



**PERANCANGAN ALAT PENGADUK ADONAN *BAKERY*
MENGUNAKAN MOTOR DC 1/2 HP
DENGAN KONTROLER PID**

SKRIPSI

**RENGGA ELGA NADHIRZA
NIM. 071910201085**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S1
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2012**



**PERANCANGAN ALAT PENGADUK ADONAN *BAKERY*
MENGUNAKAN MOTOR DC 1/2 HP
DENGAN KONTROLER PID**

SKRIPSI

**diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi syarat-syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik**

**RENGGA ELGA NADHIRZA
NIM. 071910201085**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S1
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2012**



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah sudah pasti atas ijin Allah SWT penelitian ini terselesaikan. Setelah mengenyam bangku pendidikan sekian tahun, akhirnya beberapa ilmu teraplikasikan pada penelitian ini. Penulis ingin mempersembahkan karya ini kepada : Ibunda tercinta Elis Faridayati, SE., ayahanda terhormat Hari Triyoga, adik-adikku Rizal Elga Rexsana dan Raras Elga Wardana yang aku banggakan. Terimakasih atas do'a, kesabaran, kasih sayang, ketulusan, pengorbanan, dan dukungan kalian.

Guru-guruku TK Al-Amien, SD-Alfurqon, SMPN 4 Jember, SMAN 4 Jember, dan dosen-dosen Teknik Elektro UNEJ. Sodara-sodaraku Teknik Elektro '07, karena perjuangan masa kuliah bersama kalian suatu kebanggaan yang dapat aku ceritakan kepada orang lain. Suatu momen pendewasaan dari hidup-ku untuk lebih mengerti arti kebersamaan, arti kekompakan, dan menghadapi hidup. I'll miss u all . . . Calon-calon entrepreneur di QueQ yang melengkapi kesibukanku semasa penelitian.

"For my girl friend Kusumaning Ayu Wulandari, you're my soul and my strength. I pray we're together eternally."



MOTTO

“Saya percaya selalu ada harapan yang lebih baik di depan sana. Asal kita tidak pernah berhenti untuk berusaha, bersyukur, dan dilandasi doa.”

(Rengga E. Nadhirza)

“Tugas kita bukanlah untuk berhasil. Tugas kita adalah untuk mencoba, karena didalam mencoba itulah kita menemukan dan belajar membangun kesempatan untuk berhasil.”

(Mario Teguh)

”Orang yang berilmu mengetahui orang yang bodoh karena dia pernah bodoh, sedangkan orang yang bodoh tidak mengetahui orang yang berilmu karena dia tidak pernah berilmu”.

(Plato)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rengga Elga Nadhirza

NIM : 071910201085

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis yang berjudul :
“Perancangan Alat Pengaduk Adonan Bakery Menggunakan Motor DC 1/2HP
Dengan Kontroler PID “ adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam
pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada
institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas
keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung
tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan
dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika di
kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 7 Februari 2012

Yang menyatakan,

Rengga Elga Nadhirza

NIM 071910201085



SKRIPSI

PERANCANGAN ALAT PENGADUK ADONAN BAKERY MENGUNAKAN MOTOR DC 1/2HP DENGAN KONTROLER PID

Oleh

Rengga Elga Nadhirza
NIM 071910201085

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr.Triwahju Hardianto, ST., MT.

Dosen Pembimbing Anggota : Dedi Kurnia Setiawan, ST., MT.



PENGESAHAN

Skripsi berjudul "*Perancangan Alat Pengaduk Adonan Bakery Menggunakan Motor DC 1/2HP Dengan Kontroler PID*" telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

Hari, tanggal : Selasa, 31 Januari 2012

Tempat : Laboratorium Jaringan Komputer Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji :

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Triwahju Hardianto, ST., MT.
NIP 197008261997021001

Dedi Kurnia Setiawan, ST., MT.
NIP 198006102005011003

Anggota I,

Anggota II,

Dr. Azmi Saleh, ST., MT.
NIP 197106141997021001

Ir. Widyono Hadi, MT.
NIP 196104141989021001

Mengesahkan,
Dekan,

Ir. Widyono Hadi, MT.
NIP. 196104141989021001



PRAKATA

Bismillaahirrohmaanirrohiim.

Syukur Alhamdulillah saya ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan kemudahan, kelancaran, dan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan penelitian yang berjudul: “*Perancangan Alat Pengaduk Adonan Bakery Menggunakan Motor DC 1/2HP Dengan Kontroler PID*” tanpa halangan berarti. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan kita nabi besar Muhammad SAW. Penelitian ini disusun guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi syarat-syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik.

Pada lembar ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah ikut serta membantu dalam proses pengerjaan penelitian ini hingga selesai, khususnya kepada:

1. Bapak Ir. Widyono Hadi, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Sumardi ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
3. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing I. Terimakasih pak atas semua bimbingan dan tuntunannya dalam menyusun penelitian ini maupun saat menjadi asisten.
4. Bapak Dedi, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penyusunan skripsi ini.
5. Dr Azmi Saleh, ST., MT selaku Dosen Penguji I, dan Bapak Ir. Widyono Hadi, ST., MT selaku Dosen Penguji II.
6. Ibunda Elis Faridayati, SE., ayahanda Hari Triyoga, adik-adikku Rizal Elga Rexana dan Raras Elga Wardana yang aku banggakan. Terimakasih atas kasih sayang, kesabaran, do'a, ketulusan, pengorbanan, dan dukungan kalian.
7. Sodara-sodara Teknik Elektro 2007, perjuangan masa kuliah bersama kalian suatu kebanggaan yang dapat saya ceritakan kepada orang lain. Suatu momen



pendewasaan dari hidup-ku untuk lebih mengerti arti kebersamaan, arti kekompakan, dan menghadapi hidup.

8. Kusumaning Ayu Wulandari yang telah menyuntikkan semangat dalam menghadapi kehidupan ini. Berkat semangat yang berkobar ini, saya mantap menatap masa depan yang lebih berarti.
9. Yoga '09 dan Redo '07 terimakasih telah menjadi *partner* dalam mengerjakan penelitian ini.
10. Semua pihak yang turut membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro, kritik dan saran diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan skripsi ini dan diharapkan dapat dikembangkan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Jember, 7 Februari 2012

Penulis



Perancangan Alat Pengaduk Adonan *Bakery* Menggunakan Motor DC ½ HP dengan Kontroler PID

Rengga Elga Nadhirza

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Adonan *bakery* merupakan adonan berbentuk kalis, sehingga dalam pengolahannya membutuhkan nilai gaya dan torsi yang cukup besar. Penelitian ini merupakan perancangan alat pengaduk adonan *bakery* yang dapat bekerja secara otomatis meningkatkan level kecepatan putar motor DC dan dapat berhenti sendiri. Kecepatan pertama pada poros pengaduk sebesar 130rpm dan kecepatan kedua sebesar 160rpm. Untuk itu perlu menggunakan mikrokontroler, kemudian didalamnya ditanamkan program dengan metode PID yang dapat menghasilkan nilai PWM (*Pulse Width Modulation*). Parameter dengan $K_p=6.8$, $K_i=0.2$, dan $K_d=0.1$ menghasilkan respon kontroler PID yang paling baik. Nilai PWM dapat berubah-ubah secara otomatis bergantung dari nilai umpan balik yang diberikan oleh sensor kecepatan, sehingga kecepatan putar motor dapat dijaga konstan. Untuk mengolah adonan satu kilo hingga kalis membutuhkan waktu 11menit dan untuk adonan dua kilo membutuhkan waktu 13menit.

Kata kunci: adonan *bakery*, motor DC, kontroler PID.



Bakery Dough Mixer Design Using a DC Machine ½ HP with PID Controller

Rengga Elga Nadhirza

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRACT

Bakery dough is shaped dough dull, so that the processing requires force and torque values are quite large. This research is a bakery dough mixer design that can work automatically increase the level of the DC machine rotational speed and can stop himself. The first on the shaft trirrer speed of 130rpm and a second speed of 160rpm. For that we need to use a microcontroller, then implanted inside the program with PID controler wich can generate the PWM (Pulse Width Modulation). Parameters with $K_p=6.8$, $K_i=0.2$, and $K_d=0.1$ PID control response produces the most good. The value of PWM can change automatically depending on the value of the feedback given by the speed sensor, so that the motor rotation speed can be maintained constant. To process the dough up to one kilo of dull takes 11 minutes and for two kilo's of dough takes 13minutes.

Key word: bakery dough, DC machine, PID controler.



RINGKASAN

Perancangan Alat Pengaduk Adonan Bakery Menggunakan Motor DC ½ HP Dengan Kontroler PID: Rengga Elga Nadhirza: 071910201085: 2012: Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Karakteristik motor DC *shunt* memiliki karakteristik kecepatan yang konstan, sesuai dengan kebutuhan alat yaitu menjaga kecepatan putar. Bila putaran tidak stabil maka hasil olahan adonan akan kurang maksimal. Apabila kecepatan terlalu cepat berakibat adonan akan keluar dari *bowl* dan apabila kecepatan terlalu pelan maka hasil pengolahan akan lebih lama. Bahkan bila hal tersebut dibiarkan terus menerus dapat menyebabkan kerusakan pada motor DC. Pemilihan pengontrolan putaran dengan motor DC akan menggambarkan pengaturan putaran dengan menaik dan menurunkan tegangan motor DC (dalam hal ini memakai *Pulse Width Modulation*). Dalam mengatur putaran diperlukan kecerdasan buatan yang mudah, handal dan biaya penyelesaian murah. Pada skripsi ini digunakan control PID dimana mencakup hal diatas. Kontroler PID dapat mengeksploitasi adanya toleransi ketidaktepatan.

Penelitian tentang “Perancangan Alat Pengaduk Adonan Bakery Menggunakan Motor DC ½ HP Dengan Kontroler PID” dilakukan di Laboratorium Komputer dan Laboratorium Konversi Energi Listrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember pada bulan Agustus 2011-Januari 2012. Pengaturan kecepatan Motor DC menggunakan beberapa rangkaian antara lain : rangkaian mikrokontroler *ATmega16*, rangkaian driver motor, rangkaian sensor kecepatan, rangkaian *f to v* dan rangkaian penyearah. Komponen swiching berdaya besar menggunakan mosfet IRFP250 disusun paralel agar memenuhi rating dari motor DC ½ HP.

Sebelum alat kontrol dicoba, dilakukan beberapa pengujian antara lain : Pengujian ADC, Pengujian tacho, pengujian PWM dan pengujian program PID. Dari pengujian yang dilakukan, peralatan berjalan baik dimana pembacaan kecepatan dapat dibaca dengan baik oleh ADC mikrokontroler. Pengujian PWM dapat menaik



dan menurunkan kecepatan. Program PID dalam mikrokontroler dapat mengkondisikan keluaran PWM sehingga kecepatan motor dapat dijaga konstan.

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain. Alat ini dapat beroperasi dengan batas beban berat maksimum sebesar 2kg selama 13menit. Dalam pengujian PID pada kondisi nilai $K_p=6.8$, $K_i=0.2$, $K_d=0.1$ merupakan kondisi yang stabil untuk motor pada alat pengaduk adonan *bakery* ini. Kontrol dapat berjalan dengan baik, hal ini dibuktikan dengan adanya eror persen kecepatan terhadap referensi yang kecil yaitu antara 0%-7,96%.



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
PENGESAHAN	vi
PRAKATA	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan.....	3
1.5. Manfaat.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Motor DC.....	5
2.1.1. Sistim Kerja dari Motor DC	7
2.1.2. Hubungan Rangkaian Motor DC	9
2.1.2.1. Motor DC Magnet Permanen.....	9
2.1.2.2. Motor DC Penguatan Terpisah (<i>Separately Excited</i>)	10
2.1.2.3. Motor DC Hubungan Paralel (<i>Shunt</i>)	10
2.1.2.4. Motor DC Hubungan Seri.....	12
2.1.2.5. Motor DC Hubungan Campuran (<i>Compound</i>)	14
2.1.3. Pengendalian Kecepatan Motor	16



2.2. Kontroler PID.....	17
2.2.1. Aksi Kontrol Proportional	18
2.2.2. Aksi Kontrol Integral	19
2.2.3. Aksi Kontrol Diferensial	19
2.2.4. Aksi Kontrol Proportional+Integral+Diferensial.....	20
2.2.5. Penentuan Parameter K_p , T_i , dan T_d	22
2.3. Interfacing.....	26
2.4. Mikrokontroler <i>ATmega16</i>	28
2.5. <i>Metal Oxide Semiconductor FET</i> (MOSFET).....	30
2.6. Sensor Kecepatan Putar (<i>Opto coupler</i>).....	31
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	33
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	33
3.2. Alat dan Bahan.....	33
3.3. Metode Kegiatan	34
3.4. Studi Literatur	35
3.5. Pengambilan Data Motor DC ½ HP	36
3.6. Desain Konstruksi Alat.....	38
3.6.1. Menggambarkan Model Alat Pengaduk Adonan <i>Bakery</i>	38
3.6.2. Menggambarkan Skematik/ <i>Layout</i> Rangkaian.....	41
3.6.3. Mendesain Program pada <i>Soft Ware Code Vision</i>	45
3.7. Uji Coba Alat dengan Kontroler PID.....	50
3.8. Pengolahan Hasil dan Data.....	50
3.9. Penyusunan Laporan	50
3.10. Bagan Sistem Kerja Alat	51



BAB 4. HASIL DAN ANALISA DATA	53
4.1. Pengambilan Data Motor DC ½ HP.....	53
4.2. Perangkat dan Pengujian	59
4.2.1. Pengujian Analog Digital Converter (ADC)	59
4.2.2. Pengujian Sensor (Encoder)	61
4.2.3. Pengujian PWM.....	63
4.2.4. Pengujian Respon Kontrol dan Analisa.....	66
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	83
5.1. Kesimpulan	83
5.2. Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA.....	xxi
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Aturan penyepadanan Zieger-Nichols didasarkan pada respon tangga sistem (metode pertama)	24
Tabel 2.2 Aturan penyepadanan Zieger-Nichols didasarkan pada respon tangga sistem (metode kedua)	25
Tabel 2.3 Keterangan nama dan fungsi tiap pin pada LCD	27
Tabel 2.4 Keterangan nama dan fungsi tiap pin pada mikrokontroler ATMEGA 16	29
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan	33
Tabel 4.1 Tegangan dan arus masukan motor	55
Tabel 4.2 Data pengujian ADC	60
Tabel 4.3 Data pengujian sensor frekuensi hingga menjadi nilai decimal.....	62
Tabel 4.4 Data kecepatan motor yang diatur PWM	66
Tabel 4.5 Pengujian Motor menggunakan PID	67
Tabel 4.6 Data pengujian beban pertama seberat 1kg dengan kontroler PID	70
Tabel 4.7 Lanjutan tabel 4.6(1kg dengan kontroler PID)	72
Tabel 4.8 Data pengujian beban pertama seberat 2kg tanpa kontroler PID.....	74
Tabel 4.9 Data pengujian beban pertama seberat 2kg dengan kontroler PID	75
Tabel 4.10 Lanjutan tabel 4.9(2kg dengan kontroler PID)	77
Tabel 4.11 Perbandingan gaya dan torsi pada beban 1kg, 2kg, dan 3kg	78
Tabel 4.12 Data pengujian tahap kedua tanpa kontroler PID	79
Tabel 4.13 Data pengujian tahap kedua dengan kontroler PID.....	80



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Bagian-bagian mesin <i>Direct Current</i> (DC).....	6
Gambar 2.2 Kaedah tangan kanan	7
Gambar 2.3 Diagram rangkaian motor DC penguatan terpisah	10
Gambar 2.4 Diagram rangkaian motor DC hubungan parallel	11
Gambar 2.5 Karakteristik kecepatan dan torsi motor DC <i>shunt</i>	11
Gambar 2.6 Diagram rangkaian motor DC hubungan seri	13
Gambar 2.7 Karakteristik kecepatan dan torsi motor DC seri	14
Gambar 2.8 Diagram rangkaian motor DC hubungan campuran.....	15
Gambar 2.9 Karakteristik kecepatan dan torsi motor DC kompon	15
Gambar 2.10 Gambar gelombang saat transien hingga <i>steady state</i>	21
Gambar 2.11 Diagram PID suatu system.....	22
Gambar 2.12 Kurva respons tangga satuan yang memperlihatkan 25% lonjakan maksimum	23
Gambar 2.13 Respons tangga satuan sebuah system.....	23
Gambar 2.14 Kurva respons berbentuk-S	24
Gambar 2.15 Sistem loop tertutup dengan alat <i>control proporsional</i>	25
Gambar 2.16 Osilasi berkesinambungan dari periode P_{cr}	25
Gambar 2.17 Konfigurasi LCD	26
Gambar 2.18 Konfigurasi pin ATMEGA16.....	29



Gambar 2.19 Simbol MOSFET	31
Gambar 2.20 Bentuk fisik MOSFET	31
Gambar 2.21 Posisi mekanis <i>opto coupler</i>	32
Gambar 2.22 Rangkaian sensor kecepatan.....	32
Gambar 3.1 Alur tahapan melakukan penelitian	34
Gambar 3.2 Diagram alir tahap penelitian	35
Gambar 3.3 Desain alat tampak samping.....	39
Gambar 3.4 Desain alat tampak atas.....	40
Gambar 3.5 Pemasangan <i>pulley1</i> dan <i>pulley2</i> tampak samping.....	40
Gambar 3.6 Rangkaian sistim minimu dengan mikrokontroler ATmega16	41
Gambar 3.7 Rangkaian driver motor	42
Gambar 3.8 Rangkaian sensor.....	43
Gambar 3.9 Rangkaian f to v.....	44
Gambar 3.10 Rangkaian LCD	44
Gambar 3.11 Diagram alir sistem.....	45
Gambar 3.12 Tampilan <i>Code Vision</i> pada <i>Wizard</i> saat Mengatur <i>Chip</i> dan <i>Clock</i>	46
Gambar 3.13 Tampilan <i>Code Vision</i> pada <i>Wizard</i> saat Mengatur <i>port</i> dan <i>Timers</i>	46
Gambar 3.14 Tampilan <i>Code Vision</i> pada <i>Wizard</i> saat Mengatur ADC	47
Gambar 3.15 Tampilan <i>Code Vision</i> pada <i>Wizard</i> saat Mengatur USART.....	47
Gambar 3.16 Tampilan <i>Code Vision</i> pada <i>Wizard</i> saat Mengatur <i>Chip</i> dan <i>Clock</i>	48
Gambar 3.17 Tampilan <i>Code Vision</i> yang telah diatur penyetingannya	48



Gambar 3.18 Susunan pin dan gambar downloader USBK-125i creative vision to mikrokontroler	49
Gambar 3.19 Tampilan <i>Code Vision</i> pada <i>Wizard</i> saat Mengatur <i>Programer setting</i>	49
Gambar 3.20 Tampilan <i>Code Vision</i> pada <i>Wizard</i> saat Mengatur <i>Project- Configure</i>	50
Gambar 3.21 Tampilan <i>Code Vision</i> pada <i>Wizard</i> saat akan melakukan <i>uploading</i>	50
Gambar 3.22 Bagan sistem kerja alat	51
Gambar 4.1 Datasheet motor DC ½ HP.....	53
Gambar 4.2 Rugi-rugi tembaga dan gesek pada motor.....	54
Gambar 4.3 Data pengujian tegangan terhadap arus	56
Gambar 4.4 Pulley	58
Gambar 4.5 Pemasangan pulley1 dan pulley2 tampak samping	58
Gambar 4.6 Grafik perbandingan antara tegangan(volt)-ADC(decimal) praktek.....	61
Gambar 4.7 Grafik perbandingan antara putaran(rpm) dengan ADC(decimal).....	62
Gambar 4.8 PWM50 duty cycle 4,9%	63
Gambar 4.9 PWM100 duty cycle 9,8%	64
Gambar 4.10 PWM300 duty cycle 29,3%	64
Gambar 4.11 PWM500 duty cycle 48,9%	64
Gambar 4.12 PWM700 duty cycle 68,4%	64
Gambar 4.13 PWm800 duty cycle 78,2%	65
Gambar 4.14 PWM1000 duty cycle 97,7%.....	65
Gambar 4.15 PWM1023 duty cycle 100%.....	65



Gambar 4.16 Grafik perbandingan antara PWM(desimal) dengan putaran
n1(rpm) 66

Gambar 4.17 Desain kontroler PID Untuk Mengatur Kecepatan Motor 67

Gambar 4.18 Gambar grafik perbandingan PWM terhadap tegangan beban 2kg..... 71

Gambar 4.19 Grafik percobaan I perbandingan PWM terhadap tegangan 76

Gambar 4.20 Grafik percobaan II perbandingan PWM terhadap tegangan..... 81

Gambar 4.21 Grafik perbandingan waktu terhadap arus 82



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring bertambahnya populasi manusia di setiap penjuru dunia, maka secara otomatis dalam memenuhi kebutuhan hidupnya meningkat pula kebutuhan primer, sekunder, dan tersiernya. Salah satunya ialah kebutuhan akan konsumsi, sehingga saat ini banyak bermunculan produsen-produsen kecil menengah maupun produsen besar yang bergerak di bidang produksi makanan dan minuman. Hal ini dapat kita buktikan dengan melihat iklan di televisi saat ini, kurang lebih 50% mempromosikan tentang produk makanan ataupun minuman.

Salah satu produk iklan tersebut adalah *bakery*. Adapun alasan mengapa produk ini yang menjadi sorotan, karena dalam proses pembuatan *bakery*(roti, kue donat, dan bolen) ternyata membutuhkan suatu proses pengolahan adonan yang membutuhkan tenaga cukup besar. Cara konvensionalnya ialah dengan mengaduk serta membanting adonan menggunakan tangan hingga adonan berbentuk kalis (pengertian kalis disini jikalau adonan tidak lengket ditangan dan tidak mudah robek saat dibentangkan hingga membentuk lapisan yang halus dan tipis). Proses ini membutuhkan waktu kira-kira 30 menit untuk kapasitas 1 kilogram adonan(tergantung kekuatan dalam mengaduknya).

Demi memenuhi kebutuhan konsumen yang terus meningkat, para produsen *bakery* kecil menengah harus meningkatkan kapasitas produksinya. Beberapa caranya ialah dengan menambah tenaga kerja atau membeli alat-alat pembuat *bakery*(pengaduk adonan dan oven ukuran besar). Namun, dari kedua cara itu para produsen cenderung memilih membeli alat-alat pembuat *bakery*. Meskipun harus mengeluarkan modal awal yang cukup besar, namun waktu yang dibutuhkan untuk membuat *bakery* menjadi lebih singkat dan lebih menguntungkan jika dihitung dalam waktu jangka panjang karena para produsen tidak perlu membayar tenaga kerja yang banyak.



Alat pengaduk adonan *bakery* dinamakan juga *bowl*. Alat ini memiliki tuas yang fungsinya sebagai pengaduk adonan *bakery*. Untuk menggerakkannya, tuas memerlukan gaya mekanik yang berasal dari motor. Tuas pengaduk dan motor didisain sedemikian rupa sehingga tercipta suatu alat pengganti tenaga manusia dalam mengaduk adonan *bakery*.

Berbagai macam jenis motor yang digunakan pada bowl. Permasalahannya kebanyakan bowl yang ada di di pasaran menggunakan motor dengan catu daya AC yang hanya dapat diatur kecepatan putarnya, itupun masih menggunakan cara manual(dengan memutar potensio). Hal ini dikarenakan memang motor AC membutuhkan sistem kontrol yang rumit.

Penting dalam menjaga kecepatan putar tuas pengaduk *bakery* untuk tetap konstan, sebab akan berpengaruh terhadap hasil produksi *bakery* agar menghasilkan adonan yang baik.

Maka dari itu dipilih penggunaan motor DC sebagai alat penggerak alat ini. Beberapa alasan mengapa pada penelitian ini menggunakan motor DC, karena dalam sistim pengontrolanya lebih mudah sehingga dalam mengatur putaran motornya memerlukan kecerdasan buatan yang mudah, handal, dan biaya penyelesaian yang murah. Pada penelitian ini sistim pengontrolan alat menggunakan metode PID(Proporsional Integral dan Diferensial). Dengan menggabungkan P(Proporsional), I(Integral), dan D(Diferensial) diharapkan memperoleh suatu sistem control yang lebih stabil sehingga sensitivitas atau kecepatan responnya akan menjadi lebih besar.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan memperhatikan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara mendesain dan membuat alat pengaduk *bakery* yang beroperasi secara otomatis.
2. Pembuatan *hardware* dan *software* untuk rangkaian kontrol kecepatan dan waktu dengan menggunakan metode PID.



1.3 Batasan Masalah

Untuk memperjelas arah dari pembahasan penelitian ini, maka diberikan batasan masalah yang meliputi:

1. Hanya melakukan survei kecepatan putar yang dibutuhkan untuk menggerakkan adonan *bakery* dengan salah satu produsen *bakery* yaitu 160rpm.
2. Pengaturan putaran motor DC menggunakan metode PID dengan kontrol timer dan pengaturan PWM(*pulse width modulation*) pada mikrokontroler *ATmega16* dalam program bahasa C.
3. Motor DC(*Direct Current*) yang digunakan memiliki *name plate* tegangan input 48Vdc, kecepatan putar 1400rpm, dan daya 300Watt.

1.4 Tujuan

Beberapa tujuan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Menciptakan alat pengaduk *bakery* yang bekerja secara otomatis.
2. Melengkapi alat pengaduk *bakery* dengan kontrol kecepatan dan waktu, dalam penelitian ini menggunakan metode PID.
3. Menganalisis kesesuaian daya motor dengan daya mekanik yang dibutuhkan untuk menggerakkan sejumlah adonan.
4. Menganalisis kecepatan dan torsi motor DC yang terkopel dengan tuas pengaduk *bakery* dengan beban adonan.
5. Mengaplikasikan metode PID dalam pengontrolan kecepatan dan waktu pada motor DC berdaya besar menggunakan rangkaian elektronika daya.



1.5 Manfaat

Beberapa manfaat dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Diharapkan dapat memberikan solusi bagi produsen *bakery* agar menghasilkan jumlah produksi yang meningkat dan menjaga kualitas *bakery*.
2. Diharapkan dapat mengatur kecepatan putar motor dengan menggunakan metode PID sesuai dengan yang diinginkan.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor DC

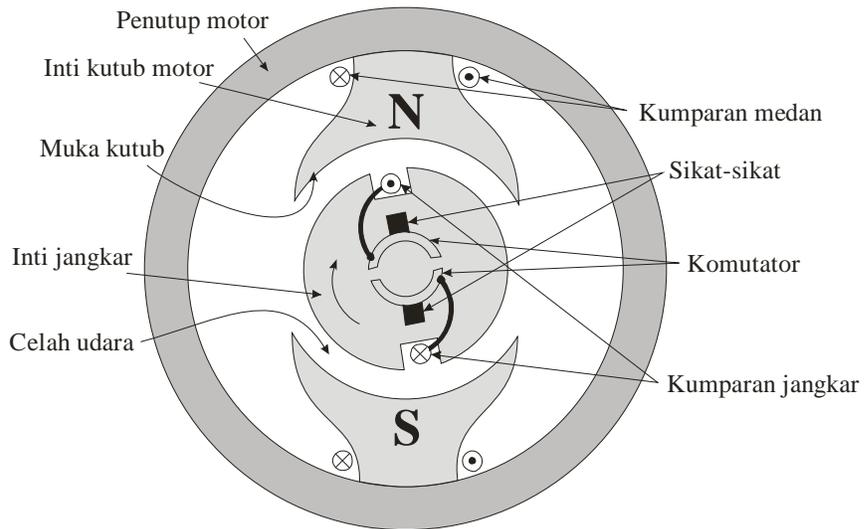
Motor *Direct Current* (DC) merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dimana desain awal terciptanya alat ini diperkenalkan oleh Michael Faraday. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalaan *torque* yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

Konstruksi dari motor DC ditunjukkan oleh gambar 2.1 dengan penjelasan tiap bagiannya sebagai berikut (Sumber: Lister, 1993):

1. Gandar medan atau penutup motor DC terbuat dari baja-cor (*cast steel*) atau baja canai (*rolled steel*) yang berfungsi sebagai penopang mekanis untuk inti kutub dan juga sebagai bagian dari rangkaian magnet.
2. Inti kutub motor terbuat dari laminasi pelat-baja (*sheet-steel*) yang terisolasi satu sama lain dan dilekatkan bersama-sama, kemudian inti dibaut pada gandar medan.
3. Muka kutub yaitu permukaan inti yang berdekatan dengan celah udara, permukaannya dibuat lebih besar dari badan inti. Hal ini untuk mengurangi tahanan magnetik dari celah udara dan berfungsi sebagai penopang kumparan medan.
4. Inti jangkar atau disebut dengan rotor terbuat dari laminasi pelat-baja yang diletakkan pada poros. Permukaan luar inti diberi alur sebagai penopang kumparan jangkar.
5. Celah udara adalah ruang antara permukaan jangkar dan muka kutub dan panjangnya berbeda-beda menurut ukuran mesin biasanya berkisar sekitar $\frac{1}{16}$ sampai $\frac{1}{4}$ inchi.
6. Komutator terdiri dari sejumlah segmen tembaga yang dirakit ke dalam silinder yang dipasang pada bagian atas jangkar. Segmen-segmen terisolasi dengan baik antara satu dengan lainnya. Mika merupakan bahan isolasi yang biasa digunakan

untuk mengisolasi antar segmen. Pada segmen-segmen komutator inilah disolderkan ujung-ujung kumparan jangkar.

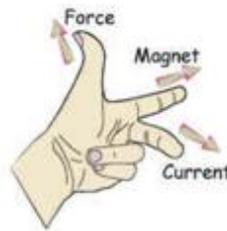
7. Sikat-sikat yang berada pada permukaan komutator membentuk hubungan listrik-geser antara kumparan jangkar dan rangkaian luar. Sikat-sikat dibuat dari karbon dengan tingkat kekerasan yang bermacam-macam dan dalam beberapa hal dibuat dari campuran karbon dan logam tembaga. Sikat-sikat dipegang pada tempatnya di bawah tekanan pegas oleh pemegang sikat. Hubungan listrik antara sikat-sikat dan pemegang sikat dilakukan oleh konduktor tembaga yang fleksibel yang disebut ekor babi (*pigtail*).
8. Kumparan medan dililitkan pada inti kutub. Kumparan pada setiap kutub dihubungkan secara seri untuk membentuk rangkaian medan. Rangkaian medan dapat dirancang untuk dihubungkan seri ataupun parallel dengan kumparan jangkar. Kumparan medan-paralel atau kumparan medan-shunt mempunyai jumlah lilitan kawat berdiameter kecil yang banyak dan tahanannya relative tinggi, sedangkan kumparan medan-seri jumlah lilitannya sedikit, berdiameter besar dan tahanannya relative rendah.



Gambar 2.1 Bagian-bagian mesin *Direct Current* (DC)

2.1.1 Sistim Kerja dari Motor DC

Dengan melihat gambar 2.1 pada mulanya salah satu armatur motor DC mendapatkan aliran listrik melalui sikat karbon/komutator. Setiap konduktor (pada kasus ini adalah kumparan jangkar dan medan) yang mengalirkan arus mempunyai medan magnet di sekelilingnya. Arahnya dapat ditentukan dengan kaedah tangan kanan pada gambar 2.2. Kuat medannya tergantung pada besarnya arus yang mengalir dalam konduktor. Medan magnet inilah yang akan memberikan gaya. Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/*loop*, maka kedua sisi *loop*, yaitu pada sudut kanan medan magnet akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/*torque* untuk memutar kumparan. Motor-motor memiliki beberapa *loop* pada dinamanya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.



Gambar 2.2 Kaedah tangan kanan

Pada prinsipnya, jika sebuah penghantar dilalui arus listrik, ia akan menghasilkan medan magnet disekelilingnya. Kemudian bilamana penghantar ini ditempatkan dalam induksi magnetik (B), akan memperoleh gaya (F). Besarnya gaya yang ditimbulkan sebanding dengan arus listrik dan panjang penghantar (l) yang memotong induksi magnetik B . atau biasa dinyatakan dengan persamaan induksi magnetik:

$$F = B.I.l \cdot \alpha \dots\dots\dots(2-1)$$

Keterangan:

F = Gaya Lorentz (newton)

B = Kecepatan flux magnet (weber/m²)



I = Arus listrik (ampere)

L = Panjang sisi kumparan rotor (meter)

α = Sudut antara arah induksi magnet dan arus

Apabila jumlah garis gaya yang melalui kumparan diubah, maka ggl diinduksikan dalam kumparan itu. Besarnya ggl yang diinduksikan berbanding lurus dengan laju perubahan jumlah garis gaya yang melalui kumparan. Ini dikenal dengan Hukum Induksi Faraday (Sumber: Lister, 1993).

Hubungan antara kecepatan, flux medan dan tegangan motor DC ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$E = K\Phi n \dots\dots\dots(2-2)$$

$$T = K\Phi I_a \dots\dots\dots(2-3)$$

Keterangan:

E = gaya elektromagnetik yang dikembangkan pada terminal dinamo (volt)

Φ = flux medan yang berbanding lurus dengan arus medan

n = kecepatan dalam *rotation per minute* (rpm)

T = *torque* elektromagnetik

I_a = arus dinamo

K = konstanta persamaan

Hubungan daya dalam motor adalah sebagai berikut:

$$V_t I_a = E I_a + I_a^2 R_a \dots\dots\dots(2-4)$$

Keterangan:

V_tI_a = daya yang diberikan pada jangkar motor.

I_a²R_a = rugi-rugi motor

E I_a = daya yang dihasilkan oleh jangkar

Konversi daya dalam horse power adalah sebagai berikut:

$$1hp = 756watt = 75kg.m/s$$

Torsi dalam hitungan aplikatif menurut jari-jari poros rotor maka:

$$F = \frac{P}{n} \dots\dots\dots(2-5)$$



$$T = F \cdot r_{(poros)} \dots\dots\dots(2-6)$$

Keterangan:

P = Daya motor

F = Gaya motor

r = Jari-jari rotor

Sedangkan secara mekanika pada adonan:

$$F = \rho \cdot v \dots\dots\dots(2-7)$$

$$T = F \cdot r_{(pengaduk)} \dots\dots\dots(2-8)$$

Dimana masa jenis dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots(2-9)$$

Keterangan:

ρ =masa jenis adonan (gr/ml)

m=masa adonan (gr)

v=volume adonan (ml)

2.1.2 Hubungan Rangkaian Motor DC

Keuntungan yang menonjol dari mesin DC adalah adanya karakteristik kerja yang sangat beraneka ragam yang dapat diperoleh dari pemilihan metode penyambungan lilitan jangkar dan medannya.

2.1.2.1 Motor DC Magnet Permanen

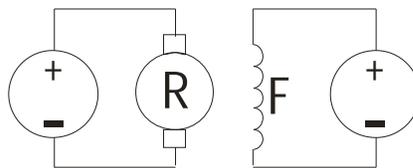
Sebagai pengganti elektromagnet digunakan magnet permanen untuk menyediakan fluksi medan magnet dalam motor magnet-permanen. Rakitan jangkar dan komutator motor ini serupa dengan motor medan-lilitan. Oleh karena daya listrik tidak diperlukan untuk mencatu medan dalam motor magnet-permanen, maka kerugian tembaga medan yang ada terhilangkan. Yang lebih penting lagi yaitu untuk

kemampuan daya yang sama, ukuran dan berat motor magnet-permanen berkurang banyak dibandingkan dengan motor medan-lilitan. Masih diharapkan pengembangan magnet dengan kelakuan yang lebih baik agar ukuran dan berat motor dapat dikurangi lagi. Motor magnet-permanen kerap kali digunakan dalam ukuran yang kecil, biasanya berukuran sepersekian daya-kuda.

Motor magnet-permanen mempunyai karakteristik kopel start yang tinggi, kopel yang relatif tinggi pada kecepatan rendah, dan efisiensi yang tinggi. Penggunaan umumnya adalah pada penggerak pencetak, sistem posisi yang presisi, dan sebagai motor pemutar penggulung pita.

2.1.2.2 Motor DC Penguatan Terpisah (*Separately Excited*)

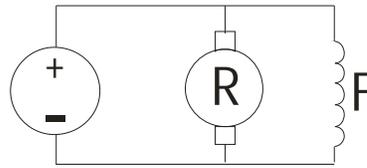
Jika arus medan dipasok dari sumber terpisah maka disebut motor DC sumber daya terpisah/*separately excited*. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3, terdapat dua buah sumber yang memiliki fungsi yang berbeda. Sumber pertama mensuplai lilitan jangkar dan sumber kedua mensuplai lilitan medan sehingga suplai tegangan rotor dapat diubah-ubah nilai tegangannya tanpa merubah nilai tegangan pada sisi medannya.



Gambar 2.3 Diagram rangkaian motor DC penguatan terpisah

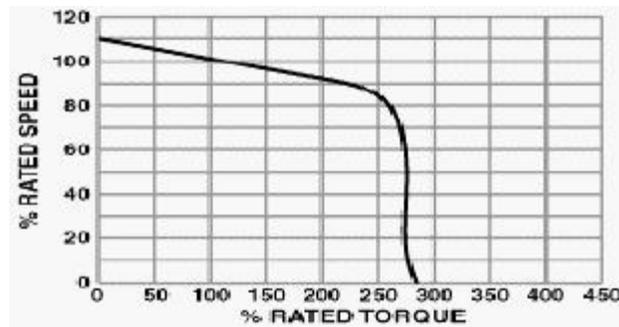
2.1.2.3 Motor DC Hubungan Paralel (*Shunt*)

Ini adalah tipe motor DC yang paling umum. Cara hubungannya yaitu medan *shunt* dihubungkan langsung pada terminal sehingga paralel dengan rangkaian jangkar seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram rangkaian motor DC hubungan paralel.

Karakteristik motor DC *shunt* dapat dilihat pada gambar grafik 2.5, pada gambar menunjukkan bahwa motor DC *shunt* memiliki rata-rata nilai kecepatan yang cukup tinggi namun tidak dalam nilai torsi(jika dibandingkan dengan motor DC seri).



Gambar 2.5 Karakteristik kecepatan dan torsi motor DC *shunt*

Motor *shunt* mempunyai pengaturan kecepatan yang baik dan digolongkan sebagai motor kecepatan konstan walaupun kecepatannya agak berkurang sedikit dengan bertambahnya beban.

Jika beban ditambahkan pada motor *shunt*, kecepatan motor langsung cenderung menjadi lambat. Ggl-lawan langsung berkurang karena ia bergantung pada kecepatan, dan praktis fluksi medan adalah konstan. Berkurangnya ggl lawan memungkinkan arus jangkar bertambah, sehingga memberikan kopel yang lebih besar untuk beban yang bertambah. Bertambahnya arus jangkar menyebabkan penurunan $I_a R_a$ lebih besar yang berarti ggl-lawan tidak kembali pada harga semula tetapi tetap pada harga yang lebih rendah. Hal ini dapat dibuktikan dengan persamaan motor fundamental:



$$V_t = E + I_a R_a \dots \dots \dots (2-10)$$

Keterangan:

V_t = Tegangan terminal motor (volt)

E = ggl-lawan

I_a = arus jangkar

R_a = tahanan jangkar

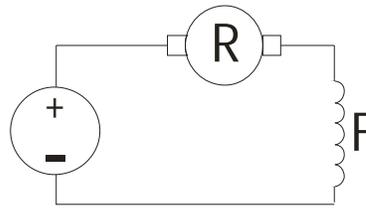
Karena V_t konstan, jumlah dari ggl lawan dan penurunan $I_a R_a$ harus tetap konstan. Jika $I_a R_a$ menjadi lebih besar akibat bertambahnya beban, E harus berkurang, sehingga menyebabkan berkurangnya kecepatan. Harus diperhatikan bahwa rangkaian medan *shunt* motor yang sedang berjalan tanpa-beban sama sekali tidak boleh dibuka. Hilangnya fluksi medan menyebabkan kecepatan motor naik hingga ke suatu harga tinggi yang membahayakan.

Kecepatan motor *shunt* dapat juga diubah dengan mengubah tahanan yang dapat diatur dalam rangkaian jangkar, tetapi metode ini kurang efisien dibandingkan dengan pengendalian medan *shunt*. Metode ini juga tidak disukai karena motor akan mempunyai pengaturan kecepatan yang sangat buruk.

Oleh karena kecepatan motor *shunt* dapat mempunyai harga harga tetap antara harga maksimum dan minimum, maka motor *shunt* kerap kali digunakan untuk menggerakkan beban seperti misalnya peralatan mesin. Operator dapat memilih kecepatan motor dalam daerah kerja motor dengan menyetel tahanan geser medan. Tetapi pada setiap titik yang disetel, kecepatan motor praktis konstan untuk semua beban.

2.1.2.4 Motor DC Hubungan Seri

Pada motor seri, medan dihubungkan secara seri dengan jangkar (gambar 2.6). Oleh karena medan seri harus mengalirkan seluruh arus jangkar, maka lilitannya sedikit dan kawatnya relatif besar. Setiap perubahan beban yang menyebabkan perubahan arus jangkar dan juga perubahan fluksi medan. Oleh sebab itu, ketika beban berubah, kecepatan juga berubah.

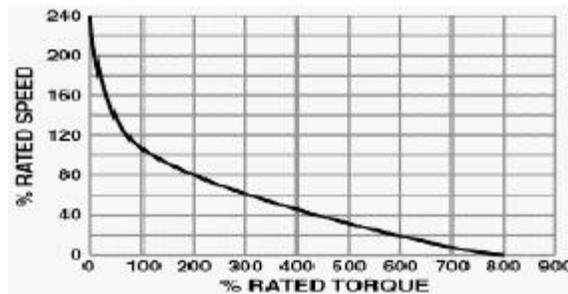


Gambar 2.6 Diagram rangkaian motor DC hubungan seri.

Telah dikemukakan bahwa kecepatan motor *shunt* berbanding terbalik dengan fluksi medan. Hal ini juga berlaku pada motor seri. Penurunan IR rangkaian jangkar juga berubah dengan beban, tetapi pengaruhnya sangat kecil dibandingkan dengan pengaruh fluksi medan. Oleh sebab itu, kecepatan motor seri hampir seluruhnya bergantung pada fluksi; makin kuat fluksi medan, makin rendah kecepatannya. Sama halnya berkurangnya arus beban dan akibatnya juga berkurangnya arus medan dan fluksi medan menyebabkan bertambahnya kecepatan. Maka dari itu kecepatan dapat berubah dari kecepatan yang sangat tinggi pada beban ringan sampai kecepatan rendah pada beban-penuh.

Motor DC seri tidak mempunyai kecepatan tanpa-beban yang terbatas. Jika beban dibuang dari motor, fluksi medan berkurang. Jika semua beban dibuang, fluksi praktis menjadi nol dan kecepatan motor bisa menjadi tinggi dan berbahaya. Karena alasan inilah, beban tidak boleh sama sekali dilepas dari motor seri. Motor seri digunakan hanya jika beban dihubungkan langsung dengan poros atau dihubungkan dengan roda gigi ke poros. Motor seri yang sangat kecil biasanya mempunyai cukup gesekan dan kerugian lain untuk menjaga kecepatan tanpa-beban turun sampai batas aman.

Pada motor *shunt*, kopel praktis berbanding lurus dengan arus jangkar karena fluksi medan hampir mendekati konstan. Pada motor seri, fluksi medan berubah terhadap arus jangkar dan untuk beban kecil, fluksi medan hampir berbanding lurus dengan arus jangkar. Karena kopel sama dengan $K'\Phi I_a$, hal ini berarti bahwa untuk beban kecil, kopel berbanding lurus dengan I_a^2 . Tetapi, jika arus jangkar mendekati harga beban penuh, kejenuhan rangkaian magnet dan reaksi jangkar mencegah kopel naik secepat arus kuadrat.

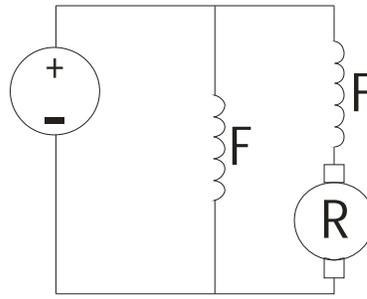


Gambar 2.7 Karakteristik kecepatan dan torsi motor DC seri

Telah dikemukakan bahwa motor seri menghasilkan kopel besar untuk arus jangkar yang besar. Meskipun karakteristik motor DC seri memiliki batas kecepatan yang kecil, namun memiliki nilai torsi yang cukup besar seperti yang ditunjukkan pada gambar grafik 2.7. Oleh sebab itu motor seri merupakan motor yang sesuai untuk menjalankan beban berat. Ia kerap kali digunakan untuk menggerakkan mesin derek dan kerekan dimana beban berat harus digerakkan perlahan-lahan, tetapi untuk beban yang lebih ringan dapat digerakkan dengan kecepatan yang lebih besar. Penggunaan umum lainnya dari motor seri adalah dalam kereta api listrik.

2.1.2.5 Motor DC Hubungan Campuran (*Compound*)

Motor campuran(*compound*) menggabungkan karakteristik kerja motor *shunt*, dan seri. Ia mempunyai kecepatan tanpa-beban terbatas dan dapat dioperasikan dengan aman pada keadaan tanpa beban. Jika beban bertambah, kenaikan fluksi medan menyebabkan kecepatan berkurang lebih banyak dari yang dilakukan pada kecepatan motor *shunt*. Maka pengaturan kecepatan motor kompon-kumulatif lebih buruk daripada motor *shunt*.

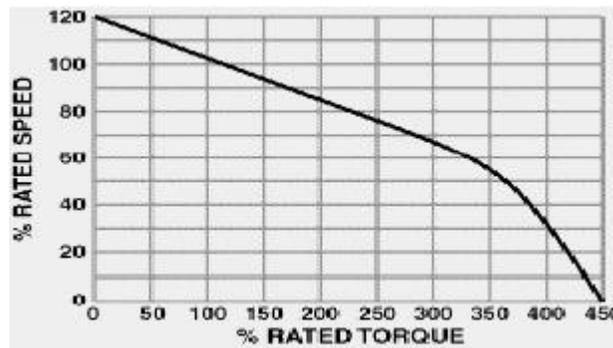


Gambar 2.8 Diagram rangkaian motor DC hubungan campuran

Kopel motor kompon-kumulatif lebih besar daripada kopel motor *shunt* untuk besarnya arus jangkar tertentu akibat adanya fluksi medan seri. Diagram gambar rangkaianannya dapat dilihat pada gambar 2.8, dimana nilai F yang diseri terhadap R dapat diubah-ubah sehingga kecepatannya dapat diubah-ubah.

Motor kompon-kumulatif digunakan ketika diperlukan kecepatan konstan yang lumayan dengan beban yang tidak beraturan atau tiba-tiba dikenakan beban berat. Beban-beban seperti mesin cetak, mesin potong, dan mesin torak kerap kali digerakkan oleh motor kompon.

Pengaturan kecepatan motor shunt jauh lebih baik daripada motor seri maupun kompon. Berarti motor shunt sesuai untuk penggunaan kecepatan konstan. Motor kompon dan seri digunakan bilamana tidak terlalu dibutuhkan pengaturan kecepatan yang baik atau bilamana diinginkan perubahan kecepatan.



Gambar 2.9 Karakteristik kecepatan dan torsi motor DC kompon

Kelebihan kopel *start* motor seri yang tinggi membuatnya menjadi motor yang ideal untuk menjalankan beban berat pada kecepatan rendah. Jadi, tipe motor DC yang berbeda mempunyai variasi karakteristik yang luas. Karakter beban tentu saja



ikut menentukan jenis motor yang akan digunakan untuk suatu hal. Seperti yang ditunjukkan pada gambar grafik 2.9, motor DC kompon merupakan penggabungan kelebihan antara motor DC seri dan motor DC shunt. Memiliki karakteristik kecepatan yang cukup kencang dan torsi yang cukup besar.

2.1.3 Pengendalian Kecepatan Motor

Pengaturan kecepatan motor adalah istilah yang melukiskan perubahan kecepatan motor jika beban pada motor diubah. Jika motor mampu mempertahankan kecepatan hamper konstan untuk suatu perubahan beban, motor dikatakan mempunyai pengaturan kecepatan yang baik. Pengaturan kecepatan untuk motor yang ditentukan bergantung pada karakteristik motor itu sendiri.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan motor menjadi jelas jika persamaan untuk ggl-lawan (2-8) digabungkan dengan persamaan motor fundamental (2-9):

$$E=K.\Phi.n.....(2-11)$$

$$V_t=K.\Phi.n + I_a.R_a.....(2-12)$$

$$n= \frac{V_t-I_a.R_a}{K.\Phi}(2-13)$$

Keterangan:

E=ggl yang dikembangkan pada terminal motor DC (volt)

K=Konstanta yang tergantung pada ukuran fisik motor

Φ =fluksi setiap kutub

n=kecepatan motor (rpm)

Persamaan (2-13) disebut persamaan kecepatan motor. Dari persamaan ini dapat dilihat bahwa kecepatan motor (n) bergantung pada empat variabel yaitu fluksi medan (Φ), tahanan rangkaian jangkar (R_a), tegangan terminal V_t , dan arus jangkar I_a . Pengendalian kecepatan motor dapat dilakukan dengan memanipulasi tiga dari variabel-variabel yang ada dalam persamaan (2-13) secara manual maupun otomatis.



Arus jangkar Ia ditentukan oleh besarnya beban yang sedang dicatu oleh jangkar motor dan oleh sebab itu tak dapat digunakan untuk pengendalian kecepatan motor. Jadi ada 3 metode dasar pengendalian kecepatan, yaitu dengan:

1. Pengendalian fluksi medan (Φ)

Arus medan dan juga fluksi medan dalam motor *shunt* atau kompon telah siap diubah dengan mengatur tahanan geser medan yang dihubungkan secara seri dengan medan *shunt*. Dengan menaikkan tahanan dalam rangkaian medan akan menyebabkan penurunan dalam fluksi medan dan oleh sebab itu menaikkan kecepatan samahalnya menurunkan tahanan rangkaian medan akan menyebabkan berkurangnya kecepatan.

2. Pengendalian tahanan rangkaian jangkar

Tahanan rangkaian jangkar motor dapat diubah dengan menambahkan tahanan variabel yang dihubungkan seri dengan jangkar. Bila tahanan seri dinaikkan, tegangan pada jangkar motor berkurang dan kecepatan motor turun. Sama halnya kecepatan motor akan bertambah jika tahanan seri dikurangi. Ini adalah metode pengendalian kecepatan yang biasanya digunakan untuk motor seri.

3. Pengendalian tegangan terminal

Kecepatan motor dapat dikendalikan dengan mengubah tegangan yang dikenakan pada rangkaian jangkar. Sebelum adanya komponen zat padat yang relatif tidak mahal. Oleh sebab itu untuk mengendalikan motor-motor yang sangat besar, pengendalian kecepatan dengan metode ini sebagian besar terbatas pada sistem Ward-Leonard atau variasinya (Sumber: Lister, 1993).

2.2 Kontroler PID

Langkah awal dalam pembelajaran perancangan sistem kontrol yaitu menjelaskan bagaimana membuat diagram blok sistem. Diagram blok digunakan sebagai bahan analisis yaitu dengan memberikan aksi pengontrolan yang berbeda. Tanggapan sistem dapat dilihat setelah sistem diberikan sinyal masukan yang



berbeda. Kombinasi antara sinyal masukan dan aksi pengontrolan ini akan menghasilkan tanggapan yang berbeda-beda. Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam perancangan sistem kontrol sebagai berikut:

1. Memahami cara kerja sistem,
2. Mencari model sistem dinamik dalam persamaan differensial,
3. Mendapatkan fungsi alih sistem dengan Transformasi Laplace,
4. Memberikan aksi pengontrolan dengan menentukan konstanta K_p , K_i , dan K_d ,
5. Menggabungkan fungsi alih yang sudah didapatkan dengan jenis aksi pengontrolan,
6. Menguji sistem dengan sinyal masukan fungsi langkah, fungsi undak dan impuls ke dalam fungsi alih yang baru,
7. Melakukan Transformasi Laplace balik untuk mendapatkan fungsi dalam kawasan waktu,
8. Menggambar tanggapan sistem dalam kawasan waktu

(Sumber: Ogata, 1996).

Modul *Proporsional Integral Differensial* (PID) merupakan salah satu kontrol konvensional yang sampai sekarang masih tetap dipakai pada proses otomatisasi di industri karena kehandalannya. PID merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Komponen kontroler PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu *Proporsional*, *Integratif* dan *Derivatif*. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu *plant*.

2.2.1 Aksi Kontrol Proporsional

Aksi kontrol proporsional memiliki karakteristik dimana besar *output* unit control P selalu sebanding dengan besarnya *input*. *Gain control proporsional* dapat berupa bilangan bulat, bilangan pecahan, positif atau juga negatif. Dengan syarat besarnya tetap, linier di semua daerah kerja dan tidak bergantung pada fungsi waktu. Pengertian *gain* disini dapat berbentuk bilangan pecahan bahkan negatif, sehingga



nilai *output* dapat lebih kecil dari input bahkan negatif. Oleh karena itu, istilah *gain* jarang dipakai dan yang lazim dipakai adalah istilah *proporsional band*. Pengaruh pada sistem :

1. Menambah atau mengurangi kestabilan
2. Dapat memperbaiki respon transien khususnya : *rise time*, *settling time*
3. Mengurangi (bukan menghilangkan) *Error steady state*

Kontroler Proporsional memberi pengaruh langsung (sebanding) pada error: Semakin besar *error*, semakin besar sinyal kendali yang dihasilkan kontroler

2.2.2 Aksi Kontrol Integral

Aksi kontrol integral berfungsi untuk menghilangkan *offset* sebagai hasil dari *reset* yang dapat menghasilkan *output* walaupun tidak terdapat *input*, sehingga dibutuhkan suatu pengendali yang dapat menghasilkan *output* lebih besar atau lebih kecil pada saat *error* = 0. Pengaruh pada sistem :

1. Menghilangkan *Error Steady State*
2. Respon lebih lambat (dibanding P)
3. Dapat menimbulkan ketidakstabilan (karena menambah orde sistem)

Perubahan sinyal kontrol sebanding dengan perubahan *error*:

1. Semakin besar *error*, semakin cepat sinyal kontrol bertambah/berubah.

2.2.3 Aksi Kontrol Diferensial

Memiliki karakteristik cenderung untuk mendahului atau bisa disebut *anti pasif controlling*. Oleh karena itu aksi kontrol ini sering diterapkan pada sistem yang memiliki inersia tinggi yang bersifat *lagging*. Pengaruh pada sistem :

1. Memberikan efek redaman pada sistem yang berosilasi sehingga bisa memperbesar pemberian nilai K_p
2. Memperbaiki respon transien, karena memberikan aksi saat ada perubahan error



3. D hanya berubah saat ada perubahan error, sehingga saat ada error statis D tidak beraksi, sehingga D tidak boleh digunakan sendiri

Besarnya sinyal kontrol sebanding dengan perubahan error (Δe)

1. Semakin cepat error berubah, semakin besar aksi kontrol yang ditimbulkan.

2.2.4 Aksi Kontrol Proporsional+Integral+Diferensial

Sistem pengontrolan derivatif merupakan pengontrolan dengan proses umpan balik yang berlawanan dengan cara pengendalian integral. Penambahan aksi derivatif pada pengendalian proporsional + integral bertujuan untuk meningkatkan kestabilan pengontrolan dan mempercepat tanggapan dari sistem, peningkatan kestabilan sistem kontrol diperoleh dari penurunan *overshoot*.

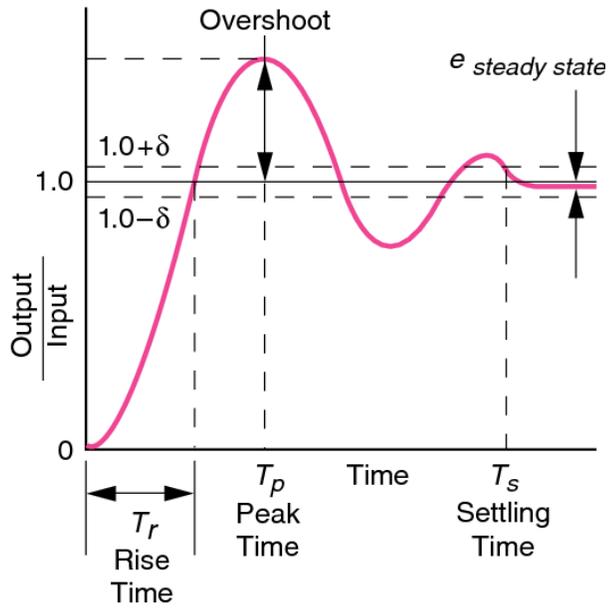
Jika terjadi perubahan sinyal pengukuran maka keluaran pengontrol dengan *proporsional bellow* tidak terhubung langsung tetapi katup yang memperkecil aliran ke arah *proporsional bellow*. Keuntungan kontroler PID, menggabungkan kelebihan kontroler P, I, dan D:

P : memperbaiki respon transien

I : menghilangkan *error steady state*

D : memberikan efek redaman

Pada gambar 2.10 kita dapat lebih memahami bahwa waktu transien merupakan waktu awal kita memberikan suplai kepada plant hingga waktu *steady state* (*settling time*). Sedangkan *steady state* sendiri dimulai pada saat *settling time* hingga selama nilai gelombang berhimpit dengan nilai referensi. *Overshoot* merupakan lonjakan gelombang yang melebihi nilai referensi, biasanya pada waktu transien dan pada waktu gangguan pada saat *steady state*.



Gambar 2.10 Gambar gelombang saat transien hingga *steady state*

Sistem PID ini juga merupakan sistem kontrol *loop* tertutup yang cukup sederhana dan kompatibel dengan sistem kontrol lainnya sehingga dapat dikombinasikan dengan sistem kontrol lainnya, seperti control Fuzzy, control adaptif, dan kontrol Robust. Sebagaimana akan disajikan kemudian, fungsi alih $G_c(s)$ alat control PID adalah:

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \dots\dots\dots(2-14)$$

Keterangan:

$G_c(s)$ = penguatan proporsional

T_i = waktu integral

T_d = waktu turunan

Jika $e(t)$ adalah masukan ke alat kontroler PID, keluaran $u(t)$ dari alat kontrol ini diberikan oleh :

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_{-\infty}^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \dots\dots\dots(2-15)$$

Konstanta-konstanta K_p , T_i dan T_d adalah parameter-parameter alat kontrol. Persamaan (2-14) dapat juga dituliskan sebagai:

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \dots\dots\dots(2-16)$$

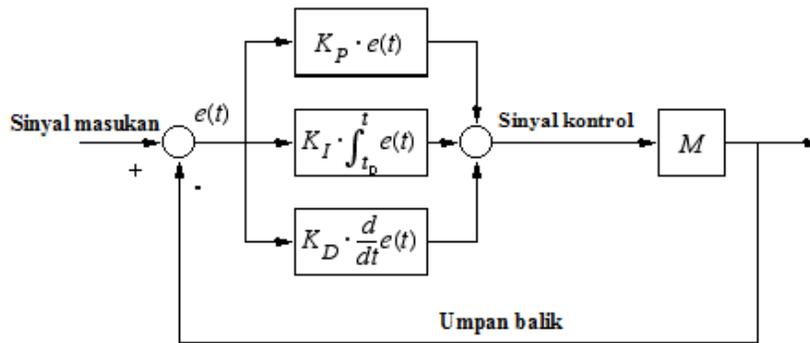
Keterangan:

K_p = penguatan proporsional

K_i = penguatan integral

K_d = penguatan differensial

Dalam hal ini K_p , K_i , dan K_d menjadi parameter-parameter alat kontrol. Gambar 2.11 memperlihatkan diagram kontroler PID sebuah sistem loop tertutup (umpan balik), dimana error $e(t)$ diperbaiki oleh parameter K_p , K_i , dan K_d sebelum dialirkan kepada motor.

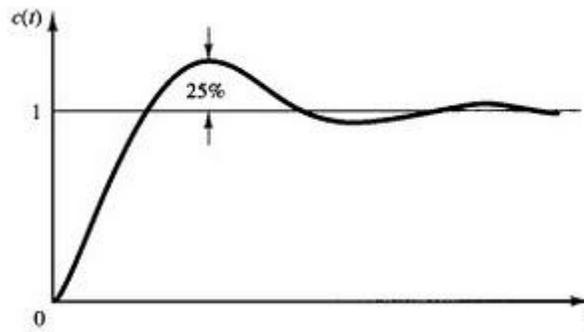


Gambar 2.11 Diagram PID suatu sistem

(Sumber: Ogata, 1996).

2.2.5 Penentuan Parameter K_p , T_i , dan T_d

Zieger dan Nichols mengusulkan aturan-aturan untuk menentukan nilai penguatan proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu turunan T_d yang didasarkan pada karakteristik respons transien suatu sistem yang diketahui. Penentuan parameter alat-alat kontroler PID sedemikian atau penyepadanan alat-alat kontroler PID dapat juga dilakukan oleh insinyur dilapangan berdasarkan eksperimen pada sistem.

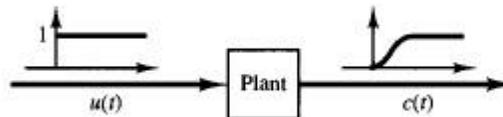


Gambar 2.12 Kurva respons tangga satuan yang memperlihatkan 25% lonjakan maksimum

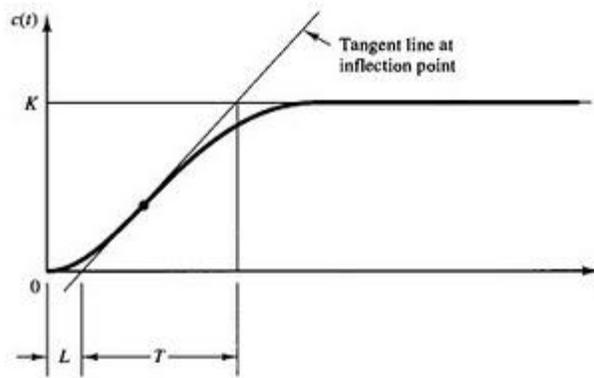
Ada dua metode yang dinamakan penyepadanan Zieger-Nichols. Dalam kedua metode ini, mereka ditujukan pada pencapaian 25% lonjakan maksimum dalam respons tangga. (Lihat gambar 2.12)

a. Metode pertama

Dalam metode pertama, secara eksperimental kita memperoleh respons sistem terhadap masukan tangga-satuan, seperti diperlihatkan pada gambar 2.13. Jika sistem tidak mencakup integrator ataupun nilai-nilai kutub pasangan kompleks yang dominan, maka kurva respons sebuah tangga satuan mungkin kelihatan seperti kurva berbentuk-S, seperti diperlihatkan pada gambar 2.14 (jika respons tidak memiliki kurva berbentuk-S, metode ini tidak berlaku). Kurva-kurva respons tangga sedemikian dapat dihasilkan secara eksperimen atau dari simulasi dinamik sistem.



Gambar 2.13 Respons tangga satuan sebuah sistem



Gambar 2.14 Kurva respons berbentuk-S

Zieger-Nichols menyarankan penyetelan nilai K_p , T_i , dan T_d berdasarkan rumus yang diperlihatkan pada tabel 2.1:

Tabel 2.1 Aturan penyepadanan Zieger-Nichols didasarkan pada respon tangga sistem (metode pertama)

Tipe alat kontrol	K_p	T_i	T_d
P	T/L	∞	0
PI	$0,9.T/L$	$L/0,3$	0
PID	$1,2.T/L$	$2L$	$0,5L$

Karakteristik kurva berbentuk-S dapat diberikan oleh dua konstanta, yakni waktu tunda L dan konstanta waktu tunda T dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar garis singgung pada titik perubahan kurva berbentuk-S dan menentukan perpotongan garis singgung dengan sumbu waktu dan garis $c(t)=K$, seperti diperlihatkan pada gambar 2.14. $C(s)/u(s)$ dapat didekati dengan sistem orde pertama dengan keterlambatan transport:

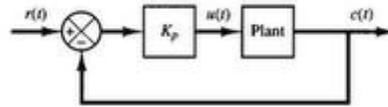
Perhatikan bahwa alat kontroler PID yang disepadankan oleh metode pertama aturan Ziegler-Nichols memberikan:

Jadi, alat kontroler PID memiliki suatu nilai kutub pada titik asal dan dua nilai nol pada $s=-1/L$.

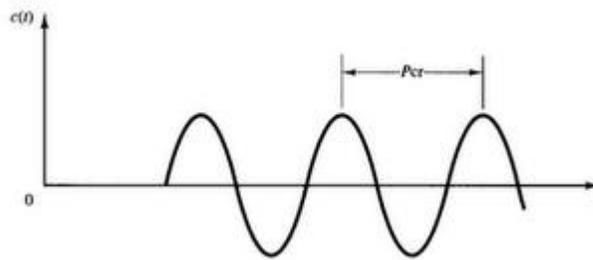
b. Metode kedua

Dalam metode kedua, mula-mula kita menyetel $T_i=\infty$ dan $T_d=0$. Dengan menggunakan tidakan kontrol proporsional (lihat gambar 2.15), menambahkan K_p

dari 0 ke suatu nilai kritis K_{cr} , di sini mula-mula keluaran memiliki osilasi berkesinambungan (jika keluaran tidak memiliki osilasi berkesinambungan untuk nilai K_p maupun yang boleh diambil, maka metode ini tidak berlaku). Jadi, penguatan kritis K_{cr} dan periode P_{cr} , yang sesuai ditentukan secara eksperimen, (lihat gambar 2.16).



Gambar 2.15 Sistem loop tertutup dengan alat control proporsional



Gambar 2.16 Osilasi berkesinambungan dari periode P_{cr}

Ziegler dan Nichols menyarankan penyetelan nilai parameter K_p , T_i , dan T_d berdasarkan rumus yang diperlihatkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Aturan penyepadanan Ziegler-Nichols didasarkan pada respon tangga sistem (metode kedua)

Tipe alat kontrol	K_p	T_i	T_d
P	$0,5K_{cr}$	∞	0
PI	$0,45K_{cr}$	$P_{cr}.1/1,2$	0
PID	$0,6K_{cr}$	$0,5P_{cr}$	$0,125P_{cr}$

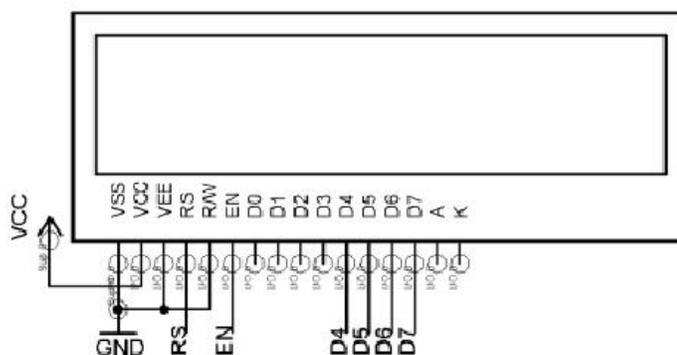
Perhatikan bahwa alat kontroler PID yang disepadankan oleh metode kedua dari aturan Ziegler-Nichols memberikan:

Jadi, alat kontroler PID memiliki suatu nilai kutub pada titik asal dan nilai nol dobel pada $s=-4/P_{cr}$.

2.3 Interfacing

Antarmuka pemakai (*User Interface*) merupakan mekanisme komunikasi antara pengguna (*user*) dengan sistem. Antarmuka pemakai (*User Interface*) dapat menerima informasi dari *user* dan memberikan informasi kepada *user* untuk membantu mengarahkan alur penelusuran masalah sampai ditemukan suatu solusi. *User interface*, berfungsi untuk menginputkan pengetahuan baru ke dalam basis pengetahuan sistem pakar (ES), menampilkan penjelasan sistem dan memberikan panduan pemakaian sistem secara menyeluruh *step by step* sehingga *user* mengerti apa yang akan dilakukan terhadap suatu sistem. Yang terpenting dalam membangun *user interface* adalah kemudahan dalam memakai/ menjalankan sistem, interaktif, komunikatif, sedangkan kesulitan dalam mengembangkan/ membangun suatu program jangan terlalu diperlihatkan. Tujuan sebuah *user interface* adalah mengkomunikasikan fitur-fitur sistem yang tersedia agar *user* mengerti dan dapat menggunakan sistem tersebut. Konfigurasi LCD ditunjukkan pada gambar 2.17. Kaki-kaki (*pin*) pada LCD harus terhubung kepada mikrokontroler sesuai dengan konfigurasi dan sumber tegangan sebesar 5volt DC.

Dalam penelitian ini yang menjadi *interfacing layer*-nya adalah display LCD, dimana LCD akan menampilkan beberapa informasi mengenai kondisi alat pada waktu tertentu.



Gambar 2.17 Konfigurasi LCD

Modul LCD *Character* dapat dengan mudah dihubungkan dengan mikrokontroler. LCD yang akan digunakan dalam penelitian ini mempunyai lebar



display 2 baris 16 kolom atau biasa disebut sebagai LCD *Character* 16x2, dengan 16 pin konektor, yang didefinisikan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Keterangan nama dan fungsi tiap pin pada LCD

PIN	NAMA	FUNGSI
1	VSS	Tegangan ground
2	VCC	+5v
3	VEE	Tingkat intensitas tegangan
4	RS	Register select 0=Instruction register 1=Data register
5	R/W	Read/Write, untuk memilih menu 0=Write mode 1=Read mode
6	E	Enable 0=Start to latch data to LCD character 1=Disable
7-14	DB0-DB7	Data bus
15	BPL	Back Plane Light
16	GND	Ground voltage

Display karakter pada LCD diatur oleh pin EN, RS dan RW: Jalur EN dinamakan *Enable*. Jalur ini digunakan untuk memberitahu LCD bahwa anda sedang mengirimkan sebuah data. Untuk mengirimkan data ke LCD, maka melalui program EN harus dibuat logika *low* "0" dan set pada dua jalur kontrol yang lain RS dan RW. Ketika dua jalur yang lain telah siap, set EN dengan logika "1" dan tunggu untuk sejumlah waktu tertentu (sesuai dengan *datasheet* dari LCD tersebut) dan berikutnya set EN ke logika *low* "0" lagi. Jalur RS adalah jalur *Register Select*. Ketika RS berlogika *low* "0", data akan dianggap sebagai sebuah perintah atau instruksi khusus (seperti *clear screen*, posisi kursor dll). Ketika RS berlogika *high* "1", data yang dikirim adalah data text yang akan ditampilkan pada *display* LCD. Sebagai contoh, untuk menampilkan huruf "T" pada layar LCD maka RS harus diset logika *high* "1". Jalur RW adalah jalur kontrol *Read/Write*. Ketika RW berlogika *low* (0), maka informasi pada bus data akan dituliskan pada layar LCD. Ketika RW berlogika *high* "1", maka program akan melakukan pembacaan memori dari LCD. Sedangkan pada aplikasi umum pin RW selalu diberi logika *low* "0". Pada akhirnya, bus data terdiri



dari 4 atau 8 jalur (bergantung pada mode operasi yang dipilih oleh user). Pada kasus bus data 8 bit, jalur diacukan sebagai DB0 s/d DB7.

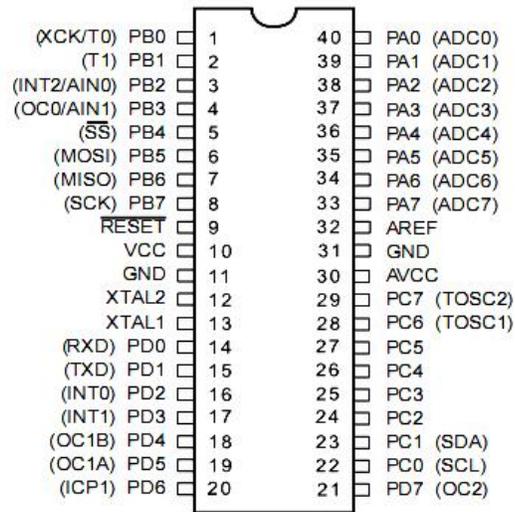
2.4 Mikrokontroler *ATmega16*

ATmega16 merupakan tipe AVR yang dilengkapi dengan 8 saluran ADC internal dengan fidelitas 10 bit. Dalam mode operasinya, ADC *ATmega16* dapat dikonfigurasi, baik sebagai *single ended input* maupun pewaktuan, tegangan referensi, mode operasi, dan kemampuan filter derau yang amat fleksibel sehingga dapat dengan mudah disesuaikan dengan kebutuhan dari ADC itu sendiri.

Proses inisialisasi ADC meliputi proses penentuan clock, tegangan referensi, format *output* data, dan mode pembacaan. Register yang perlu diset nilainya adalah *ADC Multiplexer Selection Register (ADMUX)*, *ADC Control and Status Register A (ADCSRA)*, dan *special Function IO Register (SFIOR)*. *ADMUX* merupakan register 8 bit yang berfungsi menentukan tegangan referensi ADC, format data *output*, dan saluran ADC yang digunakan.

AVR *Atmega16* merupakan salah satu produk dari ATMEL. Mikrokontroler ini memiliki fitur-fitur sebagai berikut:

1. Port I/O 32 jalur (Port A, Port B, Port C, Port D masing - masing 8 bit)
2. ADC 8 channel dengan resolusi 10 bit
3. 3 buah timer / counter
4. Osilator internal
5. Flash PEROM 16 Kb
6. EEPROM 512 byte
7. SRAM 512 byte
8. Interupsi Eksternal dan Internal
9. Port USART untuk komunikasi serial



Gambar 2.18 Konfigurasi pin ATMEGA16

Mikrokontroler *ATmega16* memiliki konfigurasi pin 40 kaki yang terdiri dari masing-masing pin I/O 32 pin (gambar 2.18) serta mempunyai fungsi khusus tergantung penggunaannya.(tabel 2.4)

Tabel 2.4 Keterangan nama dan fungsi tiap pin pada mikrokontroler *ATmega16*

PIN	NAMA	FUNGSI
1	PBO XCK/TO	Port BO/Counter 0/clock eksternal untuk USART (XCK)
2	PB1 (T1)	Port B1/Counter 1
3	PB2 (INT2/AINO)	Port B2/Input (+) Analog komparator (AINO) dan interupsi eksternal 2 INT2
4	PB3 (OCO/AIN1)	Port B3 / Input (-) Analog Komparator (AIN1) dan output PWM0
5	PB4 (SS)	Port B4 / SPI Slave Select Input (SS)
6	PB5 (MOSI)	Port BS / SPI bus Master Out Slave In
7	PB6 (MISO)	Port B6 / SPI bus Master In Slave Out
8	PB7 (SCK)	Port B7 / sinyal clock serial SPI
9	RESET	Reset mikrokontroler
10	VCC	Catu daya (+)
11	GND	Sinyal ground terhadap catu daya
12 s/d 13	XTAL2-XTAL1	Sinyal input clock eksternal (kristal)
14	PD0 (RXD)	Port D0 / Penerima data serial
15	PD1 (TXD)	Port D1 / Pengirim data serial
16	PD2 (INT0)	Port D2 / Interupsi eksternal 0
17	PD3 (INT1)	Port D3 / Interupsi eksternal 1
18	PD4 (OC1B)	Port D4 / Pembanding Timer-Counter 1 (Output PWM 1B)
19	PD5 (OC1A)	Port D5 / Output PWM 1A



Lanjutan tabel 2.4 Keterangan nama dan fungsi tiap pin pada mikrokontroler *ATmega16*

20	PD6 (ICP1)	Port D6 / Timer-Counter 1 input
21	PD7 (OC2)	Port D7 / Output PWM 2
22	PC0 (SCL)	Port C0 / Serial bus clock line
23	PC1 (SDA)	Port C1 / Serial bus data input-output
24 s/d 27	PC2-PC5	PC2 – PC5
28	PC6 (TOSC1)	Port C6 / Timer osilator 1
29	PC7 (TOSC2)	Port C7 / Timer osilator 2
30	AVCC	Tegangan ADC
31	GND	Sinyal ground ADC
32	AREFF	Tegangan referensi ADC
33 s/d 40	PA0-PA7	Port A0-Port A7 input untuk ADC (8channel:ADCO-ADC7)

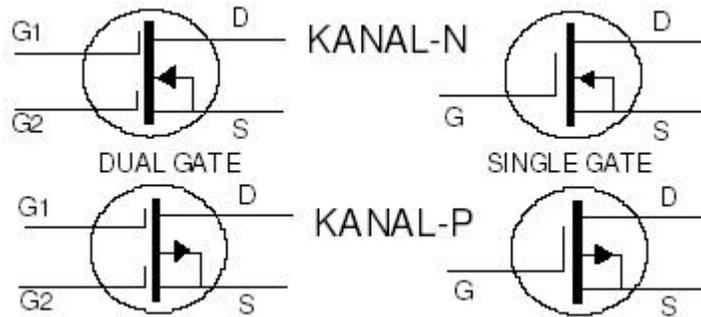
Untuk memprogram Mikrokontroler dapat menggunakan bahasa *assembler* atau bahasa tingkat tinggi yaitu bahasa C. Bahasa yang digunakan memiliki keunggulan tersendiri, untuk bahasa *assembler* dapat diminimalisasi penggunaan memori program sedangkan dengan bahasa C menawarkan kecepatan dalam pembuatan program. Untuk bahasa *assembler* dapat ditulis dengan menggunakan *text editor* setelah itu dapat dikompilasi dengan *tool* tertentu misalnya *asm51* untuk MCS51 dan *AVR Studio* untuk AVR.

Pada alat ukur yang dirancang pemrogramannya menggunakan *Software Code Vision C Compiler* untuk pemrograman mikrokontroler dan sekaligus untuk men-download file (.Hex) ke mikrokontroler AVR *ATMega16*.

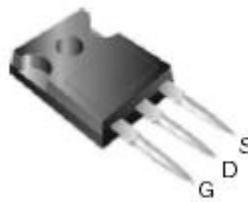
2.5 Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET)

Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET) merupakan pokok yang membangun blok pada rangkaian VLSI, dimana unit dasar dari kepadatan tinggi CMOS dan NMOS teknologi yang digunakan untuk memalsukan membangun mikroprosesor masa kini dan alat penghubung alat. Lambang untuk MOSFET dan nama tiga terminal disampaikan dalam gambar 2.19. Dalam praktek, MOSFET bertindak sebagai suatu tombol menghubungkan sumber dan saluran. Tombol adalah

baik tertutup atau terbuka tergantung pada tegangan antara sumber dan gerbang(G). Jika tegangan gate-to-source (V_p), melebihi tegangan tertentu dikenal sebagai tegangan ambang V_{th} maka tombol tertutup. Cara lainnya, tombol bersikap terbuka. Pada kenyataannya, MOSFET bukan tombol yang sekedar terbuka (impedansi tanpa batas) atau menutup (nol impedansi). Jika "On" impedansi di sekitar ratusan atau beribu-ribu ohm "Off" impedansi mempunyai nilai-nilai berjuta-juta ohm (Mega ohm). Pada gambar 2.19 operasi tombol dari suatu MOSFET. Jika tegangan ambang, V_{th} , adalah lebih besar dibanding nol, MOSFET disebut suatu gaya peningkatan MOSFET. Sebaliknya suatu MOSFET dengan suatu tegangan ambang kurang dari nol dimasukkan suatu gaya penghabisan MOSFET. Lambang untuk kedua jenis MOSFETS ditunjukkan didalam gambar 2.19. Mosfet yang sering dijumpai di pasaran kebanyakan berbentuk seperti gambar 2.20.



Gambar 2.19 Simbol MOSFET

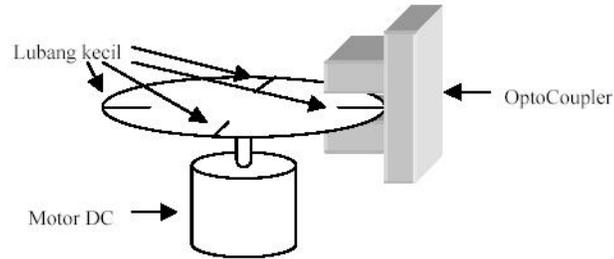


Gambar 2.20 Bentuk fisik MOSFET

2.6 Sensor Kecepatan Putar(*Opto Coupler*)

Opto Coupler merupakan salah satu sensor pendeteksi kecepatan dari beberapa sensor kecepatan lainnya yang akan digunakan untuk mendeteksi kecepatan

putar motor. Dengan dibantu lempeng lingkaran yang dilubangi, sensor kecepatan akan menghasilkan pulsa high (\neg) jika terdapat lubang. Posisi sensor secara mekanis dapat dilihat pada gambar 2.21. Perlu diingat bahwa jumlah lubang yang dibuat akan mempengaruhi hasil tampilan pada LCD. Makin banyak lubang maka pembacaan akan makin sering dan jika dikonversi ke RPM akan didapat hasil yang makin mendekati kondisi aslinya.

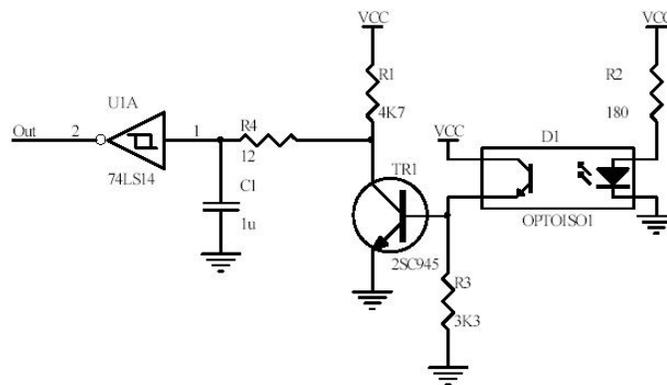


Gambar 2.21 Posisi mekanis *opto coupler*

Rangkaian Sensor Kecepatan berfungsi untuk mendeteksi jumlah putaran per satuan waktu. Setiap 1 detik tampilan pada LCD akan di-update. Tampilan hanya menyatakan jumlah pulsa bukan menyatakan kecepatan motor dalam RPM. Jika ingin menghitung RPM, maka bisa dihitung dengan rumus:

$$n = \frac{\text{hasiltampilan}}{\text{jumlahlubang}} \times \frac{60s}{\text{gatetime}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Rangkaian sensor kecepatan dapat dilihat pada gambar 2.22. Tegangan yang mengalir ke *photo diode* pada optocoupler berfungsi sebagai pemicu dari transistor sehingga pada fasa ini rangkaian sensor memiliki logika *low(0)*.



Gambar 2.22 Rangkaian sensor kecepatan



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Slamet Riyadi No. 62 Patrang, Jember 68111. Sedangkan waktu pelaksanaan mulai dari studi pustaka hingga penyusunan laporan dilakukan selama satu semester dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan

No	Kegiatan	BULAN					
		1	2	3	4	5	6
1.	Studi literatur	■	■	■	■	■	■
2.	Pengambilan data	■	■	■	■	■	■
3.	Mendesain alat	■	■	■	■	■	■
4.	Pembuatan alat	■	■	■	■	■	■
5.	Uji coba alat	■	■	■	■	■	■
6.	Pengolahan hasil dan data	■	■	■	■	■	■
7.	Penyusunan laporan	■	■	■	■	■	■

3.2 Alat dan Bahan

Pada tahap ini yang dilakukan adalah mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan sebelum melakukan proses perancangan alat.

1. Bahan

a. Rangkaian Elektronika

- i. Rangkaian sistem minimum mikrokontroler *ATMega16*
- ii. Rangkaian Driver Motor DC berdaya besar
- iii. Rangkaian *interfacing* LCD 2x12
- iv. Rangkaian Sensor kecepatan *HD74LS14P*



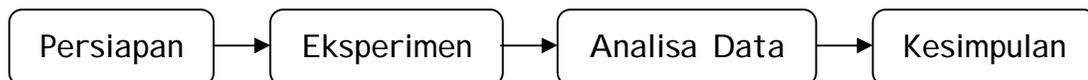
- v. Rangkaian *f to v LM2907N*
- vi. Rangkaian *Rectifier*
- b. Rangka besi siku
- c. Mangkuk stainless *bowl*
- d. Kabel secukupnya
- e. Penjepit buaya secukupnya
- f. Motor DC ½ HP
- g. *Pulley* 2 buah beserta *belt*

2. Alat

- a. Hardware
 - i. Komputer sebagai monitoring tegangan dan putaran motor
 - ii. Multimeter digital
 - iii. Peralatan obeng, kunci pas, solder dan perkakas lainnya.
- b. Software
 - i. *CodeVision AVR* untuk memrogram mikrokontroler *ATMega16*
 - ii. *Eagle* untuk mendesain dalam pembuat jalur-jalur PCB
 - iii. *Auto Cad* untuk mendesain mekanika alat

3.3 Metode Kegiatan

Secara singkat metode kegiatan yang akan dilakukan pada penelitian ini dapat digambarkan seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Alur tahapan melakukan penelitian

Sedangkan langkah-langkah secara terperinci dapat digambarkan pada gambar 3.2. Dimana kita harus melakukan ulang kembali bilamana pengambilan data

adonan belum lengkap dan alat tidak sesuai harapan yaitu mempertahankan kecepatan.



Gambar 3.2 Diagram alir tahap penelitian

3.4 Studi Literatur

Studi literatur ini diambil dari beberapa seperti *paper-paper* atau jurnal dan juga buku-buku referensi yang digunakan sebagai dasar untuk mengolah data yang ada. Studi literatur pada tugas akhir ini akan meliputi hal-hal sebagai berikut:

- a. Studi mekanika
- b. Studi karakteristik motor DC



- c. Studi rangkaian kontroler motor DC
- d. Studi pengaplikasian metode kontrol PID pada motor DC

3.5 Pengambilan Data Motor DC ½ HP

Pengambilan data ini dimaksudkan agar dapat menentukan seberapa besar kapasitas adonan yang dapat digerakkan oleh motor DC 1/2HP.

- Data *Name plate* motor DC ½ HP.

Datasheet motor:
 Daya (P) = 300Watt = 0,402HP = 30,15 kg.m/s
 Tegangan masukan (V) = 48 volt
 Kecepatan putar (n) =1400rpm

- Data perhitungan torsi (*T*) motor dihitung dengan melakukan pengambilan data dan uji coba langsung terhadap alat. Pengujian ini dilakukan untuk mencari nilai rugi-rugi dari motor DC ½ HP yang akan digunakan. Rugi-rugi tersebut antara lain rugi-rugi tembaga (P_{cu}) dan rugi-rugi bantalan dan angin (P_{f+w}).

Rugi-rugi tembaga diperoleh dengan cara mengukur nilai tahanan jangkar (R_a) dan nilai tahanan medan (R_{sh}) menggunakan multimeter. Kemudian memberikan suplai tegangan nominal kepada lilitan jangkar dan medannya. Dari pengujian ini akan didapatkan nilai arus jangkar (I_a) dan arus medannya (I_{sh}). Dari data-data yang diperoleh akan didapat nilai rugi-rugi tembaga dengan memasukkan data-data tersebut kedalam persamaan 3-1.

$$P_{cu} = (I_a^2 \times R_a) + (I_{sh}^2 \times R_{sh}) \dots\dots\dots(3-1)$$

Keterangan:

P_{cu} = Rugi-rugi tembaga (watt)

R_a = Tahanan jangkar (Ω)

R_{sh} = Tahanan medan (Ω)

I_a = Arus jangkar (Ampere)



Ish = Arus medan (Ampere)

Rugi-rugi bantalan dan angin diperoleh dengan cara memberikan tegangan tegangan masukan nominal, kemudian menurunkan nilai tegangan tersebut secara bertahap hingga nilai arus yang terbaca oleh multimeter tidak mengalami penurunan. Pada titik inilah nilai tegangan (V_{f+w}) dan arus (I_{f+w}) rugi-rugi bantalan dan angin didapat, kemudian dimasukkan kedalam persamaan 3-2.

$$P_{f+w} = V_{f+w} \times I_{f+w} \dots\dots\dots(3-2)$$

Keterangan:

P_{f+w} = Rugi-rugi gesek bantalan dan angin(watt)

V_{f+w} = Tagangan rugi-rugi bantalan dan angin (volt)

I_{f+w} = Arus rugi-rugi bantalan dan angin (Ampere)

Setelah diketahui seberapa besar nilai rugi-rugi dari motor DC 1/2 HP yang akan digunakan, kemudian akan didapat nilai daya *shaft*-nya (P_{sh}). Caranya yaitu dengan memasukkan nilai daya pada datasheet motor (300watt) dan nilai rugi-ruginya kedalam persamaan 3-3. Daya shaft ini nantinya akan digunakan untuk mencari nilai torsi pada persamaan 3-4.

$$P_{sh} = P_{in} - (P_{cu} + P_{f+w}) \dots\dots\dots(3-3)$$

$$T_{sh} = 9,55 \times \frac{P_{sh(watt)}}{n_{(rpm)}} \dots\dots\dots(3-4)$$

Keterangan:

P_{sh} = Daya *shaft* motor (watt)(kg.m/s)

P_{in} = Daya motor(300watt)

P_{cu} = Rugi-rugi tembaga(watt)

P_{f+w} = Rugi-rugi gesek bantalan dan angin(watt)

F_{sh} = Gaya (N)(kg.m/s²)

T_{sh} = Torsi *shaft* motor (N.m)

Data perhitungan gaya (F) dihitung dengan mengalikan nilai torsi dengan panjang lengan (persamaan 3-5). Pada penelitian ini pemahaman lengan berarti jari-jari dari pulley yang terpasang pada poros motor.



$$F_{sh} = \frac{T_{sh}}{r_{pulley}} \dots\dots\dots(3-5)$$

Keterangan:

F_{sh} = Gaya (N)(kg.m/s²)

T_{sh} = Torsi *shaft* motor (N.m)

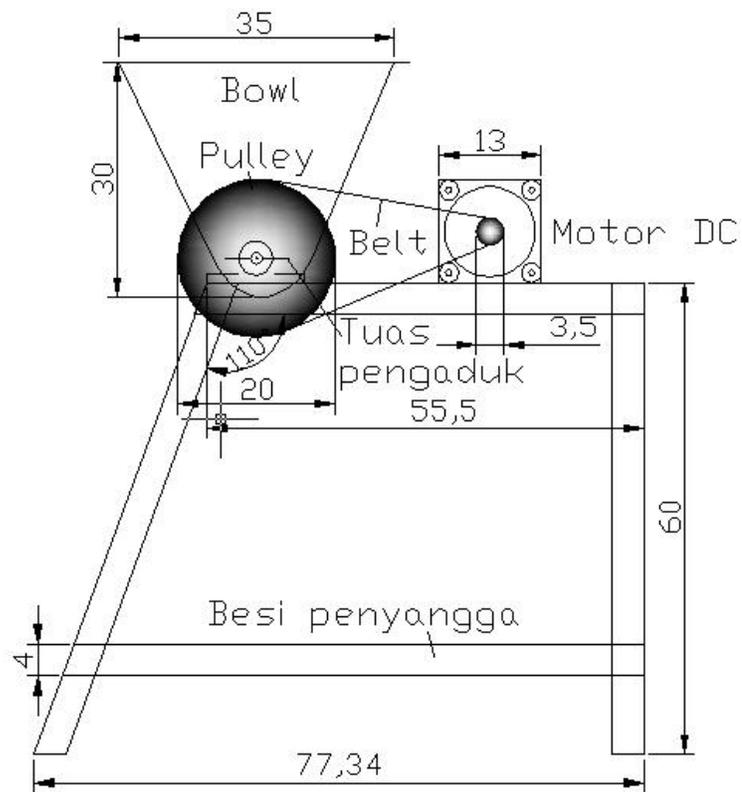
r_{pulley} = Jari-jari pulley

3.6 Desain Konstruksi Alat

Mendesain merupakan rencana (*planning*) dalam melakukan eksperimen. Dengan menggambarkan desain secara detail diharapkan dapat menghasilkan alat yang sesuai dengan harapan. Desain konstruksi alat pengaduk adonan *bakery* akan dibagi menjadi beberapa bagian pokok yang akan dijelaskan sebagai berikut.

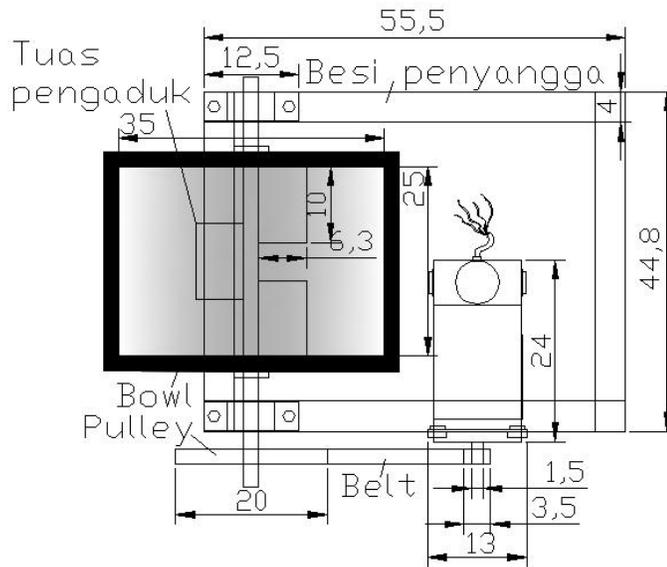
3.6.1 Menggambarkan Model Alat Pengaduk Adonan *Bakery*

Langkah ini dilakukan untuk mempermudah dalam pembuatan alat. Penggambaran dilakukan pada soft ware *auto cad* beserta ukuran dimensinya. Langkah ini dilakukan untuk mempermudah dalam pembuatannya, sehingga terciptakan alat sesuai dengan yang diharapkan. Dengan melihat desain alat tampak samping seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3 dapat dibayangkan tinggi permukaan rangka 60cm ditambahkan tinggi bowl 30cm, sehingga tinggi totalnya kurang lebih setengah tubuh manusia normal. Hal ini memudahkan untuk memasukkan adonan kedalam *bowl*, tidak terlalu tinggi dan juga tidak terlalu rendah. Kedua rangka kaki didisain agak miring sebesar 110° untuk memperkokoh alat pada saat beroperasi. Kemudian motor dan bowl diletakkan diatas permukaan sehingga mudah dalam menseting jarak antara poros motor dengan poros pengaduk.

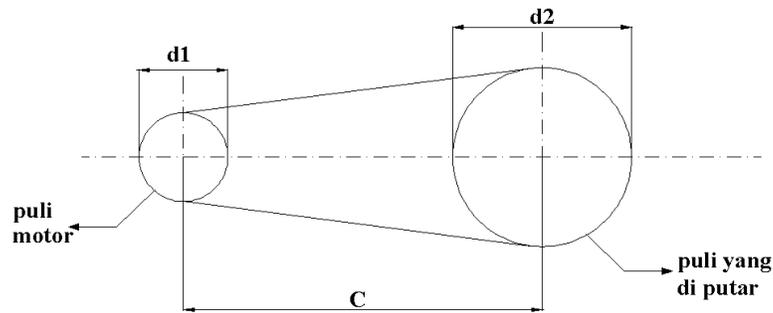


Gambar 3.3 Desain alat tampak samping

Sedangkan desain alat tampak atas dapat dilihat pada gambar 3.4. Dari sini dapat kita lihat bentuk dari pengaduk serta luas permukaan alat. Disisi kosong permukaan nantinya akan difungsikan sebagai rangkaian kontroler serta rangkaian power suplai.



Gambar 3.4 Desain alat tampak atas



Gambar 3.5 Pemasangan pulley1 dan pulley2 tampak samping

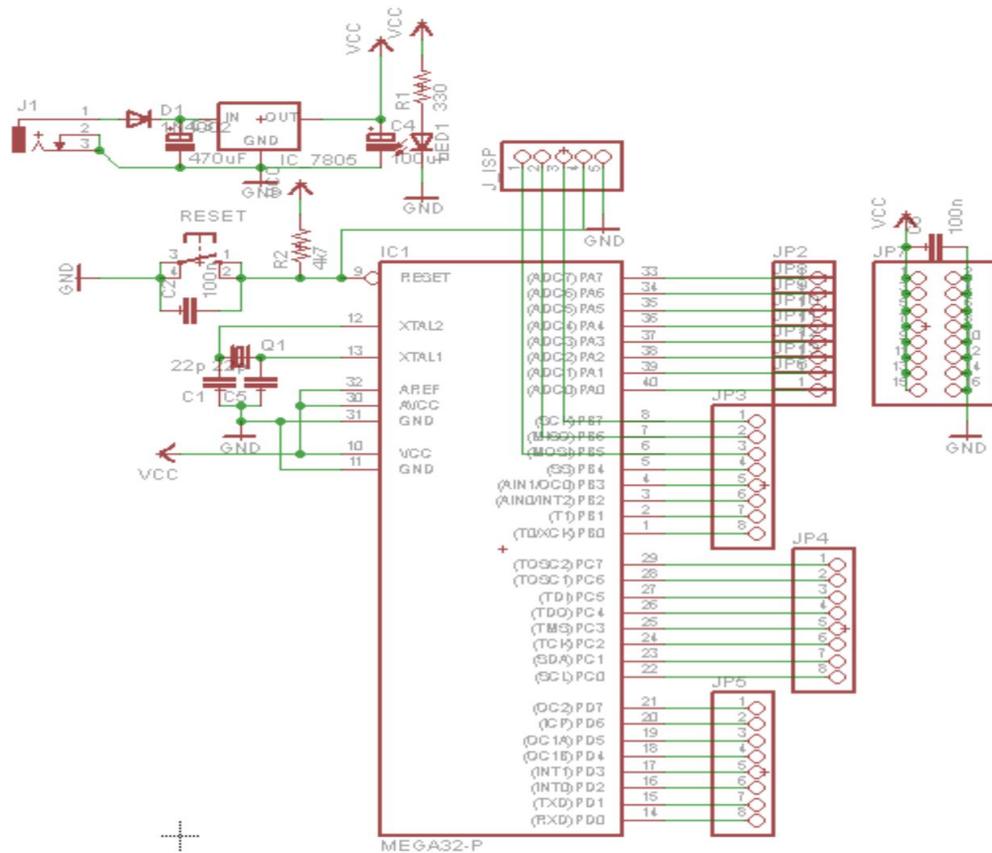
Dari gambar diatas penulis menentukan jumlah pulley untuk alat pengaduk adonan bakery ini sebanyak 2 pulley gambar 3.5, yang artinya hanya menggunakan 1 hubungan antar pulley (1 belt). Hal ini dimaksudkan agar mengurangi rugi-rugi yang diakibatkan oleh gesekan mekanik (poros, pulley, dan belt). Ukuran pulley pertama dan kedua didesain berbeda ukurannya agar dapat menghasilkan nilai torsi yang lebih tinggi dan kecepatan putar rendah pada pulley kedua.

3.6.2 Menggambarkan Skematik/Layout Rangkaian

Desain alur rangkaian digambarkan pada *soft ware eagle 5.11*. Langkah awalnya ialah mendesain skematik terlebih dahulu, kemudian nantinya akan menghasilkan gambar yang siap *diroute* pada PCB.

1. Rangkaian Skematik Sistem Minimum

Dalam membuat rangkaian mikrokontroler memerlukan pemahaman mengenai sistem minimum yang akan dirancang. Gambar 3.6 adalah rangkaian skematik sistem minimum dari mikrokontroler *Atmega 16* yang digambarkan pada *soft ware eagle*.

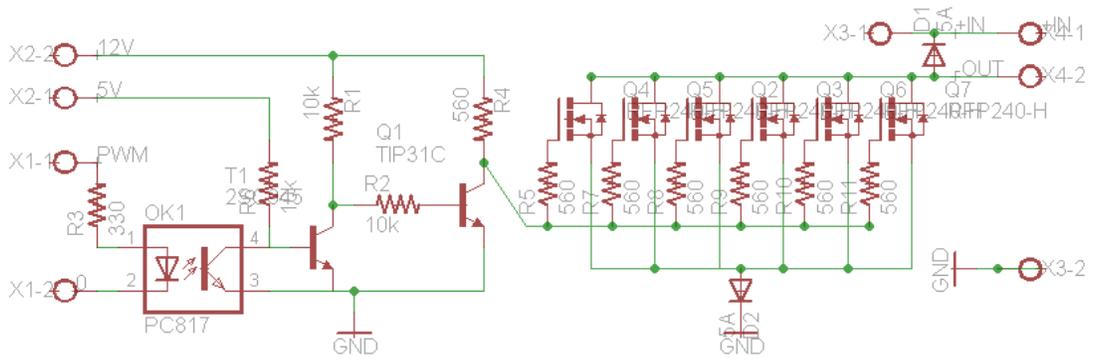


Gambar 3.6 Rangkaian sistim minimu dengan mikrokontroler *ATmega16*

2. Rangkaian Skematik Driver Motor

Untuk mengontrol putaran motor agar mempunyai kecepatan yang dapat di atur saat dibebani maupun tanpa beban. Cara kerja alat tidak lain

ialah mengatur besarnya *duty cycle* pada komponen switching agar motor berputar pada kecepatan yang diinginkan. Pengaturan kecepatan motor DC akan didapat dengan mengatur tegangan yang masuk kedalam kumparan rotor dan stator.



Gambar 3.7 Rangkaian driver motor

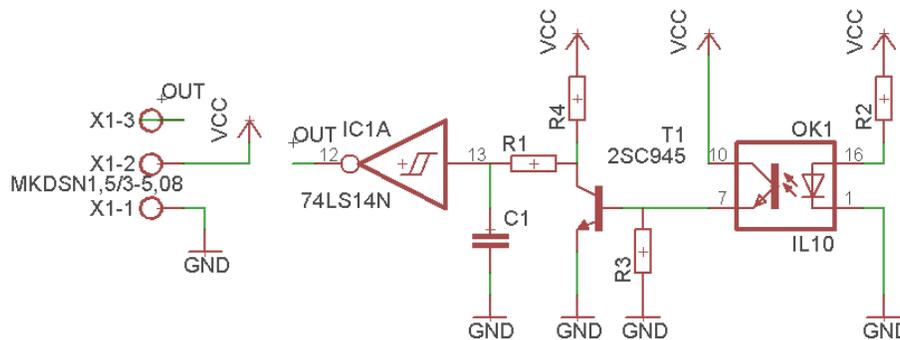
Bila di lihat dari cara kerja rangkaian umum switching pada gambar 3.7 tidak lain ialah untuk mengatur tegangan output dengan perbandingan T_{on} dan T_{off} pada *switching*. Terdapat beberapa tambahan komponen yang berfungsi untuk menyesuaikan dengan beban motor DC ½ HP. Fungsi penambahan komponen tersebut ialah :

- a. Menambah jumlah komponen switching MOSFET IRFP250 menjadi 6 buah dikarenakan 1 buah mosfet mempunyai kapasitas daya 170 Watt (pada *data sheet*) yang akan mengkontrol motor berdaya ½ HP. Jika diakumulasikan memang cukup menggunakan 3buah mosfet saja, namun secara aplikasi hal ini akan mengakibatkan kalor pada mosfet sangat tinggi dan beresiko kerusakan. Kalor ini dihasilkan dari *overshoot* tegangan pada waktu transien dan pada saat motor berjalan lambat.
- b. Penambahan 3 dioda yaitu pada kutub motor, pada output rangkaian transistor, dan pada output mosfet (*source*). Hal ini dilakukan agar tidak terdapat arus balik pada komponen dan mengisolasi rangkaian dari tegangan tinggi yang tercatu pada motor dikarenakan proses

switching yang terdapat arus bocor. Selain itu proses switching juga menyebabkan motor menjadi generator pada saat T_{off} dan menyebabkan berpindahnya polaritas pada motor yang menjadi generator.

- c. Penambahan kapasitor pada *power supply* untuk filter pada sistem agar ripple tidak terlalu besar.
 - d. Penambahan resistor pada setiap Gate MOSFET untuk membatasi arus yang masuk ke MOSFET.
3. Rangkaian Skematik sensor

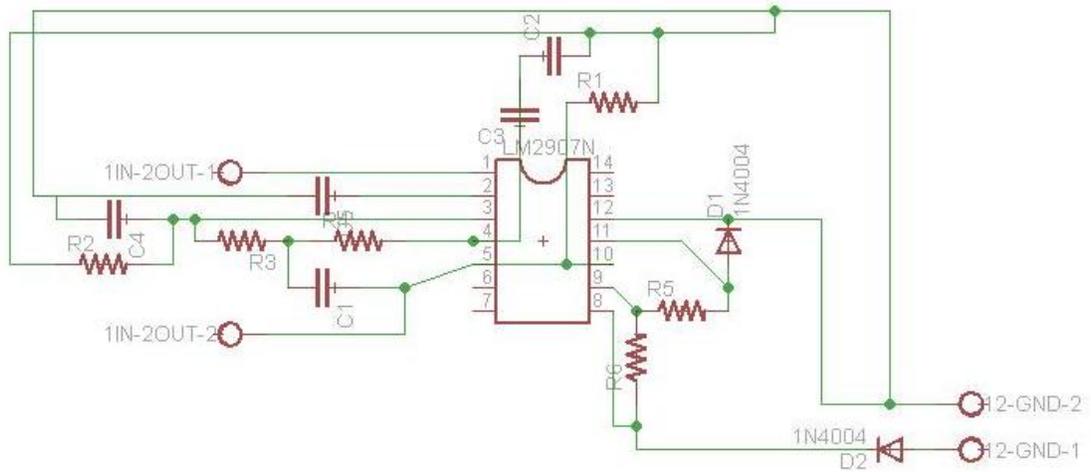
Rangkaian skematik sensor (gambar 3.8) berfungsi untuk menghasilkan nilai frekuensi dari sensor kecepatan. Tegangan yang mengalir ke *photo diode* pada optocoupler berfungsi sebagai pemicu dari transistor sehingga pada fasa ini rangkaian sensor memiliki *out put* berlogika *low(0)*.



Gambar 3.8 Rangkaian sensor

4. Rangkaian Skematik *frequency to voltage (f to v)*

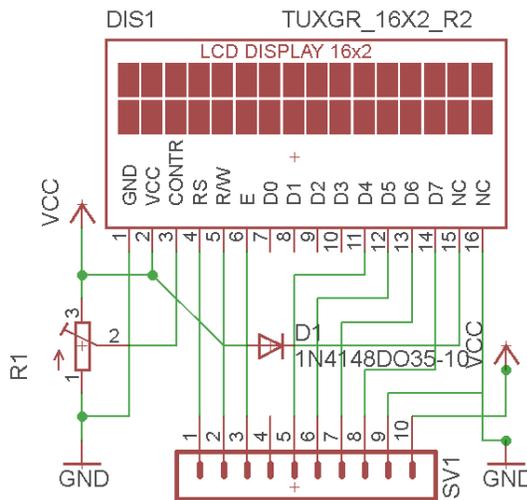
Rangkaian *f to v* (gambar 3.9) ini berfungsi mengubah frekuensi yang dihasilkan oleh rangkaian sensor menjadi tegangan. Didalam rangkaian ini terpasang IC LM2907N yang merupakan komponen inti dari rangkaian *f to v*. Didalam IC inilah terjadi pengkonversian nilai frekuensi menjadi nilai tegangan. Output dari rangkaian ini akan masukkan kepada port ADC.



Gambar 3.9 Rangkaian f to v

5. Rangkaian Skematik *interface*

Pada rangkaian ini digunakan LCD display 16x2 sebagai interface untuk menampilkan nilai pembacaan ADC, kecepatan putar pada pulley pertama/poros motor dan PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler. Gambar 3.10 merupakan rangkaian skematik yang didisain pada soft ware eagle.

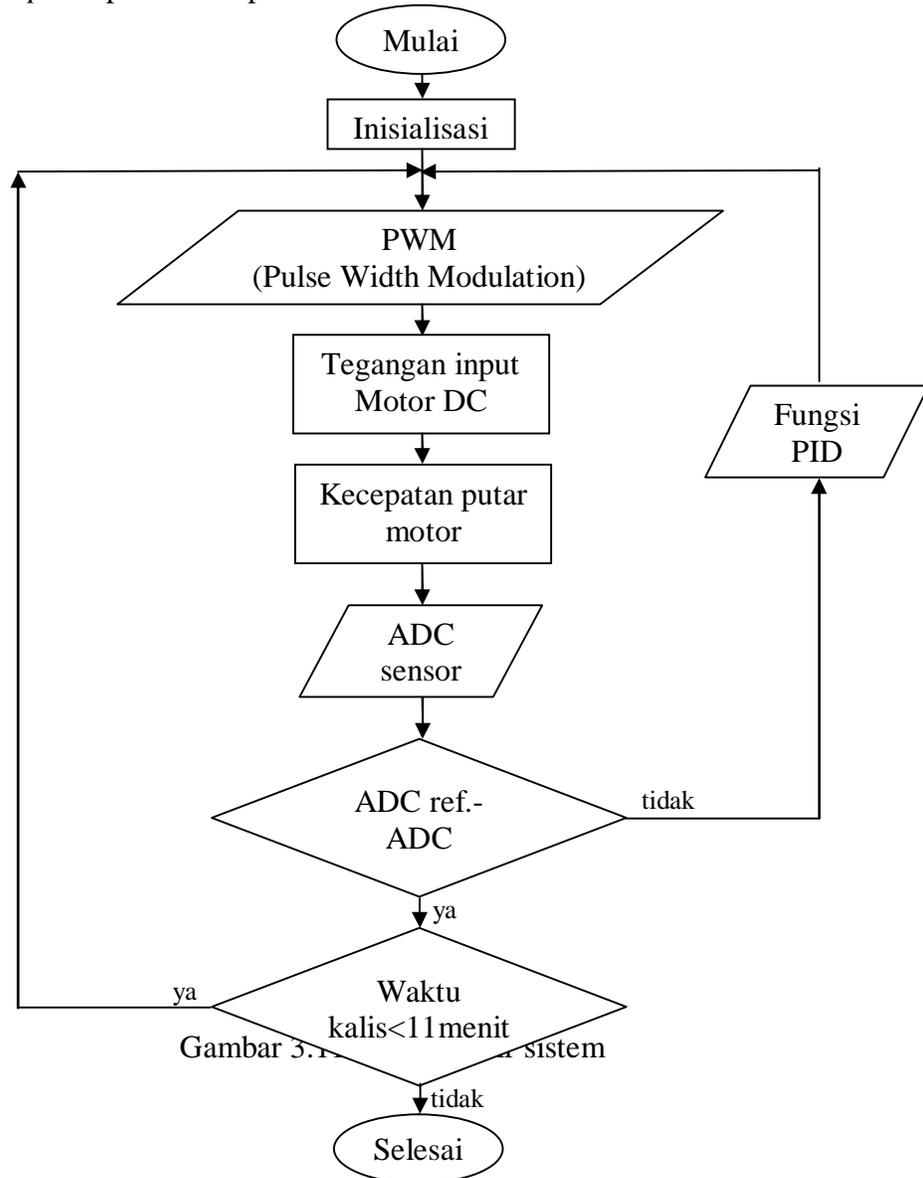


Gambar 3.10 Rangkaian LCD

3.6.3 Mendesain Program pada Soft Ware Code Vision

Pada tahap ini yang di lakukan adalah membuat program untuk dijalankan pada mikrokontroler *ATmega16* yang bertujuan untuk :

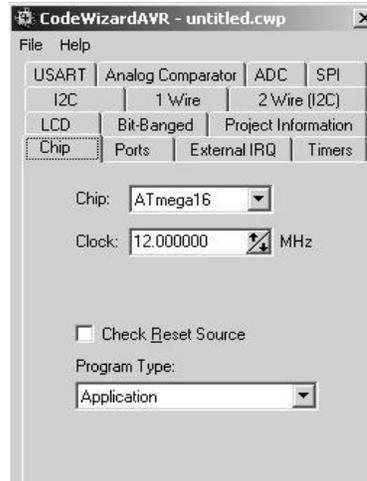
- a. Membaca masukan *ADC* sensor kecepatan berupa tegangan.
- b. Menjalankan fungsi *PID* dari *crisp* input dan diolah menjadi *crisp* output.
- c. Mengontrol putaran motor DC dengan *PWM* hasil dari perhitungan *PID crisp* output terhadap masukan *ADC*.



Gambar 3.1.1 Alirgram sistem

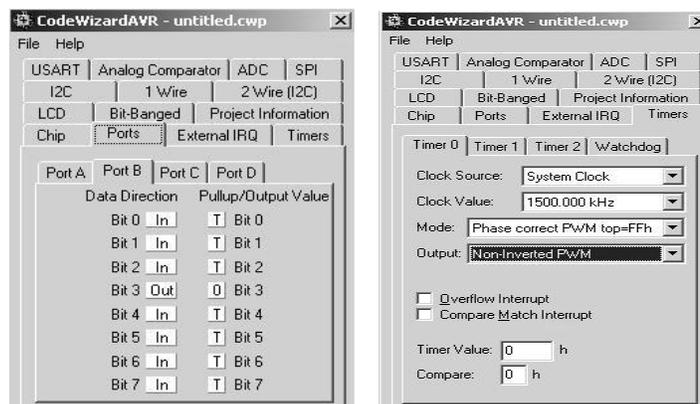
Langkah pembuatan program dengan software *AVR code vision* ialah :

1. Setelah program dibuka, kemudian pilih file – new project dan dapat dilihat tampilannya pada gambar 3.12.



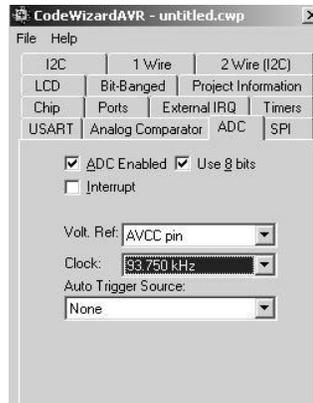
Gambar 3.12 Tampilan *Code Vision* pada *Wizard* saat Mengatur *Chip* dan *Clock*

2. Selanjutnya dilakukan pemilihan port out pada mikrokontroler yang nantinya akan dibuat sinyal PWM ke driver motor. Dipilihnya frekuensi tersebut (clock value) agar sinyal keluaran ke driver motor tidak melebihi rating pada mosfet untuk penyalaan *switching* dan aman dipakai (tidak panas) dilihat pada gambar 3.13.



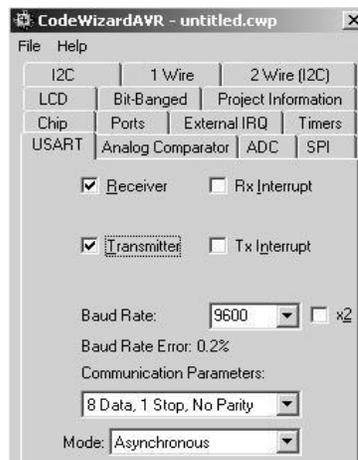
Gambar 3.13 Tampilan *Code Vision* pada *Wizard* saat Mengatur *port* dan *Timers*

3. Hasil keluran sensor frekuensi yaitu berupa tegangan antara 0 – 5 V sesuai dengan putaran yang dihasilkan. Untuk pembacaan tersebut maka di butuhkan Analog to Digital Converter pada mikrokontroler yang harus diaktifkan agar pembacaan dapat dilakukan. Pemilihan ketelitian dalam pembacaan adalah 93 kHz agar tidak terjadi koreksi yang berlebihan terhadap masukan ADC. Pemilihah tersebut dilihat pada gambar 3.14.



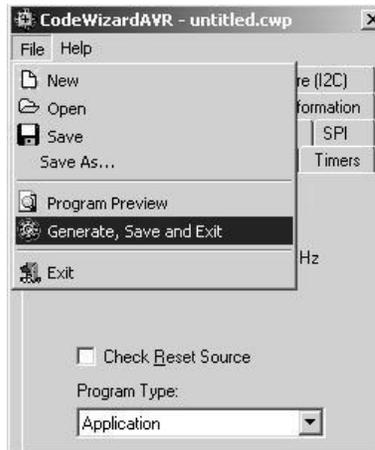
Gambar 3.14 Tampilan *Code Vision* pada *Wizard* saat Mengatur ADC

4. Agar mikrokontroler dapat termonitor maka dibutuhkan koneksi serial *USART* untuk memonitoring alat agar bekerja sesuai dengan yang di harapkan dan dijelaskan pada gambar 3.15.



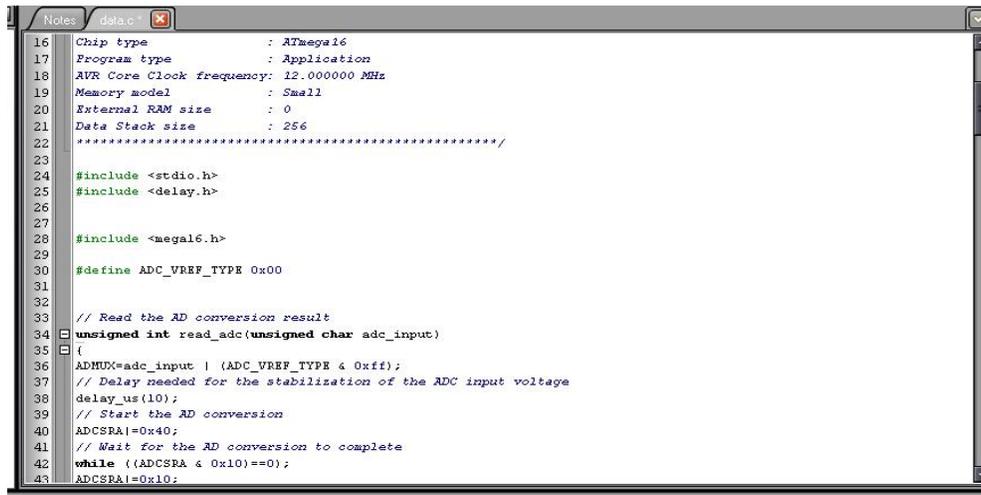
Gambar 3.15 Tampilan *Code Vision* pada *Wizard* saat Mengatur USART

5. Setelah mengaktifkan fitur mikrokontroler *Atmega16* sesuai dengan kebutuhan, selanjutnya pilih *File-Generate-Save and Exit* ditampilkan pada gambar 3.16.



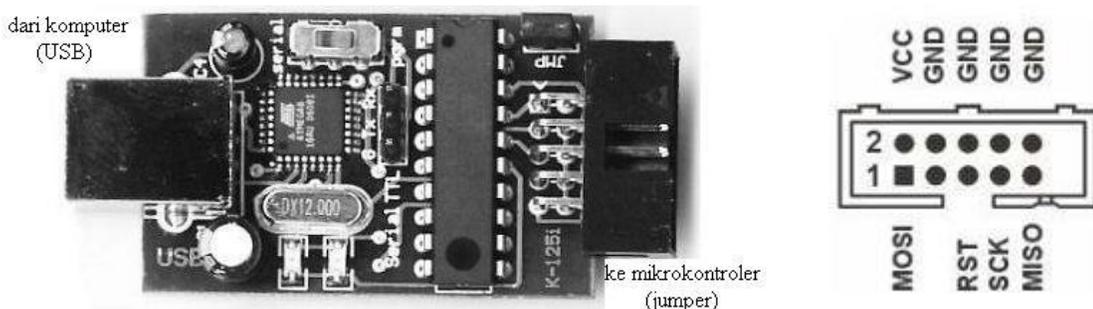
Gambar 3.16 Tampilan *Code Vision* pada *Wizard* saat Mengatur *Chip* dan *Clock*

6. Kemudian secara otomatis akan muncul *script* programnya sesuai pengaturan yang sebelumnya telah diatur. Program yang akan ditulis berada di bawah *comment* yang bertuliskan (*//place your code here!*), seperti gambar 3.17 dibawah ini :



Gambar 3.17 Tampilan *Code Vision* yang telah diatur penyetingannya

Setelah melakukan pengaturan untuk program pada *Code Vision* maka dilakukan upload program ke mikrokontroler dengan bantuan downloader *downloader USBK-125i creative vision* (gambar 3.18).



Gambar 3.18 Susunan pin dan gambar downloader USBK-125i creative vision to mikrokontroler

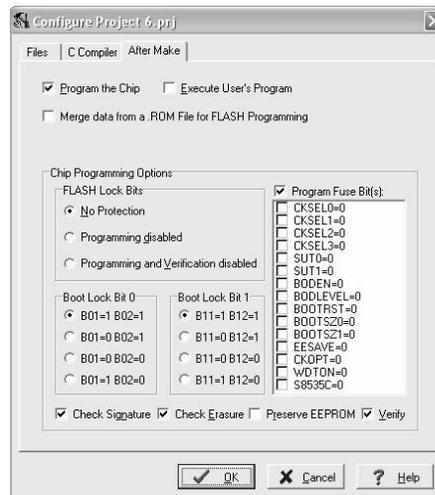
Langkah uploading program dengan bantuan *downloader USBK-125i creative vision* dan software *AVR code vision* ialah :

1. Instal driver *downloader USBK-125i creative vision*.
2. Setelah terinstal maka Pilih *setting-Programmer* lalu pilih *AVR Chip Programmer Type* dengan *Atmel AVRProg (AVR910)* kemudian tekan 'Ok'



Gambar 3.19 Tampilan *Code Vision* pada *Wizard* saat Mengatur *Programmer setting*

3. Kemudian pilih *Project-Configure* pada *tab After Make* pilih *Program The Chip* lalu 'Ok' (gambar 3.20)



Gambar 3.20 Tampilan *Code Vision* pada *Wizard* saat Mengatur *Project-Configure*

4. Jika Program tidak terjadi kesalahan dan koneksi ISP sudah terpasang dengan baik. Pilih *Make The Project-Program The chip* lalu 'Ok'(gambar 3.21). Maka program akan langsung di-*upload* ke mikrokontroler.



Gambar 3.21 Tampilan *Code Vision* pada *Wizard* saat akan melakukan *uploading*

3.7 Uji Coba Alat dengan Kontrol PID

Penentuan nilai K_p , T_i , dan T_d menggunakan metode trial and error. Maka dari itu akan diujikan beberapa kombinasi ketiga nilai tersebut sehingga menghasilkan respon yang baik.

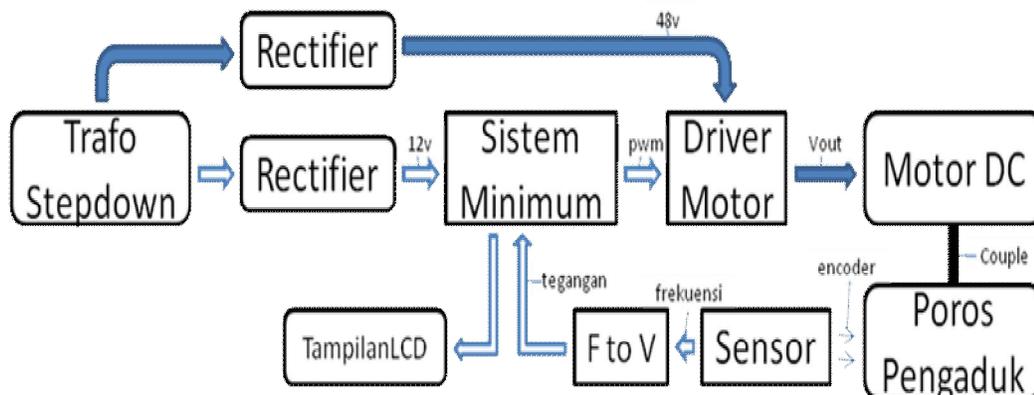
3.8 Pengolahan Hasil dan Data

Setelah tercipta alat dengan kontrol PID maka akan didapatkan data-data untuk diolah dan memunculkan kesimpulan dari penelitian ini.

3.9 Penyusunan Laporan

Secara formal kegiatan penelitian yang telah dilakukan hingga selesai dilaporkan dalam bentuk tulisan dengan tata cara penulisan yang telah ditentukan.

3.10 Bagan Sistem Kerja Alat



Gambar 3.22 Bagan sistem kerja alat

Dari bagan(Gambar 3.22) dapat dijelaskan alurnya sebagai berikut:

1. Trafo stepdown 5A berfungsi sebagai pensuplay tegangan AC 48v dan 12v (*additional*). Kemudian disearahkan oleh kedua *rectifier* masing-



masing untuk member masukan tegangan DC kepada driver motor dan rangkaian elektronika.

2. Sistem minimum akan menghasilkan pulse width modulation (pwm) ke driver motor. PWM inilah yang nantinya akan mengatur besar kecilnya tegangan masukan ke motor DC ½ HP.
3. Saat motor DC ½ HP berputar maka akan menggerakkan encoder yang telah decouple dengan poros motor. Kemudian akan dibaca oleh sensor kecepatan (decoder).
4. Hasil pembacaan sensor kecepatan (optocoupler) tidak dapat langsung diolah oleh ADC pada mikro dikarenakan output yang dihasilkan masih berupa frekuensi. Untuk itu perlu adanya rangkaian yang fungsinya mengubah nilai frekuensi menjadi tegangan yang dinamakan rangkaian f to v.
5. Output dari f to v berupa tegangan dikonversikan terlebih dahulu oleh mikrokontroler menjadi digital (bilangan heksa) agar nantinya dapat diolah oleh sistem PID yang telah diprogram di dalam mikrokontroler sehingga menghasilkan output pwm yang sesuai dengan keinginan.



BAB 4. HASIL DAN ANALISA DATA

4.1 Pengambilan Data Motor DC ½ HP

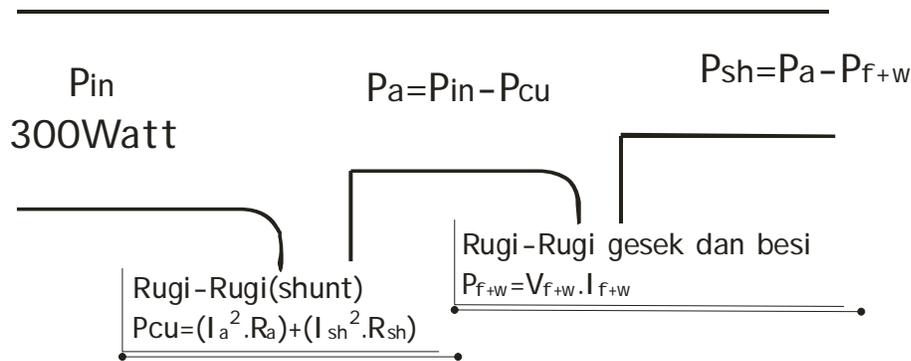
Langkah awal menurut metode kegiatan pada penelitian ini adalah pengambilan data, antara lain data motor DC dan data adonan. Langkah ini dimaksudkan agar dapat menentukan seberapa besar kapasitas adonan yang dapat digerakkan oleh motor DC ½ HP.

Motor DC pada umumnya memiliki data-data yang dinamakan datasheet. Gambar 4.1 merupakan datasheet motor DC ½ HP yang tertera pada name plate motor.

<p>Datasheet Motor:</p> <p>Daya (P) = 300Watt = 0,402HP = 30,15 kg.m/s</p> <p>Tegangan masukan (V) = 48 volt</p> <p>Kecepatan putar (n) = 1400rpm</p>

Gambar 4.1 Datasheet motor DC ½ HP

Dalam pengaplikasiannya motor DC memiliki rugi-rugi daya sehingga nilai daya masukan tidaklah sama dengan daya keluaran. Dengan kata lain tidak ada motor DC yang memiliki efisiensi 100%. Maka dari itu pada penelitian ini akan dilakukan pencarian nilai daya yang hilang tersebut, baik itu rugi-rugi yang diakibatkan oleh tembaga pada motor (P_{cu}) maupun rugi-rugi yang diakibatkan oleh gesekan bantalan dan angin (P_{f+w}). Gambar 4.2 adalah gambaran dimana P_{sh} merupakan daya yang dihasilkan oleh motor DC setelah dilakukan pengurangan rugi-rugi.



Gambar 4.2 Rugi-rugi tembaga dan gesek pada motor

Sebelum melakukan perhitungan rugi-rugi haruslah mengetahui jenis motor yang akan digunakan pada penelitian ini, apakah menggunakan motor seri ataukah motor shunt. Salah satu cara untuk mengetahui jenis motor yang akan digunakan pada penelitian ini ialah dengan mengukur nilai resistansi jangkar (R_a) dan nilai resistansi medan (R_{sh}). Apabila selisih nilai resistansi dari tahanan jangkar dan tahanan medan kecil maka dapat dipastikan motor tersebut adalah jenis motor seri, namun apabila selisihnya besar maka dapat dipastikan motor tersebut adalah jenis motor shunt. Berikut adalah data yang diperoleh:

$$R_a = 4,3 \text{ ohm}$$

$$R_{sh} = 28,3 \text{ ohm}$$

Dari data resistansi tersebut dapat diketahui bahwa motor yang akan digunakan pada penelitian ini adalah jenis motor shunt.

Selanjutnya untuk mengetahui seberapa besar nilai rugi-rugi tembaga (P_{cu}) pada motor maka haruslah melakukan pengambilan data langsung, yaitu dengan mengukur nilai arus jangkar (I_a) dan arus medan (I_{sh}) pada saat pemberian nilai tegangan masukan nominal (pada *datasheet* dituliskan 48v). Berikut ini adalah data yang diperoleh:

$$I_a = 1,53 \text{ A}$$

$$I_{sh} = 0,21 \text{ A}$$

Dari data tersebut maka akhirnya dapat kita ketahui nilai rugi-rugi tembaga (P_{cu}) pada motor DC ½ HP ini, yaitu dengan memasukkan nilai resistansi dan nilai arus kedalam persamaan berikut:



$$P_{cu} = (I_a^2 \times R_a) + (I_{sh}^2 \times R_{sh}) = (1,53^2 \times 4,3) + (0,21^2 \times 28,3) = 11,3139 \text{ Watt}$$

Rugi-rugi yang akan dicari selanjutnya adalah rugi-rugi gesek dan besi (P_{f+w}). Cara untuk mengetahuinya juga harus melakukan pengambilan data langsung, yaitu dengan melakukan pengambilan data arus masukan motor dengan memberikan masukan tegangan bertahap, mulai dari tegangan 50v sampai dengan nilai arus masukan bernilai tetap. Berikut ini (tabel 4.1) adalah tabel data tegangan dan arus masukan motor yang telah diambil:

Tabel 4.1 Tegangan dan arus masukan motor

$V_{in}(\text{volt})$	$I_{in}(A)$
50	1,81
48	1,72
46	1,64
44	1,57
42	1,5
40	1,45
38	1,39
36	1,32
34	1,25
32	1,22
30	1,17
28	1,09
26	1,02
24	0,96
22	0,89
20	0,84
18	0,77
16	0,71
14	0,65
12	0,61
10	0,54
8	0,51
6	0,49
4	0,5
2	0,51

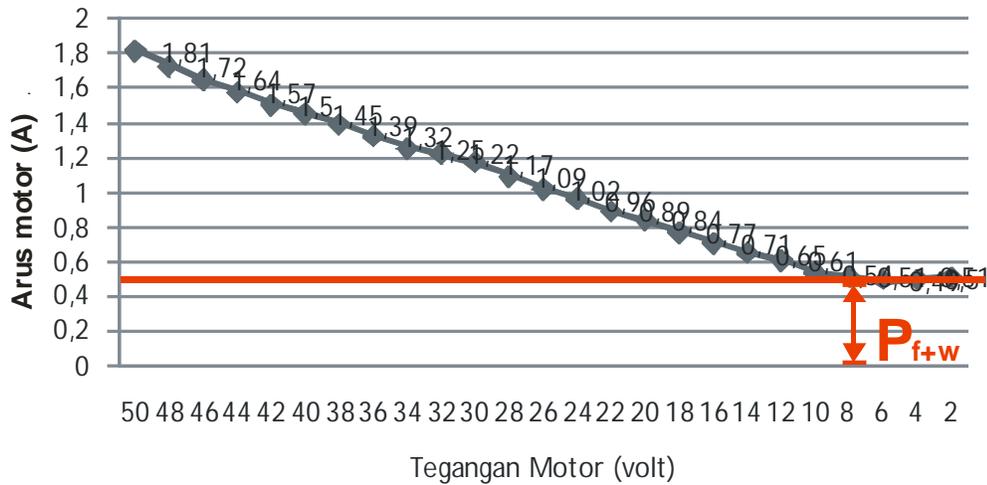
Dari data tabel 4.1 diatas dapat dilihat bahwa pada saat pemberian nilai tegangan 8volt hingga 2volt, arus yang melewati jangkar maupun medan tidak mengalami penurunan. Menurut teori, pada titik awal dimana arus tidak mengalami perubahan meskipun tegangan masukan diperkecil inilah merupakan titik rugi-rugi gesek dan besi(P_{f+w}). Dapat dilihat pula grafik pada gambar 4.3, nilai tegangan berbanding lurus dengan nilai arus sehingga garis grafik mengalami penurunan yang hampir linier lalu kemudian pada saat tegangan masukan 8volt, 6volt, 4volt, dan 2volt nilai arus tidak mengalami penurunan yang signifikan. Sehingga dapat ditemukan nilai rugi-rugi gesek dan besi(P_{f+w}) sebagai berikut:

$$P_{f+w} = V_{f+w} \times I_{f+w} = 8 \times 0,51 = 4,08Watt$$

Sehingga hasil akhir dari keluaran daya yang dihasilkan motor setelah mengalami pengurangan rugi-rugi dapat dihitung menggunakan rumus (3-3):

$$P_{sh} = P_{in} - (P_{cu} + P_{f+w}) = 300 - (11,31 + 4,08) = 284,61Watt$$

Grafik Lengkungan Tegangan dan Arus



Gambar 4.3 Data pengujian tegangan terhadap arus



Dari data-data yang telah dikumpulkan diatas, selanjutnya akan dapat dihitung nilai gaya *shaft* (F_{sh}) dan torsi shaft (T_{sh}) motor dengan menggunakan rumus (3-4) dan (3-5).

$$T_{sh} = 9,55 \times \frac{P_{sh(watt)}}{n_{(rpm)}} = 9,55 \times \frac{284,61watt}{729rpm} = 3,7284N.m$$

Motor sebagai tenaga penggerak disini haruslah memiliki gaya maupun torsi yang lebih agar tuas pengaduk dapat mengaduk adonan dalam jumlah tertentu. Agar mengetahui seberapa besar kuantitas adonan yang mampu digerakkan oleh motor DC ½ HP, maka dapat dituliskan syarat-syarat sebagai berikut:

$$\ddot{U} F_{motor} \rangle F_{adonan} \quad (\text{Syarat I})$$

$$\ddot{U} T_{motor} \rangle T_{adonan} \quad (\text{Syarat II})$$

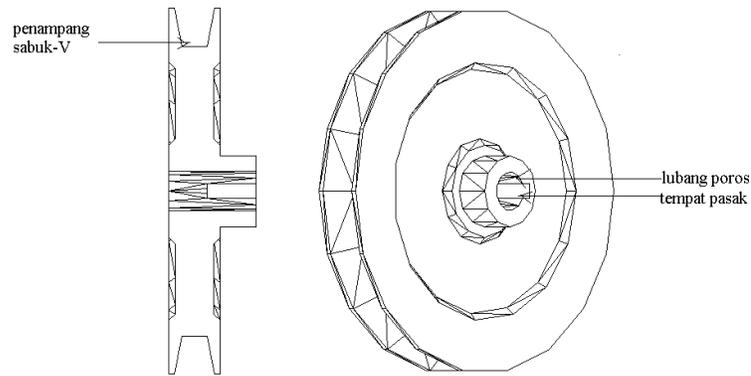
$$\ddot{U} \text{Kecepatan maksimum motor } 130rpm \text{ sampai dengan } 200rpm \quad (\text{Syarat III})$$

Untuk memenuhi syarat I dan syarat II nantinya akan dilakukan pengujian pembebanan langsung terhadap alat. Setelah ditemukan nilai gaya dan torsi selanjutnya menyesuaikan kecepatan putar pengaduk sehingga syarat III terpenuhi. Dimana pada syarat III kecepatan putar yang dikehendaki pada poros pulley2 adalah 130rpm-200rpm. Solusinya ialah memperbesar diameter pulley2(gambar4.4). Untuk mengetahui seberapa besar diameter pulley yang akan dipasang pada poros kedua maka harus dilakukan perhitungan menurut kecepatan maksimal yang dikehendaki yaitu 200rpm. Hal ini dapat ditentukan dengan menggunakan rumus perbandingan berikut:

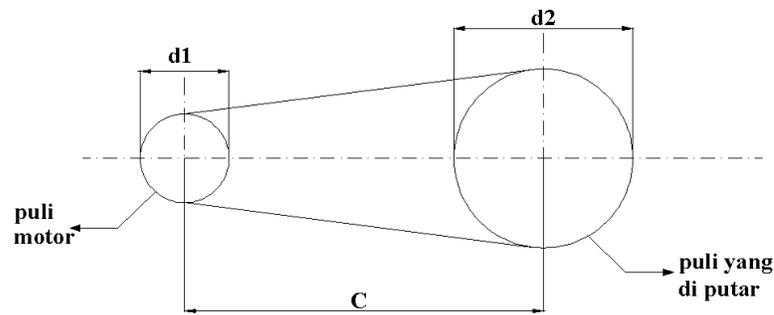
$$D_1 \times n_1 = D_2 \times n_2$$

$$5 \times 800 = D_2 \times 200$$

$$D_2 = 20cm$$



Gambar 4.4 Pulley



Gambar 4.5 Pemasangan pulley1 dan pulley2 tampak samping

Setelah syarat III terpenuhi maka dapat kita tentukan bahwa diameter yang akan digunakan pada pulley1 sebesar 5cm dan pada pulley2 sebesar 20cm. Kemudian untuk mengetahui nilai gaya dan torsi pada pulley1 dan pulley2 dapat dihitung menggunakan rumus: (sebelumnya diketahui nilai $T_{motor}=3,7283N.m$)

Untuk pulley1 berada satu poros dengan rotor, artinya nilai torsinya tetap($T_{motor}=T_1$) namun nilai gayanya berbeda.

$$F_1 = \frac{T_1}{r_{pulley1}} = \frac{3,7284Nm}{0,025m} = 149,136N$$

Untuk pulley2 berlainan poros dengan rotor, artinya nilai gayanya tetap($F_1=F_2$) namun nilai torsinya berbeda.

$$T_2 = F_2 \times r_{pulley2} = 149,136N \times 0,095m = 14,16792N.m$$



Namun nilai-nilai tersebut tidak mutlak seperti pada kenyataannya, dengan kata lain terdapat error persen . Hal ini diakibatkan oleh berbagai macam rugi-rugi bantalan poros pengaduk dan rugi-rugi gesek lainnya. Maka dari itu penulis menentukan diameter pulley₂ berdasarkan pengaplikasian yaitu 19cm. Berikut ini adalah perhitungan efisiensi dari alat ini.

$$D_1 \times n_{1teori} = D_2 \times n_{2teori}$$

$$5 \times 729 = 19 \times n_{2teori}$$

$$n_{2teori} = 191,8rpm$$

$$n_{1praktek} = 688rpm$$

$$n_{2praktek} = 182rpm$$

$$\eta = \frac{n_{2praktek}}{n_{2teori}} \times 100\% = \frac{182}{191,8} \times 100\% = 94,89\%$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui nilai efisiensi dari kinerja motor DC 1/2 HP yaitu sebesar 94,89%. Artinya nilai rugi-rugi mencapai 5,11%.

4.2 Perangkat dan Pengujian

Setelah pembuatan keseluruhan alat, selanjutnya dilakukan pengujian untuk mengetahui kerja dari masing-masing rangkaian. Pengujian dilakukan perblok untuk mengetahui kerja masing-masing unit, kemudian dilakukan pengujian secara keseluruhan yang lengkap sehingga diketahui kinerja dari proyek akhir yang telah dibuat.

4.2.1. Pengujian Analog Digital Converter (ADC)

Pengujian ADC (*Analog to Digital Converter*) bertujuan untuk mengetahui kinerja dari ADC dalam mengkonversi tegangan analog ke digital. Tegangan analog yang berasal dari output rangkaian f to v akan dikonversikan menjadi bilangan desimal agar dapat diolah sebagai masukan dari kontroler PID. Nilai ADC dapat ditampilkan pada interface LCD 2x12. Dalam hal ini ADC yang digunakan memiliki resolusi 1bit, dengan rentang 0-1023desimal dan tegangan referensi yang digunakan



menggunakan power supply. Sedangkan tegangan referensi dari mikrokontroler ATmega16 sendiri adalah 4,91volt.

Data yang diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data pengujian ADC

No	Vin ADC	Output ADC (praktek)		Output ADC (teori)		Error persen	
		Desimal	Volt	Desimal	Volt	Des.(%)	V(%)
1.	0,5	103	0,49	104	0,5	0,9%	2%
2.	1	207	0,99	208	1	0,5%	1%
3.	2	416	1,99	417	2	0,2%	0,5%
4.	3	625	3	625	3	0%	0%
5.	4	839	4,02	833	4	0,6%	0,5%
6.	5	1023	4,91	1023	4,91	0%	0%

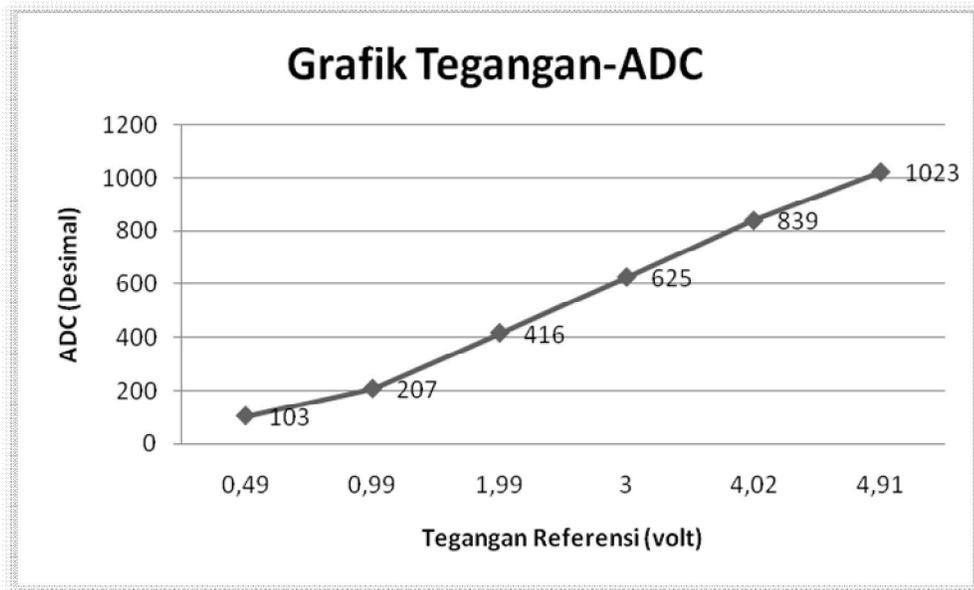
Berdasarkan data masukan ADC harga desimal dan tegangan berdasar ADC aktual terbaca yang keluar dari mikrokontroler dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$ADC(dec.) = \frac{V_{in} \times 1023}{V_{reff}(4,91volt)}$$

$$V_{in} = \frac{ADC_{aktual} \times V_{reff}(4,91volt)}{1023}$$

$$E\% = \frac{HT - HP}{HT} \times 100\%$$

Setelah melakukan pengujian ADC pada mikrokontroler dapat kita tampilkan data-data yang diperoleh pada grafik gambar 4.6, dimana garis perbandingan antara tegangan referensi dan ADC terbaca linier.



Gambar 4.6 Grafik perbandingan antara tegangan(volt)-ADC(decimal) praktek

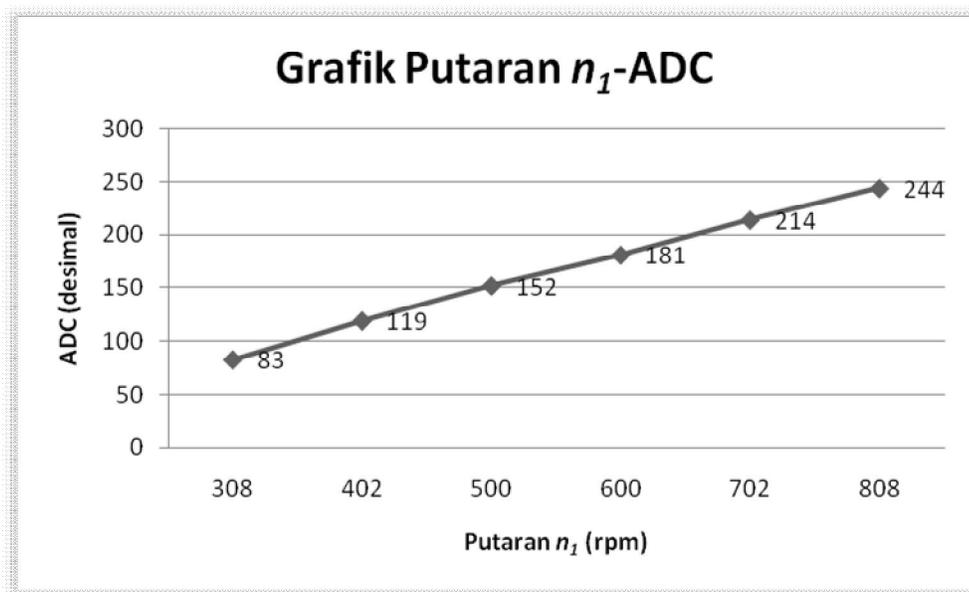
4.2.2. Pengujian Sensor (Encoder)

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, mikrokontroler membaca ADC berdasarkan frekuensi yang masuk ke dalam sensor frekuensi f to v LM2907. Sedangkan sensor membutuhkan frekuensi yang dihasilkan oleh pembacaan decoder terhadap encoder yang telah terpasang pada poros motor DC ½ HP.

Pada pengujian sensor kali ini dilakukan dengan memberikan nilai tegangan referensi kepada port ADC mikrokontroler(*ocr3*) yang berasal dari tegangan output mikrokontroler itu sendiri(4,91 volt), yaitu dengan cara menggunakan potensiometer sebagai pengatur tegangan masukan. Cara ini dilakukan untuk mempermudah dalam memperoleh data kecepatan putar motor(n_1), sehingga tidak perlu mendownload program kedalam mikrokontroler terus menerus. Pemberian tegangan masukan pada mikrokontroler diatur hingga poros motor memiliki kecepatan sesuai yang diinginkan, sehingga diperoleh data-data dan dituliskan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data pengujian sensor frekuensi hingga menjadi nilai decimal

No.	n_1 (rpm)	n_2 (rpm)	Frekuensi Input f to V (Hz)	Tegangan (Volt) sensor f to V	ADC aktual (Desimal)
1	308	79,6	0,61k	0,45	83
2	402	102,6	0,78k	0,57	119
3	500	130,5	1k	0,73	152
4	600	156,4	1,2	0,88	181
5	702	183,3	1,4	1,03	214
6	808	209,7	1,62	1,18	244



Gambar 4.7 Grafik perbandingan antara putaran(rpm) dengan ADC(decimal)

Dari tabel 4.3 dapat digambarkan grafik perbandingan antara kecepatan putar motor(n_1) dengan ADC(decimal) yang terbaca oleh mikrokontroler. Dari grafik pada gambar 4.7 dapat disimpulkan bahwa nilai kecepatan putar motor(n_1) berbanding lurus dengan nilai ADC dan menghasilkan garis yang linier. Garis linier ini dapat digunakan untuk memperoleh rumus persamaan untuk menampilkan nilai rpm pada interface LCD. Berikut perhitungan garis liniernya:

$$\frac{n - n_{\min}}{n_{\max} - n_{\min}} = \frac{ADC - ADC_{\min}}{ADC_{\max} - ADC_{\min}}$$

$$\frac{n - 308}{808 - 308} = \frac{ADC - 83}{244 - 83}$$

$$n - 308 = \frac{(808 - 308)}{(244 - 83)} \times (ADC - 83)$$

$$n - 308 = \frac{500}{161} \times (ADC - 83)$$

$$n - 308 = 3,10559 \times (ADC - 83)$$

$$n - 308 = 3,10559.ADC - 257,76397$$

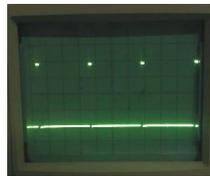
$$n = 3,10559.ADC + 50,23603$$

4.2.3. Pengujian PWM

Pengujian PWM ini bertujuan untuk melihat keluaran dari PWM yang di bangkitkan dari mikrokontroler ATmega16 menggunakan *timer 1* atau *port OCR1A* yang beresolusi 3FF pada bilangan heksa dan 1023 pada bilangan desimal. pada fasilitas mikrokontroler, *timer 1* terletak pada port D5. Penulis menggunakan frekuensi detakan sebesar 46.875 kHz.

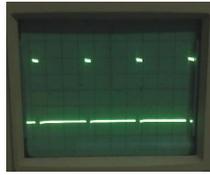
Dari pengujian yang dilakukan diambil beberapa sampel gambar (gambar4.8–4.15) dari osiloskop pada pengukuran PWM yaitu :

a. Pengujian PWM=50, $dutycycle = \frac{50}{1023} \times 100\% = 4,9\%$



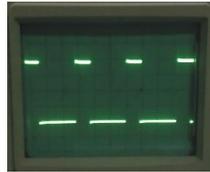
Gambar 4.8 PWM50 duty cycle 4,9%

b. Pengujian PWM=100, $dutycycle = \frac{100}{1023} \times 100\% = 9,8\%$



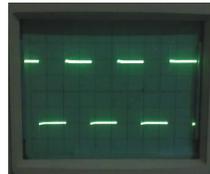
Gambar 4.9 PWM100 duty cycle 9,8%

c. Pengujian PWM=300, $duty\ cycle = \frac{300}{1023} \times 100\% = 29,3\%$



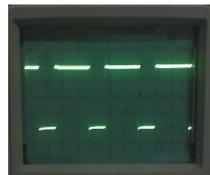
Gambar 4.10 PWM300 duty cycle 29,3%

d. Pengujian PWM=500, $duty\ cycle = \frac{500}{1023} \times 100\% = 48,9\%$



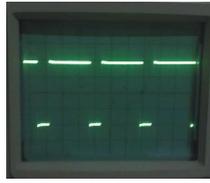
Gambar 4.11 PWM500 duty cycle 48,9%

e. Pengujian PWM=700, $duty\ cycle = \frac{700}{1023} \times 100\% = 68,4\%$



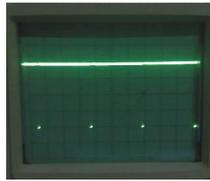
Gambar 4.12 PWM700 duty cycle 68,4%

f. Pengujian PWM=800, $duty\ cycle = \frac{800}{1023} \times 100\% = 78,2\%$



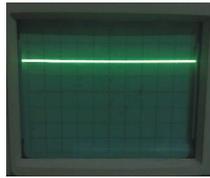
Gambar 4.13 PWM800 duty cycle 78,2%

- g. Pengujian PWM=1000, $duty\ cycle = \frac{1000}{1023} \times 100\% = 97,7\%$



Gambar 4.14 PWM1000 duty cycle 97,7%

- h. Pengujian PWM=1023, $duty\ cycle = \frac{1023}{1023} \times 100\% = 100\%$



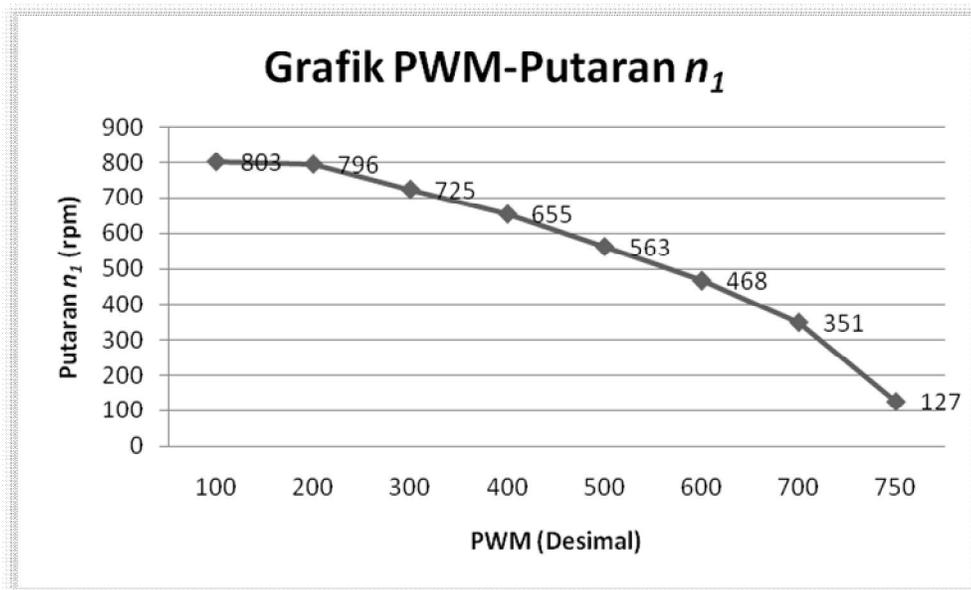
Gambar 4.15 PWM1023 duty cycle 100%

Setelah sinyal PWM dibangkitkan oleh mikrokontroler, maka sinyal PWM tersebut digunakan sebagai masukan ke dalam driver motor (*gate mosfet*) untuk mengatur putaran motor. Dari pembangkitan sinyal tersebut driver motor diuji (tanpa beban) dengan masukan PWM pada tabel 4.4. Hasil dari keluaran PWM akan dapat mengatur kecepatan motor yang berbanding terbalik terhadap besar *duty cycle* PWM.

Dalam Pengujian Tegangan masukan driver motor sebesar 48 V. Penurunan RPM terjadi karena pemotongan tegangan dengan *duty cycle* pada PWM yang semakin rapat. Harga ADC, putaran (n_1), dan tegangan pada motor berbanding terbalik terhadap kenaikan PWM, dapat dilihat pada tabel 4.4 dan gambar 4.16.

Tabel 4.4 Data kecepatan motor yang diatur PWM

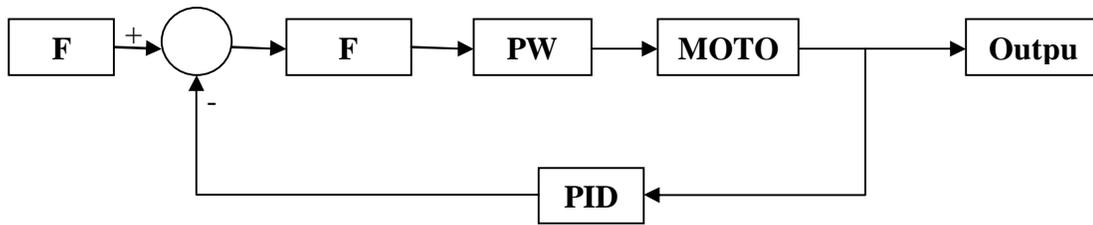
No.	Harga PWM (Desimal)	n_1 (rpm)	n_2 (rpm)	ADC (Des.)	$V_{f to v}$ (volt)	V_{in} (Volt) (Motor)	I_{in} (A) (Motor)	Duty Cycle (%)
1	100	803	210	246	1,16	55,7	2,47	9,8
2	200	796	206	240	1,15	54,5	2,35	19,5
3	300	725	188	219	1,05	48,4	2,17	29,3
4	400	655	168	195	0,94	41,6	1,97	39,1
5	500	563	146	169	0,82	35,4	1,84	48,9
6	600	468	121	140	0,68	28,4	1,68	58,6
7	700	351	91	109	0,51	20,3	1,56	68,4
8	750	127	32	40	180m	9,3	1,71	73,3



Gambar 4.16 Grafik perbandingan antara PWM(desimal) dengan putaran n_1 (rpm)

4.2.4. Pengujian Respon Kontrol dan Analisa

Dalam pembuatan alat pengaduk adonan *bakery* ini motor dikendalikan dengan PID (*Proportional-Integral-Derivative controller*). Penggunaan PID ini ditujukan agar kecepatan motor dapat konstan dan sesuai kebutuhan. Gambar 4.17. merupakan blok diagram desain kontroler PID untuk mengatur kecepatan motor :



Gambar 4.17 Desain kontroler PID Untuk Mengatur Kecepatan Motor

Tabel 4.5 Pengujian Motor menggunakan PID

No.	Kp	Ki	Kd	Keterangan Putar Motor
1	5	5	5	Tidak stabil(terputus-putus)
2	1	1	1	Kurang stabil(naik-turun)
3	5	1	0,1	Kurang stabil(naik-turun)
4	0,5	6	1	Tidak stabil(terputus-putus)
5	0,5	0,05	0,1	Stabil(respon lama)
6	0,3	1	0,1	Kurang stabil(naik-turun)
7	6,8	1	0,1	Stabil(respon agak lama)
8	6,8	0,2	0,1	Stabil(respon cepat)

Penentuan nilai Kp, Ki, Kd pada tabel 4.5 langsung diaplikasikan melalui program yang dimasukkan ke dalam mikrokontroler *ATMega16*. Jadi bisa mengetahui nilai Kp, Ki, Kd mana yang lebih stabil. Berikut perhitungan matematis untuk menstabilkan PWM motor yang kemudian dimasukkan ke dalam pemrograman pada mikrokontroler :

$$y_1 = \text{Range output minimum dari PWMout } (-1600)$$

$$y_2 = \text{Range output maksimum dari PWMout } (1600)$$

$$x_1 = \text{PWM motor mulai berputar } (770\text{dec.})$$

$$x_2 = \text{PWM maksimum motor berputar } (150\text{desimal})$$



$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$
$$\frac{y - 770}{150 - 770} = \frac{x - (-1600)}{1600 - (-1600)}$$
$$y - 770 = \frac{150 - 770}{3200} \times (x + 1600)$$
$$y - 770 = -0,19375x - 310$$
$$y = -0,19375x - 310 + 770$$
$$y = -0,19375x + 460$$

```
Kp = 0,5;
Ki = 0.06;
Kd = 0,0,6;

error = Pwm_Ref - PWM_Sensor;
P = Kp * error;
I = I + error;
I = Ki * I;
D = Kd * (error - error1);
error1 = error;
PWMout = PWMout + P + I + D;

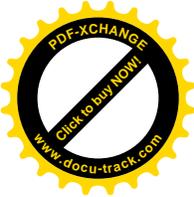
if ( PWMout > 2000 )
    {
        PWMout = 2000;
    }
else if ( PWMout < -2000 )
    {
        PWMout = -2000;
    }

PWM = (unsigned int)(-0.19375*(float)PWMout) -
460;
```



Setelah ditentukan nilai K_p , K_i dan K_d yang paling sesuai dengan karakteristik motor, pengujian selanjutnya ialah pengujian dengan menggunakan beban. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban berupa adonan bakery dan dilakukan dengan 2 kali pengujian. Pengujian pertama ialah pengujian beban dengan beban mulai dari bentuk tepung, telur, mentega, gula, dan air dicampur di dalam *bowl*. Pengujian kedua dilakukan dengan memasukkan beban adonan secara bertahap. Tahap pertama dimasukkan adonan seberat 0,4kg, tahap kedua ditambahkan lagi adonan seberat 0,4kg hingga adonan seberat 2kg masuk ke dalam *bowl*. Hasil pengambilan data dicatat dan dimasukkan kedalam tabel. Tabel 4.6, 4.8, dan 4.9 merupakan data pengujian beban pertama yaitu mencampurkan bahan mentah kedalam *bowl*, sedangkan tabel 4.12 dan 4.13 merupakan data pengujian beban kedua yaitu memasukkan adonan secara bertahap.

Perlu diketahui bahwa alat ini mampu beroperasi dalam kondisi dua kecepatan (n_2), yaitu kecepatan pertama(130rpm) pada detik 0-130 dan kecepatan kedua(159rpm) pada detik 140-selesai. Pada kecepatan pertama alat memiliki data-data awal $n_{1ref(taco)}=498rpm$, $n_{2ref(taco)}=130rpm$, $n_{1ref(LCD)}=503rpm$, PWM=537desimal, $V_{motor}=31,9volt$, $I_{motor}=1,88A$. Sedangkan pada kecepatan kedua alat memiliki data-data awal $n_{1ref(taco)}=614rpm$, $n_{2ref(taco)}=159rpm$, $n_{1ref(LCD)}=621rpm$, PWM=344desimal, $V_{motor}=40,6volt$, $I_{motor}=2,04A$. Dari data awal ini terdapat perbedaan nilai antara $n_{1ref(taco)}$ dan $n_{1ref(LCD)}$. Artinya terdapat eror persen sebesar 0,83% antara data yang ditunjukkan oleh tacometer dengan data yang ditunjukkan pada alat(LCD). Hal ini menunjukkan bahwa alat ini dapat menunjukkan kecepatan putar yang cukup baik.



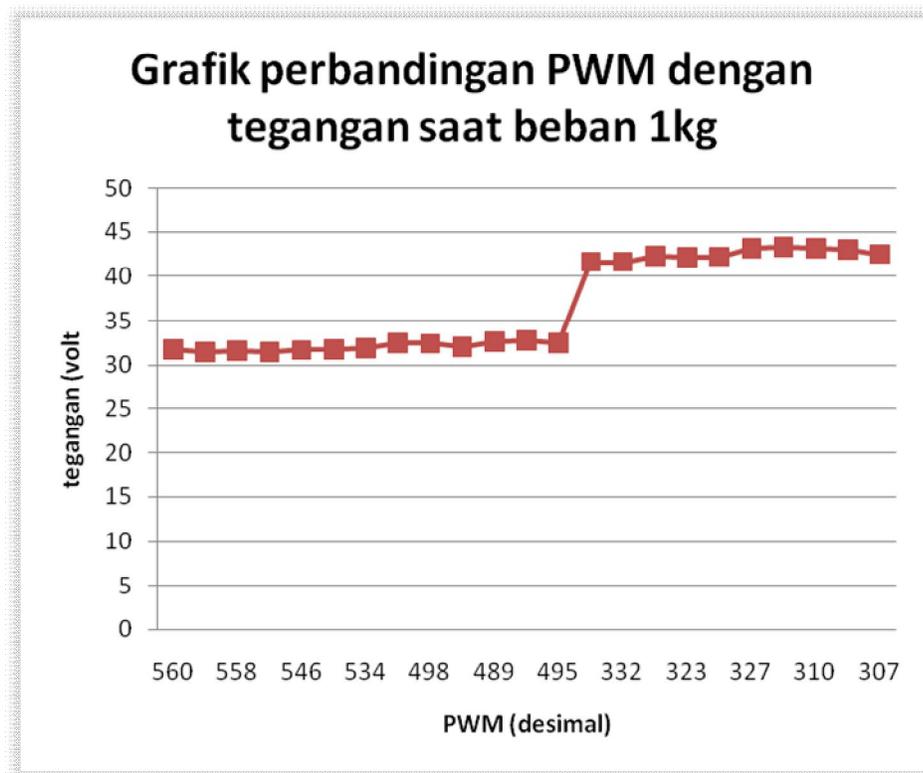
Tabel 4.6 Data pengujian beban pertama seberat 1kg dengan kontroler PID.

Waktu	n_1	n_1	PWM (Des.)	V_{motor} (v)	I_{motor} (A)	Torsi (N.m)	Erör	Erör
	tacom eter (rpm)	LCD (rpm)					tacom eter n_1 (%)	LCD n_1 (%)
10detik	494	506	560	31,8	1,79	0.7839	0,803	0.596
20detik	496	509	560	31,46	1,82	0.7904	0,401	1.192
30detik	494,7	509	558	31,59	1,84	0.8070	0,662	1.192
40detik	497,3	509	549	31,51	2,01	0.9069	0,140	1.192
50detik	498	510	546	31,72	1,95	0.8785	0	1.391
60detik	496,3	506	546	31,75	2,01	0.9162	0,341	0.596
70detik	494,3	510	534	31,9	2,10	0.9770	0,742	1.391
80detik	494,5	506	510	32,5	2,51	1.2567	0,702	0.596
90detik	498	512	498	32,4	2,59	1.3016	0	1.789
100detik	503	510	494	32,1	2,3	1.1082	1,004	1.391
110detik	514	522	489	32,6	2,46	1.2302	3,212	3.777
120detik	496,2	503	489	32,8	2,57	1.3089	0,361	0
130detik	494,8	500	495	32,5	2,44	1.2131	0,642	0.596
140detik	617,3	621	331	41,6	2,73	1.4776	0,537	0
150detik	610,5	621	332	41,6	2,92	1.6005	0,570	0
160detik	613,3	621	338	42,3	2,47	1.3362	0,114	0
170detik	598,6	610	323	42,1	2,87	1.5905	2,508	1.771
180detik	612,9	621	330	42,2	2,99	1.6737	0,179	0
190detik	614,8	615	327	43,1	2,46	1.3603	0,130	0.966
200detik	618,3	621	321	43,3	2,35	1.2938	0,700	0
210detik	614,9	618	310	43,1	2,93	1.6753	0,146	0.483
220detik	610,1	621	306	43	2,35	1.2829	0,635	0
230detik	612,9	619	307	42,5	2,76	1.5356	0,179	0.322

Dari data tabel 4.6 terdapat data erör persen kecepatan yang menunjukkan bahwa terdapat selisih nilai antara nilai referensi dengan nilai setelah diberikan beban ($n_1e\%tacometer=3,2\%$ dan $n_1e\%LCD=3,8\%$), namun nilai erör yang

ditunjukkan tidak terlalu besar sehingga dapat dikatakan alat dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan. Apabila ingin menekan eror persen sekecil mungkin disarankan menggunakan motor DC yang memiliki daya yang lebih besar ($> \frac{1}{2}$ HP). Dari data nilai tegangan mengalami kenaikan, hal ini menunjukkan bahwa mikrokontroler bekerja secara otomatis merubah nilai PWM kepada driver motor sehingga kecepatan dapat dijaga dengan konstan. Sedangkan nilai arus berubah-ubah, hal ini dikarenakan posisi beban pada bowl yang berubah ubah sehingga nilai torsi yang dibutuhkan untuk menggerakkan adonan berubah-ubah pula.

Dari data tabel 4.6 dapat digambarkan pula grafik perbandingan antara nilai PWM dengan nilai tegangan untuk setiap 10detiknya.



Gambar 4.18 Gambar grafik perbandingan PWM terhadap tegangan beban 2kg

Gambar grafik 4.18 menunjukkan bahwa sistem PID dapat bekerja cukup baik. Nilai PWM dapat meningkat secara otomatis sehingga merubah tegangan masukan pada motor meningkat pula. Pada menit ke-140 nilai tegangan melonjak



seiring dengan perubahan PWM, hal ini dikarenakan terdapat peralihan kecepatan antara kecepatan pertama dan kecepatan kedua.

Untuk mengetahui seberapa besar gaya dan torsi maksimum yang dibutuhkan untuk mengolah bakery pada alat ini, caranya dengan melihat nilai tegangan dan arus tertinggi pada setiap menitnya. Ternyata nilai arus dan tegangan tertinggi terletak pada detik ke-360 hingga selesai. Alasan mengapa pada detik ini nilai arus dan tegangannya meningkat dikarenakan pada detik ini adonan telah tercampur dan membentuk gumpalan adonan yang hampir kalis. Kemudian data-data tersebut dapat ditampilkan pada tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7 Lanjutan tabel 4.6 (1kg dengan kontroler PID)

Waktu	n_1	n_1	PWM (Des.)	V_{motor} (v)	I_{motor} (A)	Torsi (N.m)	Eror	Eror
	tacome ter (rpm)	LCD (rpm)					tacome ter n_1 (%)	LCD n_1 (%)
360detik	577	547	199	47,6	3,55	2.339	6,02	11,91
380detik	600	606	221	40,5	3,18	1.714	2,28	2,41
400detik	570	569	215	43,8	3,98	2.422	7,16	8,37
420detik	609	630	171	42,7	3,22	1.849	0,81	1,44

Dari data tabel 4.7 dapat kita lihat nilai nilai arus berbanding lurus terhadap nilai torsi, semakin meningkat nilai arus motor maka semakin meningkat pula nilai torsinya. Dari data pada tabel 4.7 didapati nilai tegangan maksimal sebesar 43,8volt dan nilai arus maksimal sebesar 3,98Ampere. Dari kedua data ini akan didapat nilai daya dan torsi maksimal yang dibutuhkan untuk dapat menggerakkan adonan seberat 1kg.



$$P_{adonan} = P_{in} - P_{rugi-rugi} = (43,8v \times 3,98A) - 18,5667watt = 155,757watt$$

$$T_{adonan} = 9,55 \times \frac{P_{adonan}}{n_{(rpm)}} = 9,55 \times \frac{155,757watt}{614rpm} = 2,4226N.m$$

$$F_{adonan} = \frac{T_{adonan}}{r_{pulley1}} = \frac{2,4226N.m}{0,025m} = 96,904N$$

Jika dibandingkan dengan gaya dan torsi yang dimiliki motor ($T_{motor}=3.7284N.m$ dan $F_{motor}=284,606N$), nilai gaya dan torsi adonan ($T_{adonan}=2,4226N.m$ dan $F_{motor}=96,904N$) nilainya masih lebih kecil dibandingkan dengan gaya dan torsi motor. Artinya alat dapat mengolah adonan seberat 1kg dengan baik. Waktu yang dibutuhkan untuk mengolah adonan seberat 1kg hingga kalis adalah 11menit.

Kemudian pengujian berikutnya ialah pengujian beban seberat 2kg. Proses pengujiannya sama dengan pengujian beban seberat 1kg, hanya saja berbeda pada berat bebannya.



Tabel 4.8 Data pengujian beban pertama seberat 2kg tanpa kontroler PID.

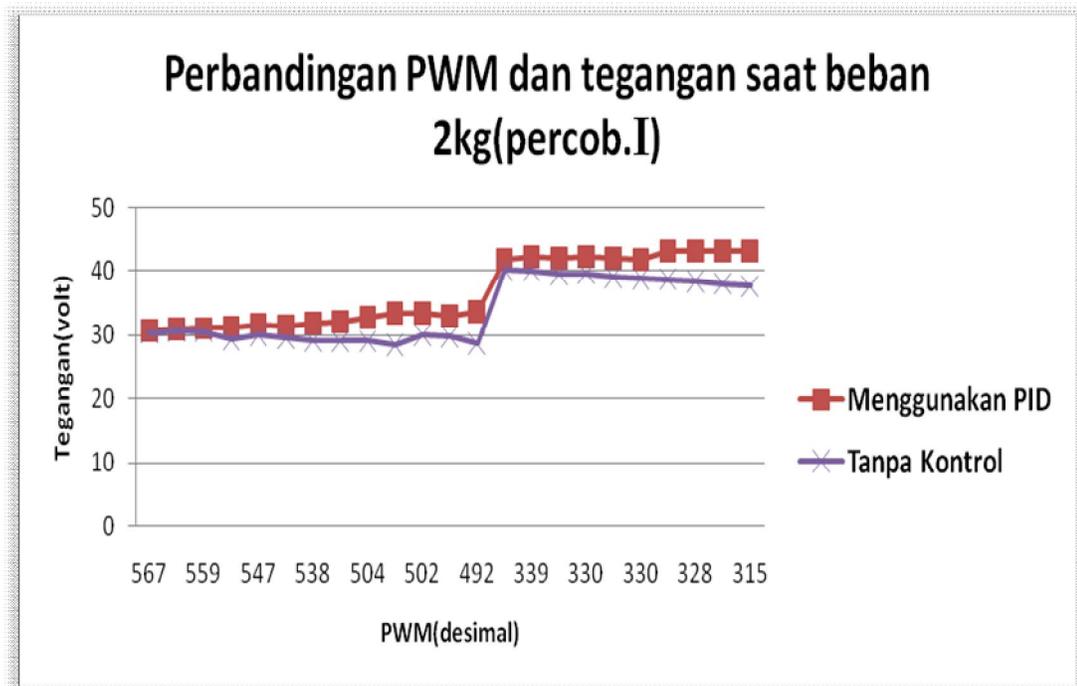
Waktu	n_1 tacometer (rpm)	n_1 LCD (rpm)	PWM (Des.)	V_{motor} (v)	I_{motor} (A)	Torsi (N.m)	Erortacometer n_1 (%)	Erortacometer n_1 (%)
10detik	446	450	537	30,38	2,35	1.061	10,44	10,53
20detik	446	447	537	30,67	2,66	1.237	10,44	11,13
30detik	441	450	537	30,61	2,41	1.068	11,44	10,53
40detik	439	438	537	29,25	2,44	1.003	11,84	12,92
50detik	440	438	537	30,14	2,73	1.193	11,64	12,92
60detik	438	435	537	29,49	2,97	1.276	12,04	13,51
70detik	434	432	537	29,23	2,62	1.045	12,85	14,11
80detik	436	435	537	29,05	2,47	0.934	12,44	13,51
90detik	434	438	537	29,05	2,99	1.204	12,85	12,92
100detik	432	435	537	28,45	2,27	0.758	13,25	13,51
110detik	429	436	537	30,06	2,56	0.976	13,85	13,32
120detik	430	435	537	29,82	2,65	0.996	13,65	13,51
130detik	430	435	537	28,67	2,58	0.880	13,65	13,51
140detik	575	581	344	40,3	2,85	1.597	6,351	6,441
150detik	568	571	344	40,1	2,74	1.482	7,491	8,051
160detik	570	575	344	39,6	3,07	1.687	7,166	7,407
170detik	566	571	344	39,7	2,84	1.499	7,817	8,051
180detik	561	565	344	39,1	2,92	1.507	8,631	9,017
190detik	562	564	344	38,9	3,08	1.596	8,469	9,178
200detik	561	565	344	38,8	2,99	1.504	8,631	9,017
210detik	560	568	344	38,4	3,14	1.572	8,794	8,534
220detik	558	556	344	38,1	2,68	1.199	9,120	10,46
230detik	559	565	344	37,7	2,41	0.964	8,957	9,017



Tabel 4.9 Data pengujian beban pertama seberat 2kg dengan kontroler PID.

Waktu	n_1 tacometer (rpm)	n_1 LCD (rpm)	PWM (Des.)	V_{motor} (v)	I_{motor} (A)	Torsi (N.m)	Eror tacometer n_1 (%)	Eror LCD n_1 (%)
10detik	496	509	567	30,78	1,77	0,737	0,40	1.19
20detik	498	509	561	31	1,74	0,726	0	1.19
30detik	495	509	559	31,12	1,95	0,856	0,60	1.19
40detik	496	516	553	31,2	1,9	0,829	0,40	2.58
50detik	495	506	547	31,65	1,99	0,900	0,60	0.59
60detik	495	516	542	31,54	2,04	0,926	0,60	2.58
70detik	493	509	538	32	2,27	1,085	1,00	1.19
80detik	492	512	514	32,1	2,53	1,249	1,20	1.78
90detik	493	516	504	32,9	2,18	1,067	1,00	2.58
100detik	496	510	513	33,5	2,78	1,478	0,40	1.39
110detik	497	519	502	33,5	2,24	1,131	0,20	3.18
120detik	494	510	493	33	2,78	1,451	0,80	1.39
130detik	493	516	492	33,8	3,05	1,669	1,00	2.58
140detik	616	624	345	41,8	2,77	1,512	0,32	0.48
150detik	610	634	339	42,2	2,49	1,345	0,65	2.09
160detik	612	621	333	42	2,84	1,566	0,32	0
170detik	614	631	330	42,3	2,47	1,336	0	1.61
180detik	609	634	328	42	3,05	1,703	0,81	2.09
190detik	614	621	330	41,8	2,57	1,382	0	0
200detik	610	624	327	43,1	2,49	1,380	0,65	0.48
210detik	616	634	328	43,1	2,61	1,460	0,32	2.09
220detik	619	615	312	43,1	2,52	1,400	0,81	0.96
230detik	615	612	315	43,2	2,45	1,357	0,16	1.44

Dari data pada tabel 4.8 didapati nilai eror persen kecepatan pada saat tanpa menggunakan kontroler PID $n_{tacometer}=13,85\%$. Nilai ini lebih besar dibandingkan dengan nilai eror persen pada saat diberi kontroler PID (tabel 4.9) yaitu 3,2%. Hal ini dikarenakan nilai PWM tidak berubah secara otomatis nilai tegangannya pun tidak berubah, sehingga nilai kecepatan putar motor tidak dapat dijaga dengan konstan. Dari data tabel 4.8 dan 4.9 dapat digambarkan pula grafik perbandingan antara nilai PWM dengan nilai tegangan untuk setiap 10detiknya.



Gambar 4.19 Grafik percobaan I perbandingan PWM terhadap tegangan

Gambar grafik 4.19 menunjukkan bahwa sistem PID bekerja lebih baik pada saat menggunakan PID, hal ini dikarenakan nilai tegangan dapat meningkat secara otomatis berbeda pada saat tanpa menggunakan kontrol. Kenaikan nilai PWM dapat merubah tegangan masukan pada motor meningkat pula, sehingga pada saat menggunakan PID kecepatan dapat dijaga dengan konstan dan eror persen yang kecil. Pada menit ke-140 nilai tegangan melonjak seiring dengan perubahan PWM, hal ini dikarenakan terdapat peralihan kecepatan antara kecepatan pertama dan kecepatan kedua.



Tabel 4.10 Lanjutan tabel 4.9 (2kg dengan control PID)

Waktu	n_1 tacome ter (rpm)	n_1 LCD (rpm)	PWM (Des.)	V_{motor} (v)	I_{motor} (A)	Torsi (N.m)	Eror tacomet er $n_1(\%)$	Eror LCD $n_1(\%)$
360detik	695,3	705	219	43,5	3,78	2.268	13,241	13,52
380detik	694	711	219	43,9	3,87	2.353	13,02	14,49
400detik	662	696	159	43	4,72	2.868	7,81	12,07
420detik	545,6	599	150	42,7	5,40	3.297	11,14	3,54

Demikian pula data tabel 4.10 serupa dengan data pada tabel 4.7 dapat kita lihat nilai nilai arus berbanding lurus terhadap nilai torsi, semakin meningkat nilai arus motor maka semakin meningkat pula nilai torsinya. Namun nilai torsi pada saat beban 2kg lebih besar dibandingkan dengan nilai torsi pada saat beban 1kg. Dari data pada tabel 4.10 didapati nilai tegangan maksimal sebesar 42,7volt dan nilai arus maksimal sebesar 5,4Ampere. Dari kedua data ini akan didapat nilai daya dan torsi maksimal yang dibutuhkan untuk dapat menggerakkan adonan seberat 2kg.

$$P_{adonan} = P_{in} - P_{rugi-rugi} = (42,7v \times 5,4A) - 18,566watt = 212,013watt$$

$$T_{adonan} = 9,55 \times \frac{P_{adonan}}{n_{(rpm)}} = 9,55 \times \frac{212,013watt}{614rpm} = 3,297N.m$$

$$F_{adonan} = \frac{T_{adonan}}{r_{pulley1}} = \frac{3,297N.m}{0,025m} = 131,88N$$

Jika dibandingkan dengan gaya dan torsi yang dimiliki motor ($T_{motor}=3,7284N.m$ dan $F_{motor}=284,606N$), nilai gaya dan torsi adonan ($T_{adonan}=3,297N.m$ dan $F_{motor}=212,013N$) nilainya masih lebih kecil dibandingkan dengan gaya dan torsi motor. Artinya alat dapat mengolah adonan seberat 2kg dengan baik. Waktu yang dibutuhkan untuk mengolah adonan seberat 2kg hingga kalis adalah 13menit.

Kendala dalam pengujian berbeban ini mengalami kendala pada saat pembebanan seberat 3kg. Hal ini dikarenakan nilai tegangan dan arus yang



ditunjukkan oleh multi meter sangat tinggi, sehingga melebihi daya nominal dari motor yaitu 300watt. Nilai tegangan maksimum pada saat pembebanan 3kg sebesar 46,7volt dan arus maksimum sebesar 12,3Ampere. Jika dimasukkan kedalam rumus gaya dan torsi (persamaan 3-3, 3-4, 3-5):

$$P_{adonan} = P_{in} - P_{rugi-rugi} = (46,7v \times 12,3A) - 18,566watt = 555,844watt$$

$$T_{adonan} = 9,55 \times \frac{P_{adonan}}{n_{(rpm)}} = 9,55 \times \frac{555,844watt}{614rpm} = 8,645N.m$$

$$F_{adonan} = \frac{T_{adonan}}{r_{pulley1}} = \frac{8,645N.m}{0,025m} = 345,81N$$

Untuk dapat membandingkan nilai gaya dan torsi dapat dimasukkan kedalam tabel 4.11 sebagai berikut.

Tabel 4.11 Perbandingan gaya dan torsi pada beban 1kg, 2kg, dan 3kg

Massa (kg)	$F_{motor} (N)$	$F_{adonan} (N)$	$T_{motor} (N.m)$	$T_{adonan} (N.m)$
1	284,606	96,904	3,7284	2,422
2	284,606	131,88	3,7284	3,297
3	284,606	345,81	3,7284	8,645

Dapat dilihat pada tabel 4.11 bahwa pada saat pembebanan 1kg nilai gaya F_{motor} lebih besar daripada F_{adonan} (syarat I terpenuhi), begitu pula dengan nilai torsinya T_{motor} lebih besar daripada T_{adonan} (syarat II terpenuhi). Begitu pula pada pembebanan 2kg. Namun pada pembebanan 3kg baik nilai F_{motor} maupun nilai T_{motor} lebih kecil daripada F_{adonan} dan T_{adonan} , sehingga pada saat pembebanan 3kg ini syarat I dan syarat II tidak terpenuhi.

Pengujian selanjutnya ialah pengujian kedua yaitu pengujian pembebanan bertahap. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon dari alat pengaduk adonan *bakery* ini. Data-data pengujian kedua ini dapat ditampilkan pada tabel 4.12 dan 4.13 seperti berikut.



Tabel 4.12 Data pengujian tahap kedua tanpa kontroler PID

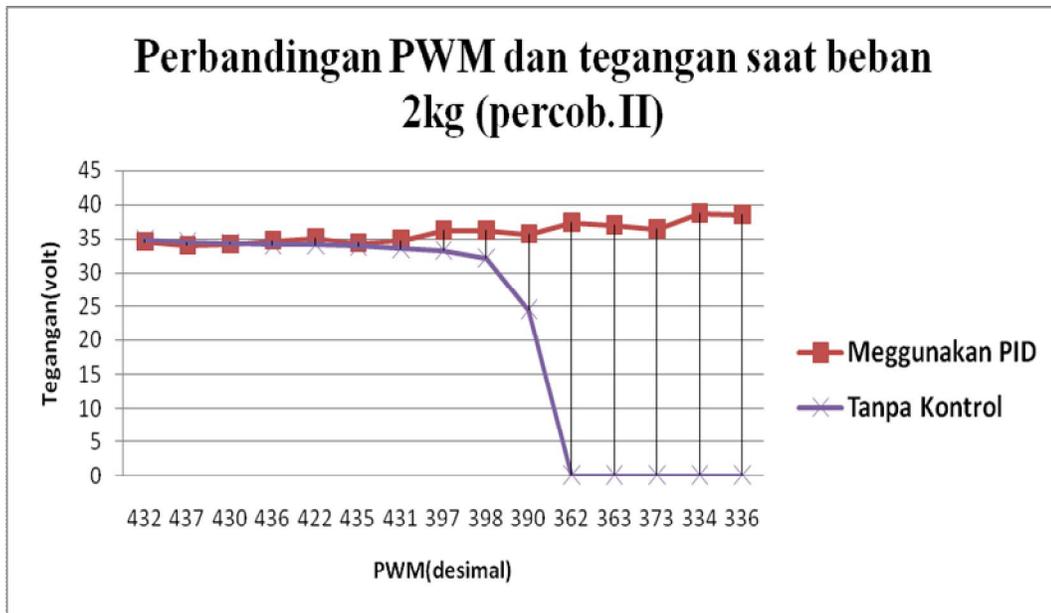
Massa Adonan	Waktu	n_I tacometer (rpm)	n_I LCD (rpm)	Pwm (Des.)	V_{motor} (v)	I_{motor} (A)	Erortacometer n_I (%)	Erort LCD n_I (%)
0,4kg	10detik	545,1	553	468	34,9	1,99	1,7927	2,4074
	20detik	544,3	556	468	34,5	1,98	1,6433	2,9629
	30detik	538,4	534	468	34,4	1,97	0,5415	1,1111
0,8kg	10detik	528,1	531	468	34,1	2,03	1,3818	1,6666
	20detik	533,1	537	468	34,1	1,97	0,4481	0,5555
	30detik	533,1	534	468	33,9	2,07	0,4481	1,1111
1,2kg	10detik	518	523	468	33,5	2,12	3,2679	3,1481
	20detik	485	486	468	33,3	2,11	9,4304	10
	30detik	489	491	468	32,1	3,01	8,6834	9,0740
1,6kg	10detik	246,9	245	468	24,47	8,1	53,893	54,629
	20detik	0	0	0	0	0	100	100
	30detik	0	0	0	0	0	100	100
2kg	10detik	0	0	0	0	0	100	100
	20detik	0	0	0	0	0	100	100
	30detik	0	0	0	0	0	100	100



Tabel 4.13 Data pengujian tahap kedua dengan kontroler PID

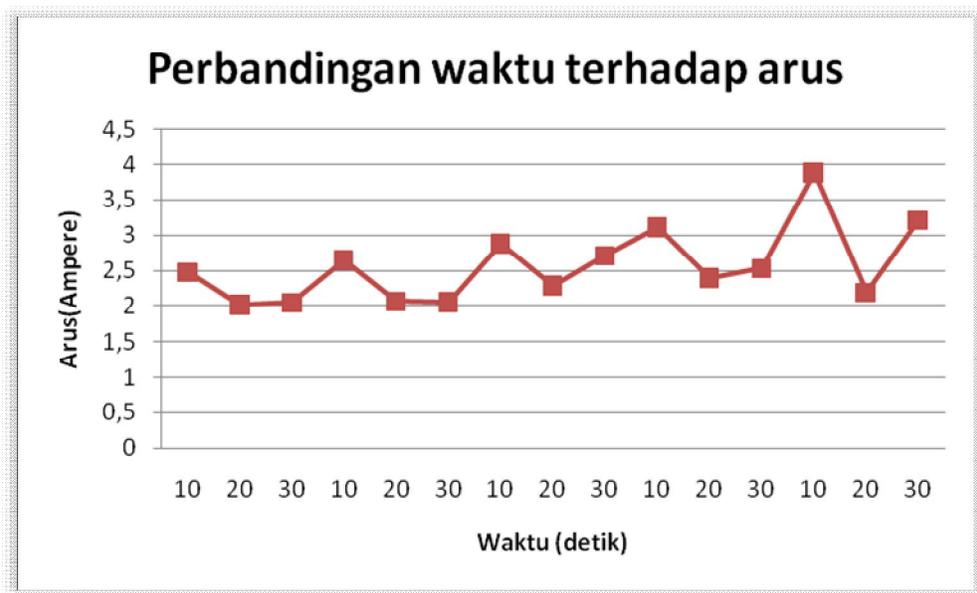
Massa Adonan	Waktu	n_I		Pwm (Des.)	V_{motor} (v)	I_{motor} (A)	Error	
		tacometer (rpm)	LCD (rpm)				tacometer n_I (%)	Error LCD n_I (%)
0,4kg	10detik	530,4	534	432	34,5	2,48	0.95	1.11
	20detik	535,1	540	437	34	2,02	0.07	0
	30detik	534,8	537	430	34,2	2,05	0.13	0.56
0,8kg	10detik	528	534	436	34,7	2,65	1.4	1.11
	20detik	536	544	422	35,1	2,07	0.09	0.74
	30detik	536,3	544	435	34,4	2,06	0.15	0.74
1,2kg	10detik	524,3	534	431	34,8	2,88	2.09	1.11
	20detik	532,2	544	397	36,2	2,29	0.62	0.74
	30detik	537	547	398	36,2	2,71	0.28	1.29
1,6kg	10detik	505	506	390	35,7	3,11	5.7	6.3
	20detik	539,6	544	362	37,4	2,4	0.77	0.74
	30detik	535	540	363	37	2,53	0.09	0
2kg	10detik	490	497	373	36,5	3,88	8.5	7.96
	20detik	551	556	334	38,7	2,19	2.89	2.96
	30detik	537,8	544	336	38,6	3,21	0.43	0.74

Begitupula data pada saat pengujian kedua kali ini, nilai eror persen kecepatan *nItacometer* pada saat tanpa menggunakan kontroler PID (tabel 4.14) mencapai nilai 53,89% hingga kemudian motor tidak mampu berputar sehingga alat harus dihentikan dikarenakan pada saat pemberian beban 1,6kg motor tidak mampu menggerakkan adonan. Jika digambarkan pada grafik perbandingan antara nilai PWM dan tegangannya dapat kita lihat pada gambar 4.20. Pada saat tanpa menggunakan kontroler PID nilai PWM tidak berubah maka nilai tegangan akan terus menurun. Berbeda pada saat menggunakan kontroler PID, PWM dapat meningkatkan tegangan secara otomatis sehingga motor dapat beroperasi hingga beban 2kg.



Gambar 4.20 Grafik percobaan II perbandingan PWM terhadap tegangan

Demikian pula pada tabel 4.13 data eror persen kecepatan menunjukkan nilai yang tidak begitu besar. Hal ini menunjukkan kehandalan alat ini, meski diberikan beban tambahan sewaktu alat beroperasi kecepatan dapat dijaga konstan. Sedangkan data tegangan samahalnya dengan percobaan beban pertama, yaitu mengalami kenaikan pada tiap tahapnya. Dapat kita lihat nilai arus pada setiap 10detik pertama, mengalami kenaikan yang signifikan (lihat gambar 4.21). Hal ini wajar, karena motor merasakan penambahan beban kemudian secara otomatis suplai tegangan motor diperbesar oleh PWM.



Gambar 4.21 Grafik perbandingan waktu terhadap arus



BAB 5. PENUTUP

5.1. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilaksanakan dalam penelitian “Perancangan Alat Pengaduk Adonan Bakery Menggunakan Motor DC ½ HP dengan Kontroler PID”, dapat diambil beberapa kesimpulan, diantaranya:

1. Dari hasil pengujian dapat ditentukan alat pengaduk adonan *bakery* ini mampu mengaduk adonan seberat 2kg.
2. Untuk adonan seberat 1kg alat dapat mengolah hingga kalis dalam waktu 11menit, dan untuk adonan seberat 2kg dalam waktu 13menit.
3. Alat ini mampu beroperasi dalam kapasitas maksimum 2kg adonan *bakery*.
4. Hasil pengujian terhadap *hardware* menunjukkan bahwa hardware bekerja dengan baik. Output sensor kecepatan menunjukkan nilai yang linier sehingga dalam pengkonversian nilai ADC menjadi kecepatan putar bersatuan rpm dapat dicari ditemukan fungsi garis linernya yaitu $n=3,10559.ADC+50,23603$.
5. Nilai PWM berbanding terbalik terhadap nilai kecepatan putar motor(rpm), hal ini dikarenakan pada sebelum gate mosfet menggunakan transistor bersusun dua sehingga logikanyapun terbalik. Artinya pada saat driver motor menerima trigger/logika high(5volt) dari mikrokontroler maka *drain* dan *source* pada mosfet terputus/*open*, namun jika tidak menerima trigger/logika low(0volt) *drain* dan *source* pada mosfet tersambung/*close*.
6. Nilai arus berbanding lurus dengan nilai torsi.
7. Untuk mosfet tipe-N beban haruslah terpasang pada sisi Drain.
8. Dalam pengujian PID pada kondisi nilai $K_p=6.8$, $K_i=0.2$, $K_d=0.1$ merupakan kondisi yang stabil untuk motor pada alat pengaduk adonan *bakery* ini.



9. Terdapat dua kecepatan yang dapat dihasilkan oleh alat ini. Kecepatan pertama menghasilkan nilai PWM sebesar 537desimal dan menghasilkan kecepatan putar $n_2=130$ rpm. Kecepatan kedua menghasilkan nilai PWM sebesar 344desimal dan menghasilkan kecepatan putar $n_2=159$ rpm.

5.2. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, diperoleh beberapa saran sebagai berikut:

1. Untuk menghasilkan kontroler PID yang lebih akurat, maka perlu adanya data mengenai fungsi alih($f(x)$) dari motor sehingga dapat kita simulasikan pada soft ware yang telah ada seperti *MatLab*.
2. Untuk menghasilkan nilai efisiensi yang tinggi, maka harus memperbaiki mekanika sehingga rugi-rugi gesek dapat berkurang.
3. Untuk menekan eror persen pada kecepatan putar yang diinginkan serta meningkatkan kapasitas beban adonan yang akan diolah perlu mengganti motor dengan spesifikasi daya yang lebih besar dari $\frac{1}{2}$ HP.
4. Perlu penambahan rangkaian penguat tegangan keluaran dari rangkaian f to v sehingga memiliki range yang lebar, sehingga menambah keakuratan dalam pengolahan kontroler PID.
5. Dalam mendesain rangkaian driver motor perlu dipertimbangkan nilai overshoot yang ditimbulkan pada saat transien, sehingga perlu menambahkan jumlah mosfet sebanyak 6 buah dan disusun secara parallel fungsinya ialah untuk membagi daya sebanyak jumlah mosfet yang terpasang.
6. Dalam mendesain driver motor yang mengatur motor berdaya besar seperti pada alat ini, perlu diberikan proteksi berupa dioda yang terpasang pada motor dan rangkaian pemisah tegangan yang terdapat pada driver motor.



DAFTAR PUSTAKA

- S. Pakpahan. 1994. *Kontrol Otomatik Teori dan Penerapan*. Jakarta: Erlangga
- United Nations Environment Programme. 2006. *Pedoman Efisiensi untuk Industri di Asia*. www.energyefficiencyasia.org
- Lister. 1993. *Mesin dan Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga
- A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr., Stephen D. U., Ir. Joko Achyanto M.Sc.EE. 1997. *Mesin-Mesin Listrik*. Jakarta: Erlangga
- Ogata, Katsuhiko. 1996. *Teknik Kontrol Automatik*. Jakarta: Erlangga
- <http://groups.yahoo.com/group/naturalcookingclub/message/280822>



LAMPIRAN

PROGRAM PADA CODE VISION

```
#include <mega16.h>
#include <delay.h>
#include <stdio.h>

#define MAXPWM 150
#define MINPWM 770

// Alphanumeric LCD Module functions
#asm
.equ __lcd_port=0x15 ;PORTC
#endasm
#include <lcd.h>

int F_sensor,PWM_ADC,rpm;
char buf[22], buf2[22];
unsigned char det1;
unsigned int F_Ref2 = 160 ;
int P, I=0,D, ii, error, error1=0, PWMout, rate;
unsigned int PWM;
float Kp, Ki, Kd;

// Timer 0 overflow interrupt service routine
interrupt [TIM0_OVF] void timer0_ovf_isr(void)
{
//=====PID=====

det1++;
if (det1>5)
{
Kp = 6.8;
Ki = 0.2;
Kd = 0.1;

error = F_Ref2 - F_sensor;
P = Kp * error;
I = I + error;
I = Ki * I;
D = Kd * (error - error1);
error1 = error;
PWMout = PWMout + P + I + D;

if ( PWMout > 1600 )
```



```
        {
            PWMout = 1600;
        }
    else if ( PWMout < -1600 )
        {
            PWMout = -1600;
        }

    PWM = (unsigned int)(-(0.19375)*(float)PWMout)
+ 460;
    OCR1A = PWM;

    det1 = 0;
    }
    TCNT2=0x00;

//=====end PID=====
}

#define ADC_VREF_TYPE 0x40

// Read the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
    // Start the AD conversion
    ADCSRA|=0x40;
    // Wait for the AD conversion to complete
    while ((ADCSRA & 0x10)==0);
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCW;
}

// Declare your global variables here

void main(void)
{
    // Declare your local variables here

    // Input/Output Ports initialization
    // Port A initialization
    // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In
    Func1=In Func0=In
    // State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
    State1=T State0=T
```



```
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;

// Port B initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In
Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
State1=T State0=T
PORTB=0x00;
DDRB=0x00;

// Port C initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In
Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
State1=T State0=T
PORTC=0x00;
DDRC=0x00;

// Port D initialization
// Func7=In Func6=In Func5=Out Func4=Out Func3=In
Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=0 State4=0 State3=T State2=T
State1=T State0=T
PORTD=0x00;
DDRD=0x30;

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 11,719 kHz
// Mode: Normal top=FFh
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=0x05;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 12000,000 kHz
// Mode: Ph. correct PWM top=03FFh
// OC1A output: Non-Inv.
// OC1B output: Non-Inv.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer 1 Overflow Interrupt: Off
```



```
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=0xA3;
TCCR1B=0x01;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

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

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
// INT2: Off
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x01;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1:
Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 750,000 kHz
// ADC Voltage Reference: AVCC pin
// ADC Auto Trigger Source: None
```



```
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x84;

// LCD module initialization
lcd_init(16);

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

while (1)
{
    F_sensor = read_adc(7);
    rpm = (3.1055900621118012422360248447205 *
F_sensor)+ 50.236024844720496894409937888199;
    //PWM_ADC = read_adc(3);
    //OCR1A= PWM_ADC;
    //range 300 - 800PWM_ADC

        lcd_clear();
        lcd_gotoxy(0,0);
        sprintf(buf, "ADC:%d RPM:%d", F_sensor, rpm)    ;
        lcd_puts(buf);

        lcd_gotoxy(0,1);
        sprintf(buf2, "PWM:%d:", PWM)    ;

        lcd_puts(buf2);

        delay_ms(100);

    };
}
```