.9295	1.9089	0.43	0.4309	0.2061
72	9.58	9.7366	1.6086	0.43	0.4482	4.0623
90	8.35	8.7766	4.8607	0.42	0.4334	3.0902
108	6.46	6.9648	7.2479	0.41	0.4326	5.2166
126	4.19	4.4801	6.4752	0.42	0.4126	1.7889
144	0.58	0.6226	6.8402	0.24	0.5414	55.6688

Tabel 4.12. Tegangan dan arus rata-rata keluaran *driver* dengan beban Motor DC magnet permanen dengan pengaduk (pengujian dengan trafo 220V / 18V 5A)

Sudut penyalan ($^{\circ}$)	Tegangan rata-rata Praktek (V)	Tegangan rata-rata Teori (V)	<i>Error</i> tegangan rata-rata (%)	Arus rata-rata Praktek (A)	Arus rata-rata Teori (A)	<i>Error</i> Arus rata-rata (%)
144	5.92	6.1563	3.8387795	0.4	0.4175	4.183071
153	2.56	2.6229	2.3968043	0.41	0.3941	4.043955
162	0.86	0.9367	8.1848688	0.21	0.1977	6.227296

Pada Tabel 4.11 menunjukkan pada kondisi sudut penyalan $\geq 66.6^{\circ}$ dan Tabel 4.12 semakin besar sudut penyalan maka semakin kecil tegangan rata-ratanya. Sedangkan untuk arus rata-rata cenderung konstan pada kondisi sudut

penyalan diubah-ubah. *Error* tegangan dan arus rata-rata yang dihasilkan oleh pengujian ini disebabkan oleh pengukuran yang kurang akurat, Ke yang digunakan merupakan hasil rata-rata dan frekuensi jala-jala yang kurang dari 50 Hz yaitu berkisar antara 48 Hz-49 Hz. Untuk *error* yang dihasilkan ketika sudut penyalan 144° besar karena kecepatan yang terjadi pada kondisi tersebut kecil sehingga oleh tachometer kecepatan motor tersebut dianggap 0 Rpm walaupun sebenarnya motor tersebut masih berputar. Sedangkan *error* arus ketika sudut penyalan $< 66.6^{\circ}$ besar disebabkan oleh rangkaian penyearah terkontrol gelombang penuh berubah fungsi menjadi rangkaian penyearah terkontrol setengah penuh. Sehingga penyebaran arus hanya terjadi di setengah rangkaian penyearah terkontrol dan menyebabkan arus yang terjadi di rangkaian setengah rangkaian penyearah terkontrol tersebut semakin besar. Untuk analisisnya belum diketahui karena belum dilakukan penelitian lebih lanjut tentang kejadian tersebut.

4.10 Pengujian Viskositas dan Densitas Adonan Dodol

4.10.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik viskositas dan densitas adonan dodol dari mulai dipanaskan hingga adonan dodol mendekati kematangan.

4.10.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah :

- 1) Gelas ukur
- 2) Bola uji
- 3) Timbangan
- 4) *Stopwatch*
- 5) Mistar
- 6) Wajan
- 7) Alat pengaduk
- 8) Bahan-bahan untuk pembuatan dodol

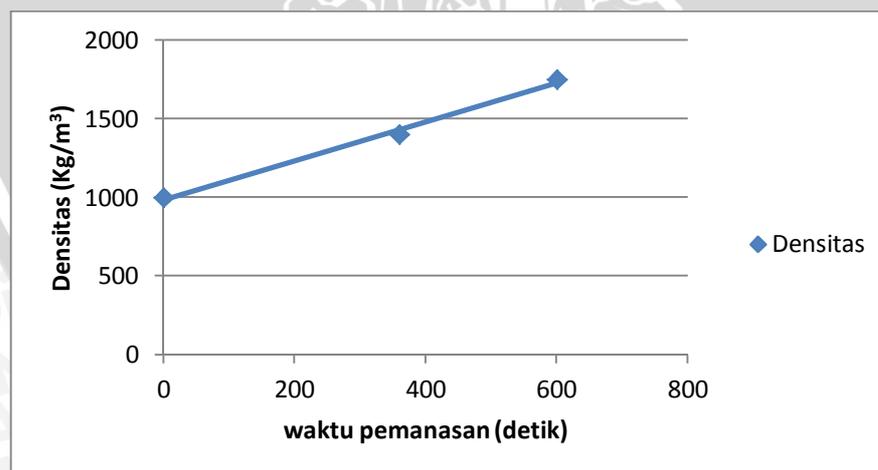
4.10.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian viskositas dan densitas adalah sebagai berikut:

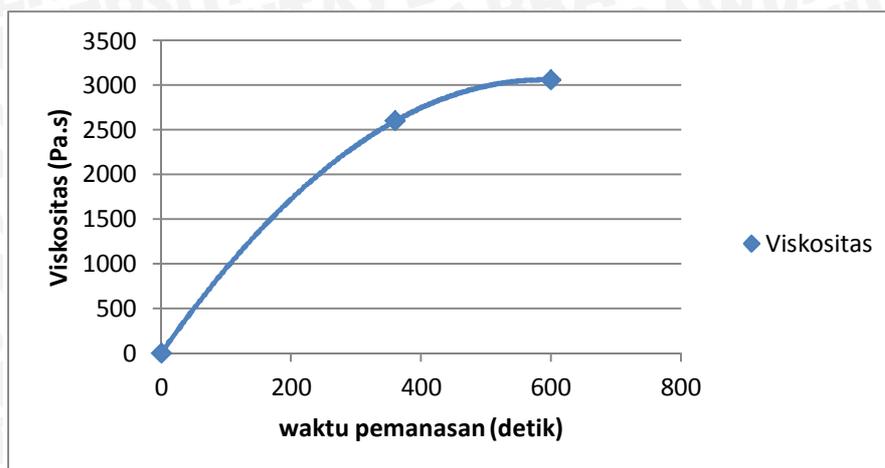
- 1) Mempersiapkan bahan dasar dodol yaitu 500 gram tepung ketan, 1000 gram gula merah (gula jawa), 750 ml santan cair dari setengah kelapa, dan 250 ml santan kental dari satu kelapa.
- 2) Proses pemanasan campuran gula merah dan santan cair hingga gula merah mencair seluruhnya.
- 3) Proses pemanasan dan pencampuran tepung ketan pada campuran gula merah dan santan cair lalu tuang santan kental sedikit demi sedikit ketika adonan menjadi bubur. Aduk adonan dodol selama proses ini.
- 4) Menghitung densitas adonan dodol dengan Persamaan 2-2 dengan melakukan pengukuran massa adonan dodol dan volume adonan dodol yang diukur massanya.
- 5) Menghitung viskositas adonan dodol dengan Persamaan 2-1 dengan melakukan pengukuran kecepatan jatuh, jari-jari bola uji, gravitasi pengujian, densitas bola uji dan densitas adonan dodol.
- 6) Hasil dari pengukuran viskositas dan densitas dicatat beserta dengan waktu pengujian (detik).

4.10.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian densitas adonan dodol ditunjukkan pada Gambar 4.20 dan viskositas adonan dodol ditunjukkan pada Gambar 4.21.



Gambar 4.20. Grafik densitas adonan dodol = $f(\text{waktu pemanasan})$



Gambar 4.21. Grafik viskositas adonan dodol = $f(\text{waktu pemanasan})$

4.10.5 Analisis Hasil Pengujian

Pada Gambar 4.20 ditunjukkan bahwa semakin lama pemanasan densitas adonan dodol semakin besar. Sehingga perbandingan massa terhadap volume adonan dodol semakin besar. Persamaan yang dihasilkan untuk densitas adonan dodol dengan menggunakan metode regresi linier ditunjukkan pada Persamaan 4-4.

$$\rho = 1.2390t + 986.8421 \quad (4-4)$$

Pada Gambar 4.21 ditunjukkan bahwa semakin lama pemanasan viskositas adonan dodol semakin besar. Sehingga semakin lama adonan dodol semakin kental. Pada kondisi waktu pemanasan > 420 detik kekentalan dodol cenderung konstan. Persamaan yang dihasilkan untuk viskositas adonan dodol dengan menggunakan metode regresi polinomial ditunjukkan pada Persamaan 4-5.

$$\mu = 1.1690 + 10.4038t - 0.0088t^2 \quad (4-5)$$

4.11 Pengujian Sistem Alat Pengaduk Adonan Dodol

4.11.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja sistem alat pengaduk adonan dodol jika digunakan untuk mengaduk adonan dodol.

4.11.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah :

- 1) Sumber AC 1 fasa 220 V / 50 Hz
- 2) Trafo 240V / 9V 1A

- 3) Trafo 220V / 18V 5A
- 4) Rangkaian catu daya pemicu SCR
- 5) Rangkaian *zero crossing detector*
- 6) Rangkaian *optocoupler*
- 7) SCR S6008L
- 8) Resistor 330 ohm
- 9) *Multimeter*
- 10) Tachometer

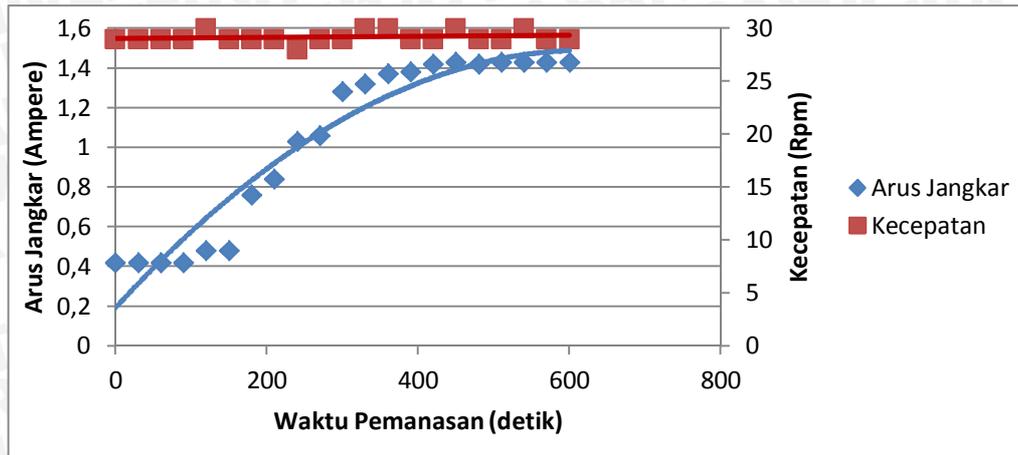
4.11.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian sistem alat pengaduk adonan dodol adalah sebagai berikut:

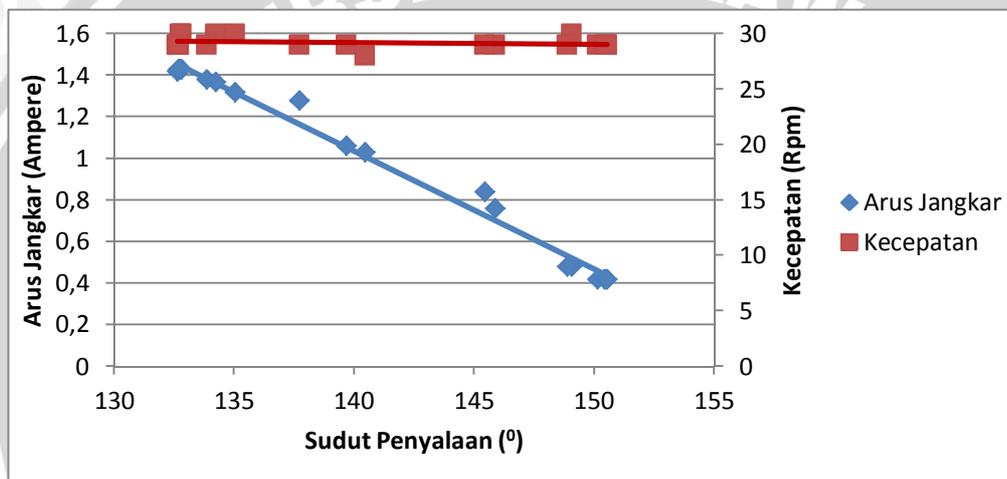
- 1) Membuat rangkaian *zero crossing detector* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5
- 2) Membuat rangkaian catu daya pemicu SCR seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7
- 3) Menghubungkan sisi primer trafo 240V / 9V 1A ke sumber AC 1 fasa 220V / 50 Hz dan menghubungkan sisi sekunder trafo 240V / 9V 1A ke rangkaian *zero crossing detector* dan rangkaian catu daya pemicu SCR.
- 4) Membuat rangkaian *driver* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.16.
- 5) Membuat program sesuai dengan diagram alir pada Gambar 3.10.
- 6) Menghubungkan sisi primer trafo 220V / 18V 5A ke sumber AC 1 fasa 220V / 50 Hz dan menghubungkan sisi sekunder trafo 220V / 18 V 5A.
- 7) Mengukur arus keluaran dari rangkaian SCR gelombang penuh dengan menggunakan *Multimeter*.
- 8) Mengukur kecepatan motor dengan menggunakan Tachometer.

4.11.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian arus jangkar (Ampere) dan kecepatan (Rpm) terhadap waktu pemanasan adonan dodol ditunjukkan oleh Gambar 4.22. Hasil pengujian arus jangkar (Ampere) dan kecepatan (Rpm) terhadap sudut penyalaan ($^{\circ}$) ditunjukkan oleh Gambar 4.23.



Gambar 4.22. Grafik arus jangkar dan kecepatan = f (waktu pemanasan adonan dodol)



Gambar 4.23. Grafik arus jangkar dan kecepatan = f (sudut penyalaan)

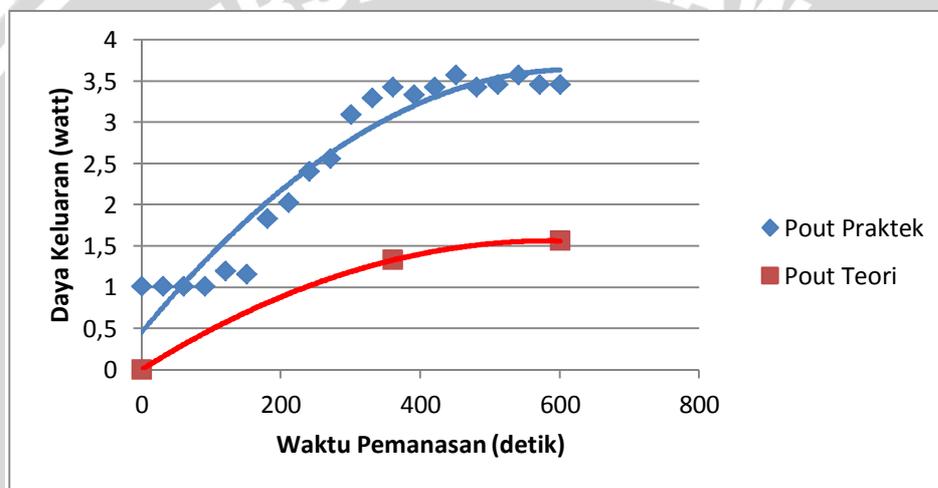
4.10.5 Analisis Hasil Pengujian

Gambar 4.22 menunjukkan grafik hasil pengujian sistem dengan pengambilan data arus dan kecepatan setiap 30 detik. Semakin lama pemanasan adonan dodol dilakukan maka arus yang dibutuhkan untuk mengaduk semakin besar. Namun ketika waktu pemanasan > 420 detik, arus yang dibutuhkan cenderung konstan. Arus yang dibutuhkan semakin meningkat karena kebutuhan torsi motor untuk mengaduk adonan dodol yang mengental semakin besar. Kecepatan motor yang dihasilkan konstan disebabkan karena kecepatan motor yang di *sensing* oleh *rotary encoder* diolah oleh mikrokontroler yang selanjutnya mengatur kecepatan motor.

Gambar 4.23 menunjukkan grafik hasil pengujian sistem arus dan kecepatan terhadap fungsi sudut penyalaan. Semakin kecil sudut penyalaan diberikan arus

jangkar yang dihasilkan semakin besar dengan menjaga kecepatan motor konstan. Hal ini dapat terjadi karena dengan semakin besarnya torsi yang dibutuhkan untuk mengaduk beban maka arus jangkar akan meningkat dan menyebabkan tegangan jangkar menurun. Untuk meningkatkan kembali tegangan jangkar yang turun agar kecepatan konstan adalah dengan memberikan tegangan masukan yang lebih besar dengan memperkecil sudut penyalan yang diberikan ke SCR.

Daya adukan adonan dodol berdasarkan hasil percobaan dihitung dengan menggunakan Persamaan 2-6. Daya adukan adonan dodol berdasarkan teori dihitung dengan menggunakan Persamaan 2-5. Hasil dari perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24. Grafik daya keluaran = f (waktu pemanasan adonan dodol)

Gambar 4.24 menunjukkan bahwa daya yang dibutuhkan untuk mengaduk adonan dodol semakin lama semakin besar. Terdapat perbedaan daya antara praktek dan teori, hal ini disebabkan karena pada perhitungan teoritis rugi-rugi daya diabaikan selain itu pada perhitungan teoritis terdapat viskositas yang mana pengujian viskositas dilakukan dengan metode bola jatuh sehingga tingkat keakuratannya berkurang.

Daya masukan motor dapat ditentukan dengan mengetahui tegangan masukan DC dan arus DC yang diperlukan motor untuk mengaduk adonan pada kekentalan tertentu. Analisis daya masukan ini diperlukan untuk mengetahui daya motor minimal yang diperlukan untuk mengaduk adonan dodol hingga mencapai kekentalan tertentu.

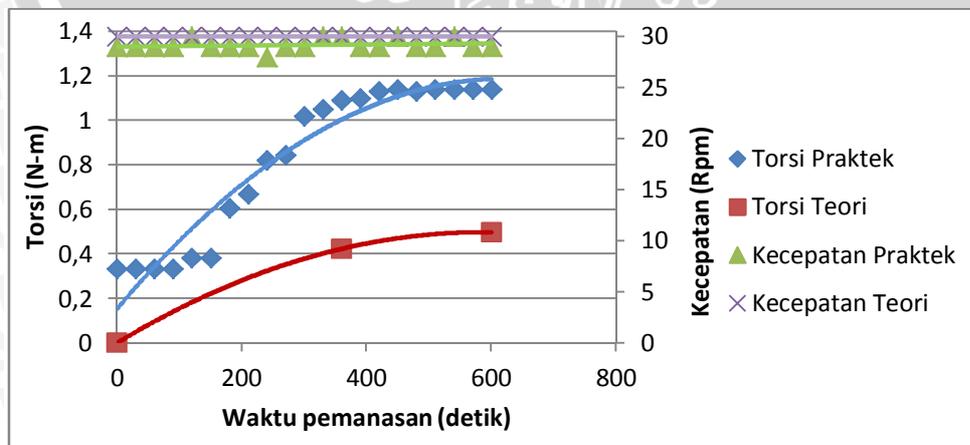
Penentuan daya motor ini dapat dilakukan dengan melakukan analisis pada

kondisi viskositas yang cukup stabil. Analisis dilakukan pada waktu pemanasan 600 detik karena pada kondisi tersebut daya cenderung konstan dan dapat digunakan sebagai penentu daya minimum yang diperlukan motor DC magnet permanen untuk mengaduk adonan dodol.

Pada waktu pemanasan 600 detik, arus yang diperlukan motor DC magnet permanen untuk mengaduk adonan dodol sebesar 1.43 A dan sudut penyalan yang dihasilkan oleh Arduino Uno adalah 132.7° . Berdasarkan sudut penyalan sebesar 132.7° maka dapat dicari sudut pemadaman dengan melakukan iterasi pada Persamaan 2-37 dengan ketelitian 0.0001, dimana $d(i(\omega t))/dt$ ditunjukkan pada Persamaan 3-13. Sudut pemadaman yang didapatkan dari iterasi sebesar 187.2634° . Tegangan masukan motor DC magnet permanen dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2-29 sehingga didapatkan nilai tegangan masukan sebesar 2.5432 V. Hasil dari perhitungan daya masukan motor DC magnet permanen ditunjukkan pada Persamaan 4-6. Berdasarkan hasil perhitungan maka daya motor DC magnet permanen yang dibutuhkan untuk mengaduk adonan dodol adalah 3.6368 W dengan arus dan tegangan motor DC magnet permanen adalah 1.43 A dan 2.5432 V.

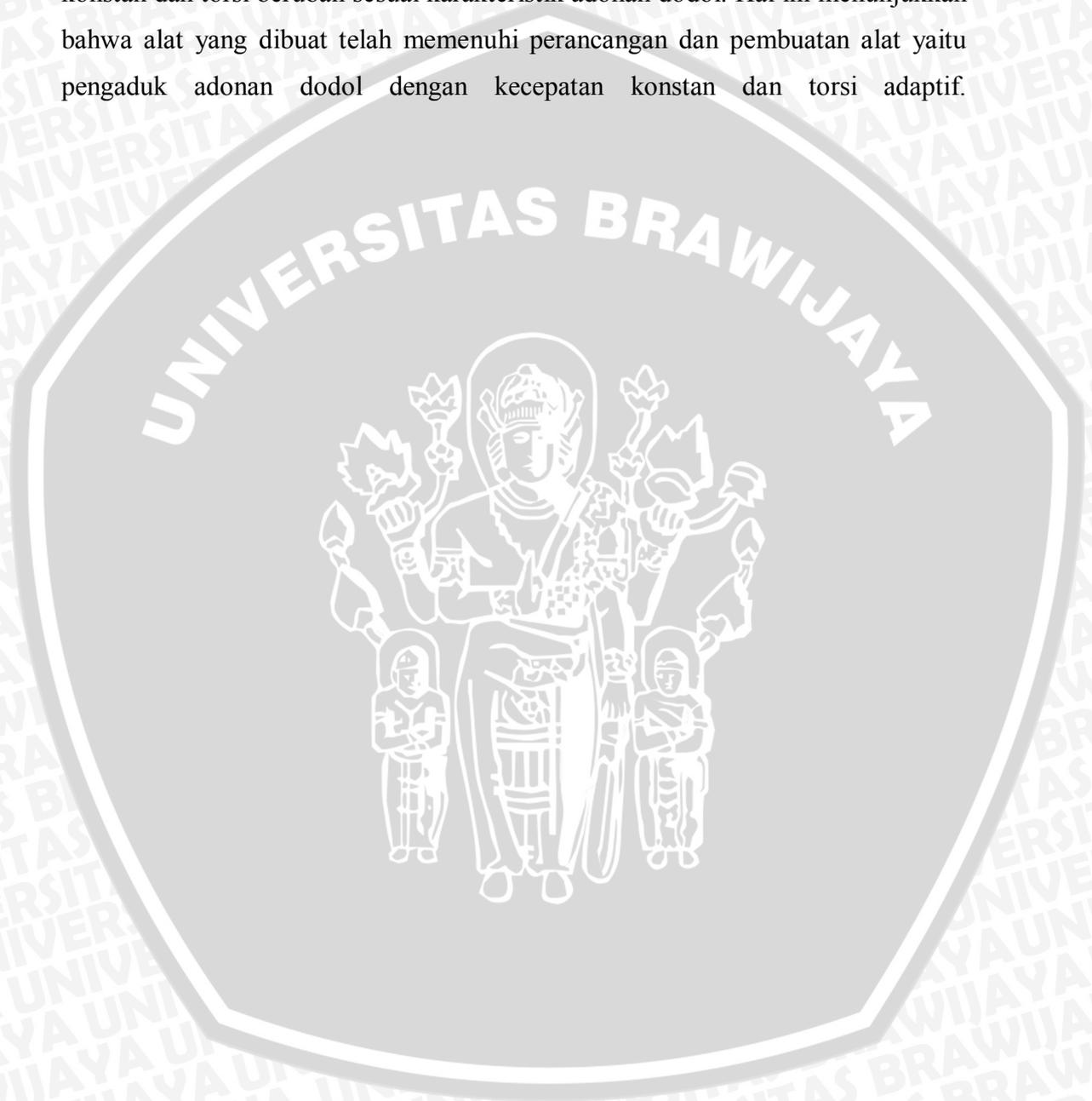
$$P_{in} = V_{dc} \times I_{dc} = 2.5432 \times 1.43 = 3.6368 \text{ W} \quad (4-6)$$

Perbandingan antara hasil perhitungan teori dengan hasil pengujian kecepatan motor dan torsi pengadukan ditunjukkan pada Gambar 4.25. Penghitungan torsi praktek pengadukan adonan dodol menggunakan Persamaan 2-18 dan penghitungan torsi teori pengadukan adonan dodol menggunakan Persamaan 2-10.



Gambar 4.25. Grafik torsi dan kecepatan = f (waktu pemanasan adonan dodol)

Gambar 4.25 menunjukkan semakin lama pemanasan dilakukan semakin besar torsi yang dibutuhkan untuk mengaduk hingga waktu pemanasan > 420 detik. Pada waktu pemanasan > 420 detik torsi yang dibutuhkan untuk mengaduk cenderung konstan. Selama pemanasan adonan dodol, diusahakan kecepatan konstan dan torsi berubah sesuai karakteristik adonan dodol. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dibuat telah memenuhi perancangan dan pembuatan alat yaitu pengaduk adonan dodol dengan kecepatan konstan dan torsi adaptif.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada alat pengaduk adonan dodol maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Sistem pengadukan dodol yang dihasilkan mampu membuat pengaduk bekerja dengan kecepatan konstan dan torsi adaptif menyesuaikan kondisi adonan.
- 2) Arus dan torsi motor diatur melalui tegangan masukannya dengan pengaturan sudut penyalan SCR pada rangkaian penyearah terkontrol gelombang penuh.
- 3) Viskositas adonan dodol pada awalnya semakin lama semakin besar hingga mencapai nilai yang pada akhirnya cenderung konstan ketika waktu pemanasan melebihi 6 menit.
- 4) Daya masukan motor DC magnet permanen yang dibutuhkan untuk mengaduk adonan dodol adalah 3.6368 W dengan arus dan tegangan motor DC magnet permanen adalah 1.43 A dan 2.5432 V.
- 5) Berdasarkan hasil perhitungan dan pengukuran, adonan dodol yang dialami sistem pengaduk termasuk dalam kategori aliran fluida yang bersifat laminar, yang berpengaruh dalam perhitungan daya dan torsi pengadukan.

5.2 Saran

- 1) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang kondisi sudut penyalan $< 66.6^{\circ}$ yang menyebabkan rangkaian penyearah terkontrol gelombang penuh dengan beban motor DC berubah fungsi menjadi rangkaian terkontrol gelombang setengah penuh.
- 2) Untuk menghasilkan nilai viskositas yang lebih akurat dapat digunakan alat pengukur viskositas.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. Bahan Ajar Metode Numerik. Surabaya : ITS.
- Anonim. Fluida Non-Newtonian. http://id.wikipedia.org/wiki/Fluida_non-Newtonian. Diakses pada tanggal 11 Desember 2012.
- Anonim. Usaha Kecil dan Menengah. http://id.wikipedia.org/wiki/Usaha_Kecil_dan_Menengah. Diakses pada tanggal 11 Desember 2012.
- Berk, Zeki. 2009. *Food Process and Engineering Technology*. USA : Elsevier inc.
- Beshay,K.R., J. Kratena, I Fort & O. Bruha. 2001. *Power Input of High-Speed Rotary Impellers*. Acta polytechnica Vol 41 no.6/2001.
- Bhatt, A. M. *Phase Angle Control of SCR Using AT89C51*. http://www.electronicsforu.com/electronicsforu/circuitarchives/view_article.asp?sno=477&id=4691. Diakses pada tanggal 10 Desember 2012.
- Chapman, Stephen J. 2005. *Electric Machinery Fundamentals, Fourth Edition*. New York : McGraw-Hill.
- Chapra, Steven C. 2010. *Numerical Method For Engineering, Sixth Edition*. New York : McGraw-Hill.
- Dubey, Gopal. K. 1989. *Power Semiconductor Controlled Drives*. United States : Prentice Hall.
- Endarko,dkk.2008. Fisika Untuk Sekolah Menengah Kejuruan Teknologi Jilid 2. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Fitzgerald, A.E., Charles Kingsley Jr. & Stephen D. Umans. 2003. *Electric Machinery, Sixth Edition*. New York : McGraw-Hill.
- Fort, I., T. jirout, F. Rieger, R. Allner, R. Sperling. 2001. *Study of Blending Efficiency of Pitched Blade Impellers*. Acta polytechnica Vol 41 no.6/2001.
- Fort, I., T. jirout, R. Sperling, S. Jambere, F. Rieger. 2002. *Study of Pumping Capacity of Pitched Blade Impellers*. Acta polytechnica Vol 42 no.4/2002.
- Hasad, Andi. 2011. Materi Kuliah Elektronika Industri. Teknik Elektro : UNISMA Bekasi.
- Kusumah,F.C., R.R.A. Maheswari & Z. Wulandari. 2002. Standardisasi Suhu Pemanasan pada Proses Pengolahan Dodol Susu. Med Pet Vol. 25 No.3.
- Margolis, Michael. 2012. *Arduino Cookbook*. Sebastopol: O'Reilly.

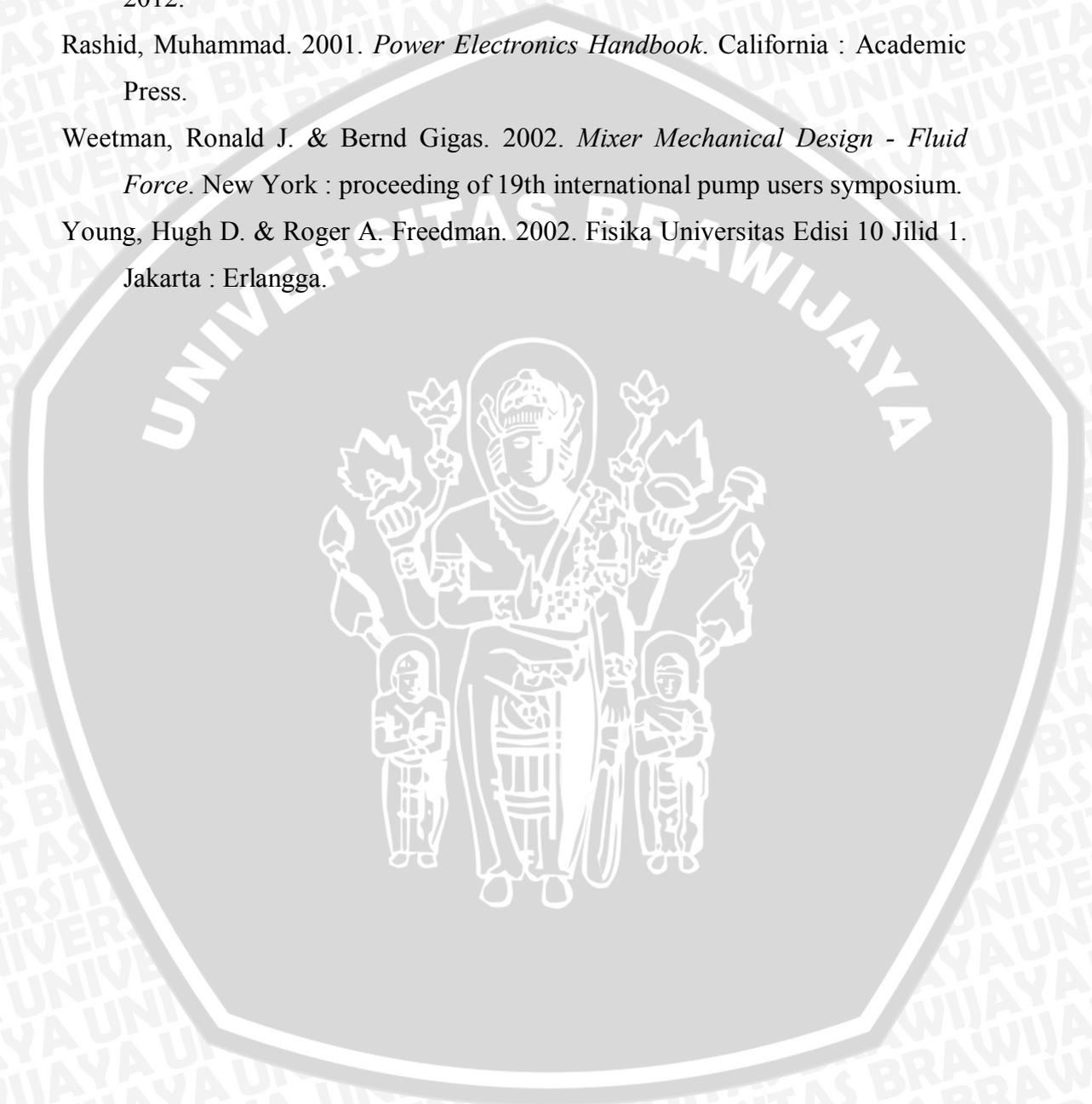
Mazda, Fraidoon. 1997. *Power Electronics Handbook 3rd Edition*. Oxford: Newnes.

Rizqiawan, Arwinda. Sekilas Rotary Encoder. <http://konversi.wordpress.com/2009/06/12/sekilas-rotary-encoder/>. Diakses pada tanggal 11 Desember 2012.

Rashid, Muhammad. 2001. *Power Electronics Handbook*. California : Academic Press.

Weetman, Ronald J. & Bernd Gigas. 2002. *Mixer Mechanical Design - Fluid Force*. New York : proceeding of 19th international pump users symposium.

Young, Hugh D. & Roger A. Freedman. 2002. *Fisika Universitas Edisi 10 Jilid 1*. Jakarta : Erlangga.



LAMPIRAN

- Listing Program

```

#include <LiquidCrystal.h>
volatile int nilai_pengukuran = 0;
volatile int nilai_pengukuran2 = 0;
float kecepatan;
int error,pin_scr,delta_pin_scr;
int set_point = 100;
int konstanta_waktu = 4;
int pin_scr_sebelumnya = 8500;
int pin7=7;
int pin4=4;
int pin5=5;
int pin6=6;
long previousMillis = 0;
long previousMillis2 = 0;
long interval = 1000;
long interval2 = 30000;
volatile byte zero_cross = LOW;
LiquidCrystal lcd(8, 9, 10, 11, 12, 13);

void setup ()
{
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin (16,2);
  pinMode (pin7,OUTPUT);
  pinMode (pin6,OUTPUT);
  attachInterrupt(0, zero_crossing, FALLING);
  attachInterrupt(1, rotary_encoder,FALLING);
}

void loop () {
  if (zero_cross == HIGH) {
    digitalWrite(pin7,LOW);
    digitalWrite(pin6,LOW);
    delayMicroseconds(pin_scr_sebelumnya);
    digitalWrite(pin7,HIGH);
    digitalWrite(pin6,HIGH);
    delayMicroseconds(100);
    digitalWrite(pin7,LOW);
    digitalWrite(pin6,LOW);
    zero_cross = LOW;
  }
  unsigned long currentMillis = millis();
  if(currentMillis - previousMillis > interval) {
    previousMillis = currentMillis;
    error = set_point - nilai_pengukuran;
    delta_pin_scr = konstanta_waktu * error;
    pin_scr = pin_scr_sebelumnya - delta_pin_scr;
    if (pin_scr < 3700) {
      pin_scr=3700;
    }

    if (pin_scr > 9000) {
      pin_scr= 9000;
    }
  }
}

```

```
pin_scr_sebelumnya = pin_scr;
nilai_pengukuran = 0;
}
if(currentMillis - previousMillis2 > interval2) {
    previousMillis2 = currentMillis;
    kecepatan = (float)nilai_pengukuran2*2/200;
    Serial.print("delay=");
    Serial.println(pin_scr_sebelumnya);
    Serial.print("kecepatan=");
    Serial.println(kecepatan);
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Kecepatan=");
    lcd.setCursor(10,0);
    lcd.print(kecepatan);
    nilai_pengukuran2=0;
}
}
void zero_crossing () {
    zero_cross = HIGH;
}

void rotary_encoder () {
    nilai_pengukuran = nilai_pengukuran + 1;
    nilai_pengukuran2 = nilai_pengukuran2 + 1;
}
```



- Rangkaian Keseluruhan Sistem

