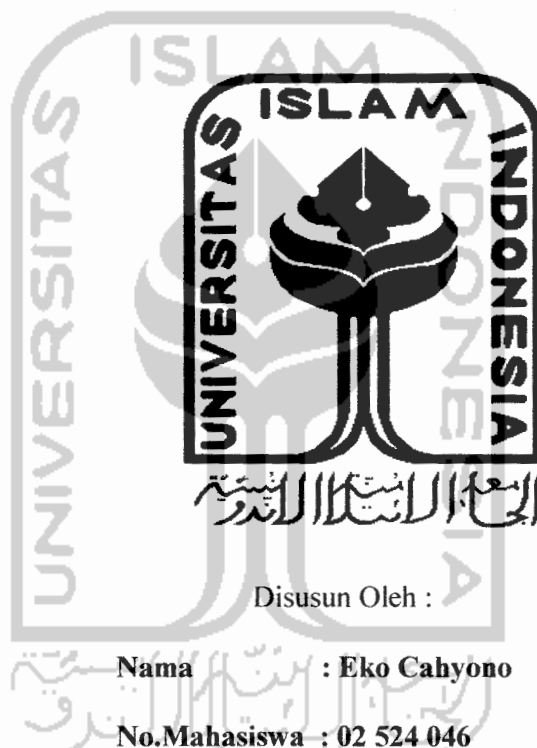


**MAGNETIC LEVITATION DENGAN PENGENDALI PID
BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA8**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Pada Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2007

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

MAGNETIC LEVITATION DENGAN PENGENDALI PID BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA8

TUGAS AKHIR



Oleh:

Nama : Eko Cahyono

No Mahasiswa : 02 524 046

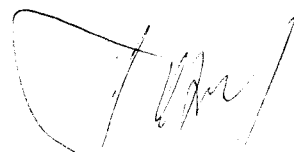
Yogyakarta, 11 September 2007

Pembimbing I



(Ir. Hj. Budi Astuti, MT.)

Pembimbing II



(Yusuf Aziz Amrullah, ST.)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

MAGNETIC LEVITATION DENGAN PENGENDALI PID BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA8

TUGAS AKHIR

Disusun oleh :

Nama : Eko Cahyono

No. Mhs : 02 524 046

Telah Dipertahankan Di Depan Sidang Penguji, Sebagai Salah Satu
Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Pada Jurusan Teknik Elektro,
Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, Oktober 2007

Tim Penguji

Ir. Hj. Budi Astuti, MT

Ketua

Yusuf Azis Amrullah, ST

Anggota I

Wahyudi Budi Pramono, ST

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia



(Eko Cahyono, ST, M.Sc)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Aku Persembahkan Untuk

*“Terima kasih atas Do’a, Kasih Sayang dan
Kepercayaan yang Tiada Henti”*

*“Terima Kasih untuk Kata Semangat yang Terus Kalian
Ucapkan”*

MOTTO

Bacalah dengan nama Tuhan-Mu yang menciptakan. Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah dan TuhanMulah Yang Maha Pemurah. Dia mengajar dengan kalam. Dialah yang mengajar manusia segala yang tidak diketahui.”

(QS. Al-Alaq : 1-5)

“Dan Allah pasti menolongmu dengan pertolongan yang kuat.”

(Qs. Al Fath : 3)

“Allah tidak membebani seseorang melebihi kemampuan yang diberikan-Nya, dan sesudah kesukaran Allah pasti akan memberikan kelapangan.”

(Qs. Ath Thalaq : 7)

“Mulailah dari yang kecil, mulailah dari diri sendiri dan mulailah dari sekarang.”

(AA Gym)

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, segala puji dan syukur ditunjukan hanya bagi Allah SWT, sang Esa pemilik alam semesta. Semoga kesejahteraan diberikan bagi rosul-Nya , Muhammad SAW. Atas rahmat dan taufik-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“MAGNETIC LEVITATION DENGAN KENDALI PID BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA8”** dengan lancar.

Adapun maksud dan tujuan penyusunan tugas akhir ini adalah untuk melengkapi salah satu syarat dalam menempuh gelar sarjana pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Disamping itu untuk menambah pengetahuan terhadap ilmu yang telah dipelajari di bangku perkuliahan untuk diterapkan di masyarakat.

Pada kesempatan ini dengan segala rasa syukur dan kerendahan hati penulis sampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Alloh SWT dan junjungan Nabi Muhammad SAW
2. Ayahanda dan Ibunda serta adik adikku tercinta terima kasih atas kasih sayang, perhatian, nasehat, bimbingan, pengorbanan, keikhlasan, dan doanya semoga Alloh SWT membalas semuanya
3. Bpk Tito Yuwono, ST. selaku Ketua jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.
4. Ibu Ir. Hj. Budi Astuti, MT. selaku dosen pembimbing I.
5. Bpk Yusuf Azis Amrullah, ST. Selaku dosen pembimbing II atas masukannya
6. Dosen dan karyawan Fakultas Teknologi Industri UII, yang bersedia dengan sabar membantu dan berbagi ilmunya.
7. Seluruh Staf TU dan Perpustakaan Jurusan yang telah banyak membantu segala kelancaran penulis.

8. Teman – teman kos yang telah banyak membantu.
9. Seluruh mahasiswa jurusan Teknik Elektro UII, khususnya Angkatan 2002. Seluruh teman – teman di mail list yang telah banyak membantu dalam memberikan solusi.
10. Seluruh saudaraku dan teman-teman yang telah memberi motivasi, dorongan serta doa bagi penulis.
11. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu, yang telah memberikan *support* dan doa.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dan kesalahan baik dalam penulisan maupun bentuk lainnya. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun akan penulis terima dengan harapan penulisan berikutnya menjadi lebih baik.

Akhir kata penulis hanya dapat memanjatkan doa kehadiran Allah SWT, kiranya dapat melimpahkan rahmat dan kesejahteraan kepada semua pihak atas segala budi baik yang telah diberikan kepada penulis. Amien...

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 5 November 2007

Eko Cahyono

ABSTRAK

Gaya elektromagnet adalah gaya yang ditimbulkan oleh kumparan berinti besi(*solenoid*) yang di aliri dengan arus listrik. Pemanfaatan gaya elektromagnet tersebut dapat dijumpai pada bidang transportasi sebagai penggerak kereta. Kereta tersebut di gerakkan dengan menggunakan prinsip pelayangan magnetik(*magnetic levitation*). Dalam perancangannya sistem menggunakan sebuah *solenoid* berinti besi dengan banyak lilitan (N) = 1316 lilitan dan panjang lilitan = 0.057 m. Ujung inti dari *solenoid* yang menghadap objek dibuat seperti kerucut dengan ujung lonjong agar medan magnet tidak menyebar dan berada pada satu titik. Hal ini pernah dibuktikan pada saat ujung *solenoid* rata (datar) maka objek tidak bisa melayang dan tetap menempel pada ujung *solenoid* meskipun diujung *solenoid* sudah dipasang sensor. Untuk mengendalikan sistem agar bekerja dengan baik digunakan algoritma PID (*Proportional, Integral, Derivative*) yang di implementasikan dalam program mikrokontroler. Umpan balik dalam sistem berupa sensor efek hall yang outputnya dikuatkan dengan menggunakan penguat instrumentasi dengan nilai penguatan 2.79 kali. Sensor tersebut digunakan untuk menghasilkan *present value* (pv). *Present value* tersebut dijumlahkan dengan nilai *setpoint* agar menghasilkan nilai *error* sebagai masukan untuk PID. Sistem bekerja dengan baik apabila sesuai dengan *setpoint* yang diharapkan. Hasil penelitian berupa sistem *magnetic levitation* yang dapat melayangkan objek berupa baut besi dengan massa = 39.9 gram. Dalam prakteknya perubahan nilai K_p , K_i , K_d berpengaruh pada kestabilan objek pada saat melayang. Terjadinya osilasi yang cukup besar dan kerap dapat menyebabkan benda jatuh. Apabila nilai $K_p > 1$ dan $K_i > 1$ maka sistem tidak dapat bekerja dengan baik. Berdasarkan pengamatan, sistem bekerja dengan osilasi yang kecil pada saat *setting* nilai $K_p = 1.0$, $K_i = 0.3$, $K_d = 0.2$. Perubahan *duty cycle* yang cukup drastis dapat menyebabkan osilasi yang cukup besar sehingga menyebabkan objek mudah jatuh.

Kata Kunci : Magnetic levitation, PID, Setpoint, PWM

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iv
MOTTO.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Metodologi Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II DASAR TEORI	
2.1. <i>Solenoid</i>	6
2.2. PID digital.....	8
2.3. Mikrokontroler AVR ATmega8.....	11
2.3.1. Port I / O.....	14

2.3.2. PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>).....	14
2.3.3. ADC.....	15
2.4. Sensor Efek Hall UGN3503.....	16
2.5. LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>).....	17

BAB III PERANCANGAN SISTEM

3.1. Perancangan Sistem.....	20
3.1.1. Perancangan <i>Solenoid</i>	21
3.1.2. Rangkaian <i>Power Supply</i> (Catu Daya).....	21
3.1.2.1. Catu Daya <i>Solenoid</i>	22
3.1.2.2. Catu Daya Sistem Pengendali.....	22
3.1.3. Rangkaian LCD.....	23
3.1.4. Sensor Efek Hall.....	24
3.1.5. Rangkaian <i>Driver Solenoid</i>	25
3.1.7. Rangkaian Penguat Instrumentasi.....	26
3.1.8. Rangkaian Sistem Minimum Mikrokontroler ATmega8.....	27
3.2. Perancangan Perangkat lunak.....	28
3.2.1. Perancangan Pengendali PID.....	29

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengamatan Penguat Instrumentasi.....	31
4.2. Pengamatan Posisi Benda terhadap Tegangan Keluaran Penguat.....	33
4.3. Pengamatan Bentuk PWM.....	35

4.4. Pengamatan Tegangan pada <i>Solenoid</i>	36
4.5. Pengamatan Pengendali PID.....	37
4.5.1. Pengamatan Perubahan nilai K_p , K_i , K_d terhadap Objek.....	37
4.5.2. Pengamatan Perubahan <i>Setting</i> K_p , K_i , K_d terhadap <i>Duty Cycle</i> dan tegangan solenoid.....	38
4.5.3. Pengamatan Perubahan <i>Setpoint</i>	39

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	41
5.2. Saran.....	42

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Setting untuk port I / O pada ATmega8.....	13
Tabel 4.1. Hasil pengamatan penguat instrumentasi.....	31
Tabel 4.2. Data posisi objek terhadap tegangan keluaran penguatan.....	34
Tabel 4.3. Perubahan <i>duty cycle</i> terhadap tegangan pada <i>Solenoid</i>	37
Tabel 4.4. Hasil pengamatan perubahan Kp, Ki, Kd terhadap objek.....	38
Tabel 4.5. Hasil pengamatan perubahan Kp, Ki, Kd terhadap <i>duty cycle</i> dan tegangan pada <i>solenoid</i>	39
Tabel 4.6. Data perubahan <i>setpoint</i> dengan jarak benda terhadap sensor.....	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Garis –garis gaya magnet pada <i>solenoid</i>	6
Gambar 2.2. Blok diagram kendali PID.....	10
Gambar 2.3. Mikrokontroler ATmega8.....	12
Gambar 2.4. Contoh pulsa PWM.....	14
Gambar 3.1. Blok diagram sistem.....	20
Gambar 3.2. Catu daya <i>solenoid</i>	22
Gambar 3.3. Catu daya sistem pengendali.....	23
Gambar 3.4. Rangkaian LCD.....	24
Gambar 3.5. <i>Driver solenoid</i>	25
Gambar 3.6. Penguat instrumentasi.....	27
Gambar 3.7. Rangkaian sistem minimum ATmega8.....	28
Gambar 3.8. Diagram alir <i>maglev</i> dengan kendali PID.....	30
Gambar 4.1. Grafik output sensor dan <i>output</i> penguat differensial.....	32
Gambar 4.2. Grafik output penguat differensial dan <i>output</i> penguat.....	32

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin maju memberikan manfaat yang besar dalam kehidupan manusia dalam berbagai bidang. Salah satu contoh adalah teknologi yang memanfaatkan gaya dari medan magnet, baik yang bersifat statik maupun yang dibangkitkan oleh sumber tersendiri contohnya : *solenoid*.

Magnetic levitation (pelayangan magnetik) adalah teknik mengangkat objek menggunakan prinsip magnet dalam fisika dasar akibat dari adanya gaya dari medan magnet permanen atau kumparan elektromagnet. Prinsip kerja dari *magnetic levitation* adalah memanfaatkan gaya tolak menolak (gaya tarik menarik) dari suatu magnet atau elektromagnet yang dikendalikan oleh PWM yang di atur dengan menggunakan kendali PID. Salah satu contoh penerapan *magnetic levitation* adalah pada bidang transportasi sebagai penggerak kereta cepat.

Pada *magnetic levitation* besarnya gaya atau medan magnet diatur sedemikian rupa agar dapat melayangkan sebuah objek yang berada di atas atau dibawah magnet atau elektromagnet tersebut. Pengaturan besar medan magnet dilakukan dengan cara mengatur besarnya arus yang mengalir pada kumparan elektromagnet. Pengaturan arus dilakukan dengan menggunakan PWM (*Pulse*

Width Modulation) yang dapat dibangkitkan oleh sebuah mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega8.

Agar benda atau objek dapat melayang dengan stabil maka diperlukan blok tambahan berupa kendali PID dalam bentuk program yang ditanamkan dalam mikrokontroler.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, maka dapat diambil suatu rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana membuat piranti mikrokontroler yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit pulsa PWM, Pengolah data.
2. Bagaimana membuat *driver solenoid* yang digunakan untuk mengendalikan besarnya medan magnet pada *solenoid* dengan mengatur besarnya arus yang mengalir pada *solenoid*.
3. Bagaimana membuat program yang digunakan untuk mengatur sistem.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari pembuatan alat ini adalah mensimulasikan sebuah sistem *magnetic levitation* yang dikontrol dengan menggunakan PWM dan PID digital agar benda yang melayang stabil.

1.4. Batasan Masalah

Dengan adanya batasan masalah dapat lebih menyederhanakan dan mengarahkan penelitian dan pembuatan sistem agar tidak menyimpang dari apa

yang diteliti dan dikembangkan. Batasan – batasannya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada pembuatan program yang mengatur sistem tersebut, antara lain : pembangkit PWM, PID digital, pengolah data digital dan penampil ke LCD.
2. Pembuatan *driver solenoid*.
3. Program dibuat dengan menggunakan bahasa C untuk mikrokontroler AVR..
4. Pembuatan *solenoid* sebagai perangkat elektromagnetiknya.
Solenoid dibuat menggunakan kabel 0.7mm, panjang lilitan = 5.7 cm = 0.057 m, jumlah lilitan = 1316 lilitan 15 layer.
5. Arus yang digunakan untuk mensuplai beban berkisar antara 5A.
6. Objek yang digunakan dengan massa 39.9 gram
7. Objek harus benda yang dapat ditarik oleh magnet dan tidak berlubang.

1.5. Metodologi Penelitian

1. Pengumpulan Data

Data diperoleh dari studi pustaka berupa buku, artikel, makalah dan tutorial yang tersedia pada *website* di internet.

2. Studi Pustaka

Pengumpulan data ini digunakan untuk mendapatkan informasi-informasi yang berkaitan dengan proses penyusunan tugas akhir,

sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam proses pembuatan target aplikasi.

3. Perancangan dan pembuatan

Setelah semua data terkumpul, maka dilakukan perancangan dan pembuatan alat.

4. Pengujian dan Analisis

Pengujian dilakukan setelah alat sudah jadi, dan dilakukan analisi untuk masing-masing percobaan yang berkaitan dengan tugas akhir.

1.6. Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini disusun secara sistematis menjadi lima bab, yang terdiri dari :

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang deskripsi umum isi tugas akhir yang meliputi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat penyusunan tugas akhir dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Memuat dasar-dasar teori yang berhubungan dengan penelitian dan juga dasar teori yang berhubungan dengan kendali PID dan *solenoid* yang digunakan.

BAB III PERANCANGAN SISTEM

Bab ini membahas tentang perancangan rangkaian, baik perangkat keras maupun perangkat lunak yang digunakan untuk membentuk sistem.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Membahas tentang hasil pengujian dan analisis dari sistem yang dibuat dibandingkan dengan dasar teori sistem atau uraian alasan ilmiah yang lain.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran-saran dari proses perancangan, simulasi sistem, serta keterbatasan-keterbatasan yang ditemukan dan juga asumsi-asumsi yang dibuat selama melakukan penelitian.

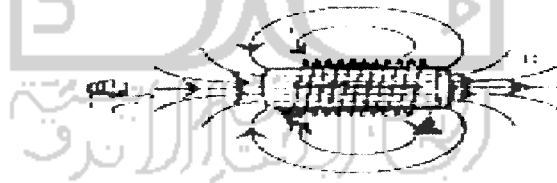


BAB II

DASAR TEORI

2.1. *Solenoid*

Suatu rangkaian *solenoid* adalah rangkaian yang terdiri dari beberapa loop lingkaran koaksial (kawat email) dengan jari – jari yang sama besar dan mengalirkan arus yang sama besar. Medan magnet dari rangkaian *solenoid* didapatkan dengan menambahkan medan magnetik dari masing-masing komponen arus melingkar. Medan ini ditunjukkan oleh garis-garis gaya magnetik. Medan *solenoid* hanya akan dihitung di titik sumbu. Arah garis-garis gaya magnet adalah dari kutub utara ke kutub selatan. Untuk menentukan kutub utara dari *solenoid* digunakan aturan tangan kanan, yaitu jari – jari tangan kanan menunjukkan arah aliran arus, sedangkan ibu jari menunjukkan kutub utaranya seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. berikut.



Gambar 2.1 Garis – garis gaya magnet pada *solenoid*

Secara teoritis besarnya medan magnet (B) yang ditimbulkan oleh sebuah *solenoid* ditentukan oleh beberapa parameter, antara lain : kuat arus (I), Jumlah lilitan (N), dan panjang solenoida (l), Konstanta permeabilitas vakum (μ_0), Konstanta permeabilitas inti (μ_r).

Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Untuk besar medan magnet yang berada dipusat solenoid

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r i N}{l} \quad (2.1)$$

2. Untuk besar medan magnet yang berada diujung solenoid

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r i N}{2l} \quad (2.2)$$

Medan magnet yang dihasilkan oleh solenoid juga mempunyai gaya yang arahnya tegak lurus dengan medan magnet itu sendiri. Secara matematis besarnya gaya magnet yang ditimbulkan oleh solenoid dirumuskan sebagai berikut :

$$F_L = B i l \quad (2.3)$$

Keterangan :

- F_L = Gaya magnet
- B = Medan magnet
- i = Kuat arus
- l = Panjang *solenoid*
- μ_0 = Konstanta permeabilitas vakum = $4\pi \times 10^{-7}$
- μ_r = Konstanta permeabilitas inti, dalam hal ini inti berupa besi yang mempunyai nilai konstanta sebesar = 3000

Apabila nilai masing-masing variabel di atas diambil dari nilai perancangan *solenoid* yang digunakan dalam sistem *magnetic levitation*, maka akan didapat perhitungan sebagai berikut :

- i = arus yang diserap oleh solenoid = 1.11 A

- N = jumlah lilitan = 1316 lilitan
- l = panjang lilitan = 0.057 m
- μ_0 = Konstanta permeabilitas vakum = $4\pi \times 10^{-7}$
- μ_r = Konstanta permeabilitas inti, dalam hal ini inti berupa besi yang mempunyai nilai konstanta sebesar = 3000

A. Tanpa inti besi

$$B = \frac{\mu_0 i N}{2l} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \cdot 1.11 \cdot 1316}{2 \cdot 0.057}$$

$$= \frac{0.0018}{0.114} = 0.016 \text{ Tesla}$$

B. Menggunakan inti besi

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r i N}{2l} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \cdot 3000 \cdot 1.11 \cdot 1316}{2 \cdot 0.057}$$

$$= \frac{5.504}{0.114} = 48.280 \text{ Tesla}$$

Dari perhitungan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa pemberian inti besi sebagai inti *solenoid* akan memperkuat medan magnet.

2.2. PID digital

PID Digital pada dasarnya merupakan suatu proses dari suatu program yang dijalankan dengan menggunakan komputer, dengan memasukkan nilai *Setting Point* (SP) dan *Present Value* (PV), yang kemudian data yang didapatkan diproses sehingga error yang didapatkan sama dengan 0, atau nilai *setpoint* = *present value*. Untuk dapat mengimplementasikan sistem kendali PID pada komputer,

PID harus diubah ke dalam persamaan diskrit :

$$V_o = Kp e + K_i \int e dt + K_d \frac{d^2 e}{dt^2} \quad (2.4)$$

kemudian diturunkan

$$\frac{dV_o}{dt} = Kp e + K_i \frac{d}{dt} \left(\int e dt \right) + K_d \frac{d^2 e}{dt^2} \quad (2.5)$$

$$\frac{dV_o}{dt} = Kp e + K_i e + K_d \frac{d}{dt} \left(\frac{de}{dt} \right) \quad (2.6)$$

$$\frac{\Delta V_o}{T_s} = Kp \frac{\Delta e}{T_s} + K_i e + K_d \frac{\Delta}{T_s} \left(\frac{\Delta e}{T_s} \right) \quad (2.7)$$

dikali dengan T_s , sehingga

$$\Delta V_o = Kp \Delta e + K_i e T_s + K_d \Delta \left(\frac{\Delta e}{T_s} \right) \quad (2.8)$$

Harga ΔV_o merupakan harga perubahan output yang didapat dari output sekarang dikurangi dengan output sebelumnya.

$$\Delta V_o = V_{on} - V_{on-1}, \text{ begitu juga pada perubahan error} \quad (2.9)$$

$$\Delta e = e_n - e_{n-1} \quad (2.10)$$

Sehingga persamaannya menjadi :

$$V_o - V_{on-1} = Kp(e_n - e_{n-1}) + K_i e_n T_s + \frac{K_d}{T_s} (\Delta e_n - \Delta e_{n-1}) \quad (2.11)$$

Pada kondisi akhir, perubahan Δ pada error sebelumnya dapat didistribusikan menjadi :

$$\Delta e_n = e_n - e_{n-1} \quad (2.12)$$

$$\Delta e_{n-1} = e_{n-1} - e_{n-2} \quad (2.13)$$

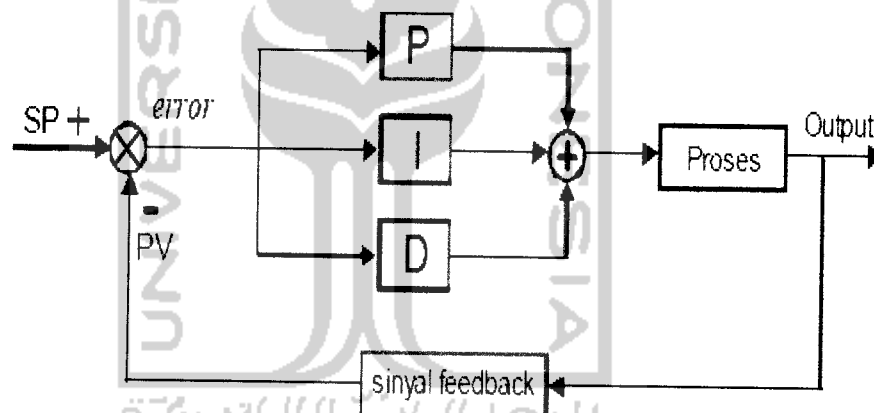
Kemudian disubsitusikan ke dalam persamaan, menjadi:

$$V_o = V_{on-1} = Kp(e_n - e_{n-1}) + K_i e_n T_s + \frac{K_d}{T_s} [(e_n - e_{n-1}) - (e_{n-1} - e_{n-2})] \quad (2.14)$$

Hasil akhir dari persamaan PID yaitu:

$$V_o = V_{on-1} + Kp(e_n - e_{n-1}) + Kie_nTs + \frac{Kd}{Ts}(e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \quad (2.15)$$

Dimana : V_o = Output
 V_{on-1} = Ouput sebelumnya
 Kp = Konstanta Proporsional
 Ki = Konstanta Integral
 Kd = Konstanta derivative
 e_n = Error sekarang
 e_{n-1} = Error 1 kali sebelumnya
 e_{n-2} = Error 2 kali sebelumnya
 Ts = Time Sampling



Gambar 2.2. Kendali PID

Tanggapan *transient* adalah tanggapan sistem yang berlangsung dari awal sampai akhir atau hingga sistem stabil, pada sistem orde 2 tanggapan transient terbagi menjadi tiga berdasarkan konstanta peredamnya yaitu sistem kurang teredam ($\xi < 1$), teredam kritis ($\xi = 1$) dan teredam lebih ($\xi > 1$).

Pada tanggapan *transient* ini ada beberapa parameter yang perlu diketahui yaitu

- a. Waktu tunda (*delay time*) adalah waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai akhir,
- b. Waktu naik (*rise time*) adalah waktu yang diperlukan sistem untuk naik dari 10% sampai 90% nilai akhir.
- c. Waktu puncak (*peak time*) adalah waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai puncak pertama kali.
- d. Waktu penetapan (*settling time*) adalah waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai $\pm 2\%$ dari nilai keadaan tunak (*steady state*) dan
- e. Kesalahan keadaan tunak adalah perbedaan antara keluaran yang didapat saat tunak dengan nilai yang diinginkan.

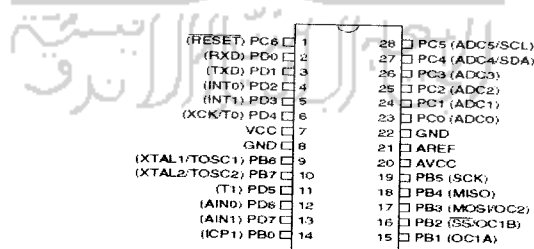
2.3. Mikrokontroler AVR ATmega8

Mikrokontroler adalah suatu sistem mikroprosesor lengkap yang terintegrasi dalam sebuah IC (*integrated circuit*) atau *single chip*. Mikroprosesor itu sendiri merupakan suatu komponen rangkaian yang terintegrasi digital dengan skala besar atau integrasi skala yang sangat besar yang berkemampuan sebagai unit pengolahan pusat (CPU = *Central Processing Unit*). Komponen – komponen yang ada pada mikrokontroler antara lain, RAM/ROM, peralatan I/O, dan osilator. Setiap mikrokontroler memiliki spesifikasi yang berbeda dalam hal kecepatan pengolahan data, kapasitas memori flash, EEPROM, komunikasi serial, ADC, dan sebagainya.

Atmel sebagai salah satu vendor yang mengembangkan dan memasarkan produk mikroelektronika telah menjadi salah satu teknologi standar bagi para desainer sistem elektronika masa kini. Dengan perkembangan terakhir, yaitu generasi AVR (*Alf and Vegard's Risc processor*).

Mikrokontroler AVR memiliki arsitektur RISC 8 bit, dimana semua instruksi dikemas dalam kode 16 bit dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 siklus clock. Berbeda dengan MCS51 yang membutuhkan 12 siklus clock. Hal ini disebabkan oleh perbedaan arsitektur diantara kedua jenis mikrokontroler. AVR berteknologi RISC (*Reduction Instruction Set Computing*), sedangkan seri MCS51 berteknologi CISC (*Complex Instruction Set Computing*). Secara umum AVR dapat dikelompokkan menjadi 4 kelas, yaitu keluarga ATtiny, AT90Sxx, ATmega, AT6RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, *peripheral*, dan fungsinya. Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan, mereka bisa dikatakan sama.

Deskripsi pin ATmega8 sebagai berikut :



Gambar 2.3. Mikrokontroler ATmega8

Fungsi kaki-kaki ATmega8 adalah:

- a. VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan catu daya.

- b. **GND** merupakan pin *Ground*.
- c. **Port B (PB0 - PB7)** merupakan pin I/O dua arah.
- d. **Port C (PC0 - PC6)** merupakan pin I/O dua arah dan pin masukan ADC.
- e. **Port D (PD0 - PD7)** merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus yaitu, komparator analog, komunikasi serial, dan interupsi eksternal.
- f. **RESET** merupakan pin yang digunakan untuk mereset mikrokontroler.
- g. **XTAL1 dan XTAL2** merupakan pin masukan *clock* eksternal terdapat pada pin PB6 dan PB7.
- h. **AVCC** merupakan pin masukan tegangan untuk ADC.
- i. **AREF** merupakan pin masukan tegangan referensi ADC.

2.3.1. PORT I/O

Port I/O pada mikrokontroler ATmega8 dapat difungsikan sebagai *input* ataupun *output* dengan keluaran *high* atau *low*. Untuk mengatur fungsi *port* I/O sebagai input ataupun *output*, perlu dilakukan setting pada register DDR dan PORT pada masing-masing *port*.

Logika *port* I / O dapat diubah-ubah dalam program secara *byte* atau hanya bit tertentu dalam port tersebut. Berikut ini tabel pengaturan port I/O.

Tabel 2.1. Konfigurasi *setting* untuk port I/O

	DDR bit = 1	DDR bit = 0
Port bit = 1	Output High	Input Pull-up
Port bit = 0	Output Low	Input Floating

Adapun cara menyetting *port* I/O berdasarkan tabel diatas, yaitu apabila semua bit dalam *port* akan diatur sebagai *output low* maka pada register DDR dari *port* tersebut diberi nilai bit 11111111 (0xFF h) dan register PORT dengan nilai 00000000 (0). Contoh :

Apabila *port* A akan disetting sebagai *output low*, maka pada register DDRA diberi nilai 11111111 (0xFF h) dan register PORTA diberi nilai 00000000 (0). Cara *setting* tersebut berlaku juga untuk *port* ATmega8 yang lain.

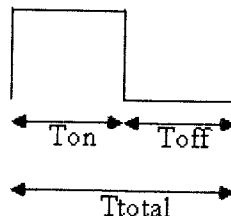
2.3.2. PWM (*Pulse Width Modulation*)

PWM adalah pemodulasian terhadap sebuah pulsa, sehingga pulsa hidup (*Ton*) tidak sama lebarnya dengan pulsa mati (*Toff*). Modulasi yang dilakukan pada PWM adalah modulasi *duty cycle*. *Duty cycle* adalah perbandingan antara periode pulsa hidup (*Ton*) dan periode pulsa total (*Ton+Toff*) yang biasanya dinyatakan dalam bentuk persen (%). Berikut ini contoh perhitungan sederhana untuk memperjelas pengertian *duty cycle*. Rumus *duty cycle* :

$$duty\ cycle = \frac{Ton}{Ttotal} \times 100\%$$

Keterangan :

- *duty cycle* = *Duty cycle* dinyatakan dalam bentuk persen (%)
- *Ton* = Lebar pulsa *on* atau waktu pada saat pulsa *on*
- *Ttotal* = Periode PWM atau jumlah antara waktu pulsa *on* dan waktu pulsa *off* = *Ton+Toff*



Gambar 2.4. Contoh pulsa PWM

Mikrokontroler ATmega8 dilengkapi dengan fitur pembangkit PWM. Pada Mikrokontroler tersebut PWM dibangkitkan dengan cara membandingkan cacahan *timer* dengan nilai *compare* yang dimasukkan dalam register OCR. Output hasil perbandingan antara cacahan *timer* dan nilai OCR berada pada pin OCx (OC1A, OC1B, OC2). Apabila *timer* yang digunakan sebagai PWM adalah *timer* 1 maka output PWM akan berada pada pin OC1A atau OC1B pada mikrokontroler.

2.3.3. ADC (Analog to Digital Converter) internal

ADC adalah sebuah rangkaian yang berfungsi mengubah sinyal analog menjadi bit-bit sinyal digital. Sinyal analog yang masuk ke ADC diubah menjadi suatu deretan bilangan biner yang mempresentasikan besarnya sinyal analog yang masuk ke ADC.

Spesifikasi dari ADC Internal ATmega8 antara lain:

- a. Resolusi: 10 bit ADC0 – ADC3 dan 8 bit ADC4 – ADC5
- b. Tegangan Catu: 4,5 – 5,5V
- c. Tegangan Input 0 - VCC
- d. Waktu konversi: 65 - 260 μ s
- e. Mode konversi *free running* dan *single conversion*
- f. Tegangan Referensi *Internal* 2.56V
- g. *Interrupt on ADC Conversion Complete*
- h. 2 kanal input dengan penguatan 10 dan 200x (*differential*)

ADC ini dapat menggunakan dua mode, yaitu *single conversion* dan *free running* untuk melakukan konversi sinyal analog yang masuk ke pin input

menjadi sinyal digital. Bilangan biner yang mewakili sinyal analog pada suatu harga tertentu dikenal dengan nama cuplikan (*sample*), sedangkan frekuensi untuk mencuplik tersebut laju cuplikan (*sampling rate*).

2.4. Sensor Efek Hall UGN 3503

Sensor efek hall adalah sensor yang bekerja berdasarkan efek hall yaitu efek yang ditimbulkan oleh medan magnet disekitar kawat yang di aliri arus listrik. Sensor ini banyak diaplikasikan dalam pengukuran besaran magnetis (contohnya : medan magnet), pengukuran arus yang mengalir pada kawat atau kumparan.

Salah satu jenis sensor efek hall yang tersedia di pasaran adalah tipe UGN3503 yang diproduksi oleh Allegro. Sensor ini mendeteksi perubahan medan magnet yang sangat kecil. Adapun Spesifikasi teknis dari sensor ini, antara lain :

- DC power Supply (VCC) = 4.5 – 6 V
- Sensitivitas @ 5V = 1.3 mV/G
- Resistansi Output = 50 – 220 Ohm

Pada saat tidak mendeteksi adanya medan magnet ($B = 0$) dan sensor terhubung dengan VCC Output tegangan = 2.5 – 2.6 V. Apabila sensor dihadapkan pada permukaan kutub utara dari magnet maka tegangan output sensor akan semakin lebih kecil dari pada tegangan sensor mula-mula (pada saat $B=0$) apabila mendeteksi adanya medan magnet. Apabila sensor dihadapkan pada kutub selatan magnet, maka yang terjadi adalah sebaliknya, tegangan output sensor akan bertambah lebih besar dari pada tegangan mula –mula seiring dengan perubahan medan magnet yang dideteksi oleh sensor tersebut.

2.5. LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD merupakan media penampil data yang digunakan dalam sebuah sistem elektronik. Data yang ditampilkan oleh LCD dapat berupa gambar, angka, dan tulisan. Agar dapat menampilkan data tersebut LCD dilengkapi dengan Chip yang dapat mengubah bilangan biner dan heksa menjadi sebuah karakter huruf angka, dan gambar. *Chip* tersebut merupakan antarmuka antara LCD dengan piranti pemroses data yang dapat berupa mikrokontroler. Banyak modul LCD yang dijual dipasaran, salah satunya adalah modul LCD M1632 atau sejenisnya. LCD ini berukuran 16x2 yang berarti LCD tersebut mempunyai 2 baris yang masing – masing dapat menampilkan 16 karakter.

2.5.1. Konfigurasi pin LCD M1632

Untuk keperluan antarmuka LCD dengan komponen elektronik lain, perlu diketahui fungsi setiap kaki yang ada pada LCD tersebut, Berikut ini adalah deskripsi fungsi masing – masing pin (kaki) pada LCD .

1. GND

Kaki ini berhubungan dengan tegangan 0 Volt dari modul LCD.

2. VCC

Kaki ini berhubungan dengan tegangan 5 Volt yang merupakan sumber daya untuk Chip LCD tersebut.

3. VEE/VLCD

Kaki ini terhubung dengan tegangan yang digunakan untuk mengatur kontras LCD. Kontras LCD mencapai maksimum pada saat

tegangan pada kaki ini mencapai nilai 0 Volt

4. RS (Register Select)

Kaki pemilih register yang akan diakses. Untuk akses ke register data, logika dari kaki ini adalah 1 dan untuk akses ke register perintah, logika dari kaki ini adalah 0.

5. R/W

Kaki ini digunakan untuk mengatur mode pembacaan atau penulisan pada modul LCD. Logika 1 pada kaki ini menunjukkan bahwa modul LCD sedang pada mode pembacaan dan logika 0 menunjukkan bahwa modul LCD sedang dalam mode penulisan. Untuk aplikasi yang tidak memerlukan pembacaan data dari modul LCD, kaki ini dapat dihubungkan langsung dengan GND (Ground).

6. E (Enable Clock LCD)

Kaki ini digunakan untuk mengaktifkan clock LCD, logika 1 pada kaki ini diberikan pada saat penulisan atau pembacaan data.

7. – 14. D0 – D7 (Data Bus)

Kedelapan kaki data bus ini digunakan untuk aliran data 4 bit atau 8 bit pada saat proses penulisan atau pembacaan pada modul LCD.

15. Anoda

Kaki ini dihubungkan dengan sumber tegangan positif sebagai supply backlight pada modul LCD.

16. Katoda

Kaki ini dihubungkan dengan sumber tegangan negatif atau ground supply backlight modul LCD.

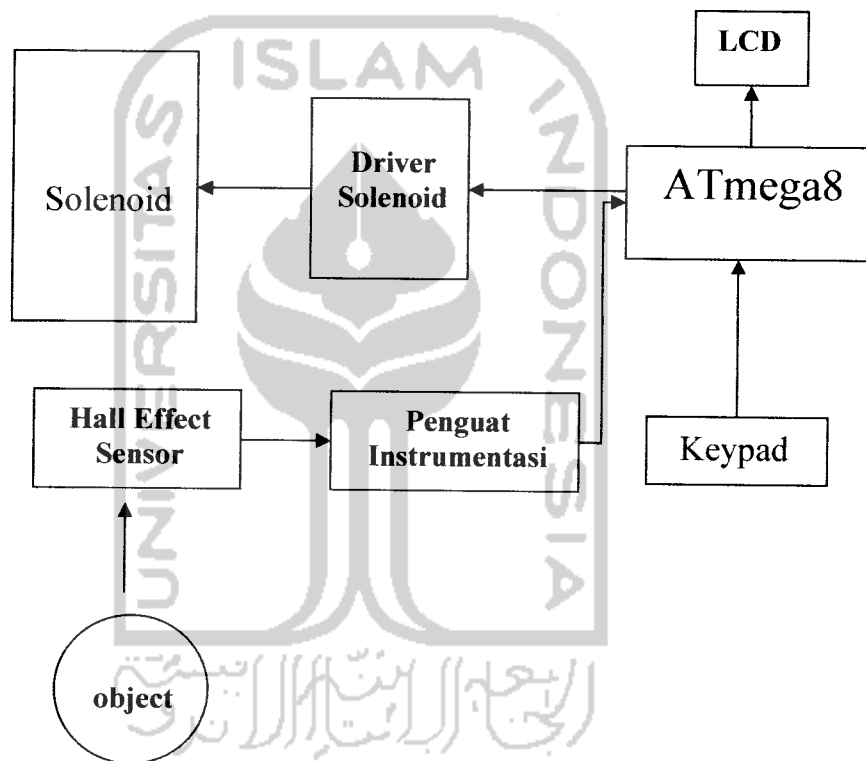


BAB III

PERANCANGAN SISTEM

3.1. Perancangan Sistem

Perancangan *magnetic levitation* Berbasis Mikrokontroler ATmega8 dapat dilihat pada blok diagram berikut :



Gambar 3.1. Blok diagram sistem

3.1.1. Perancangan Solenoid

Solenoid merupakan silinder atau batang yang terbuat dari besi atau baja yang diberi lilitan kawat email sehingga apabila di aliri arus listrik akan menghasilkan medan elektromagnet. *Solenoid* pada sistem ini digunakan sebagai

komponen yang menarik objek dengan gaya elektromagnet yang telah dikendalikan dengan menggunakan PWM dengan menggunakan driver *solenoid*. *Solenoid* dibuat dengan menggunakan inti sebuah baut besar yang dililiti dengan menggunakan kawat email dengan jumlah ± 1316 lilitan, 15 layer, dengan nilai hambatan (R) yang dihasilkan sebesar 12.26 ohm, arus yang diserap solenoid 1.11 A. Berikut ini perhitungan besar medan magnetnya (B) :

- i = arus yang diserap oleh solenoid = 1.11 A
- N = jumlah lilitan = 1316 lilitan
- l = panjang lilitan = 0.057 m
- μ_0 = Konstanta permeabilitas vakum = $4\pi \times 10^{-7}$
- μ_r = Konstanta permeabilitas inti, dalam hal ini inti berupa besi yang mempunyai nilai konstanta sebesar 3000

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r i N}{2l} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \cdot 3000 \cdot 1.11 \cdot 1316}{2 \cdot 0.057}$$

$$= \frac{5.504}{0.114} = 48.280 \text{ Tesla}$$

Jadi, besar medan magnet yang dihasilkan pada ujung solenoid adalah 48.280 Tesla

3.1.2. Rangkaian Power Supply (Catu Daya)

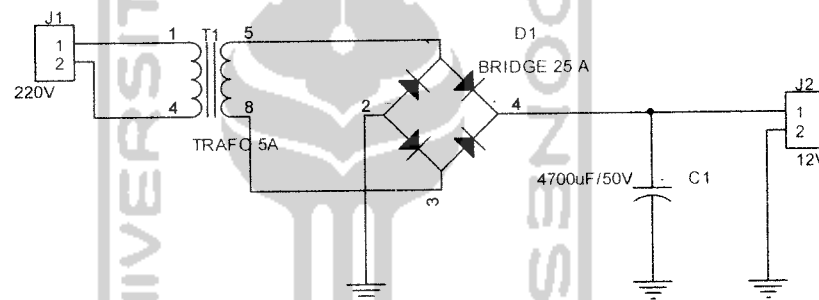
Rangkaian Catu Daya (*Power Supply*) memegang peranan penting dalam sebuah sistem elektronika karena dengan adanya catu daya suatu sistem elektronika dapat bekerja dengan baik sesuai dengan hasil yang diharapkan.

Dalam sistem *Magnetic Levitation* ini terdapat dua buah catu daya, antara lain :

3.1.2.1. Catu Daya Solenoid

Catu daya untuk Solenoid menggunakan transformator 5A dengan tegangan keluaran yang digunakan sebesar 12V. Untuk mengubah menjadi tegangan DC digunakan diode bridge 25A. Tegangan keluaran dari diode bridge masih mempunyai riak yang sangat besar, sehingga diperlukan kapasitor sebagai filter untuk mengurangi riak tersebut. Kapasitor yang digunakan sebagai filter berupa kapasitor elektrolit dengan kapasitas sebesar 4700uF/50V.

Berikut ini gambar rangkaian catu daya untuk *solenoid*.

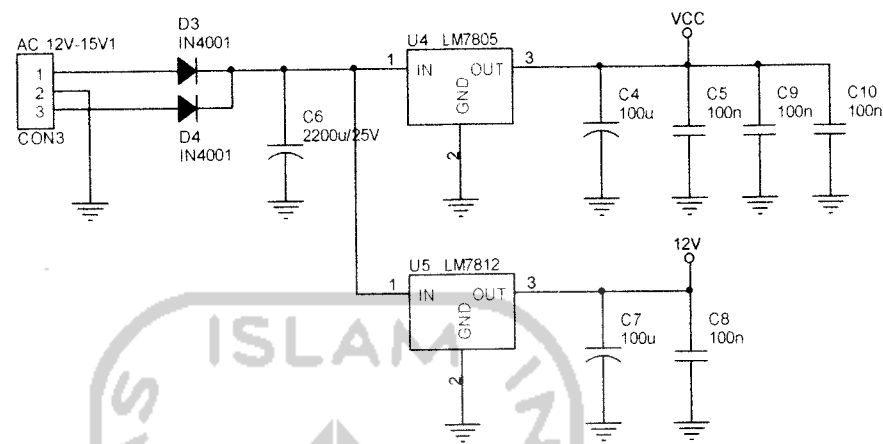


Gambar 3.2. Catu daya *solenoid*

3.1.2.2. Catu Daya Sistem Pengendali

Pada catu daya sistem pengendali digunakan trafo CT (*Center Tap*) karena yang catu daya yang digunakan berupa catu daya gelombang penuh. Tegangan yang diambil dari trafo sebesar 12V AC, untuk mengubahnya menjadi tegangan DC digunakan 2 buah dioda IN4001. Kapasitor C6 pada Gambar 3.3. berfungsi sebagai filter agar riak (*ripple*) berkurang. Kapasitor C5, C8, C9, C10 berfungsi untuk menghindari kilasan sesaat karena perubahan tegangan pada saat terjadi

perubahan logika 1 ke 0. Pada rangkaian catu daya apabila riak semakin kecil maka penyearahan semakin bagus.



Gambar 3.3. Catu daya sistem pengendali

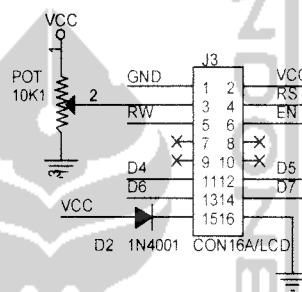
Sistem pengendali membutuhkan catu daya yang stabil agar bisa bekerja dengan baik. Oleh karena itu, agar keluaran catu daya stabil maka diperlukan regulator tegangan dalam rangkaian catu daya tersebut. Dalam rangkaian komponen yang digunakan sebagai regulator tegangan adalah IC LM7805 sebagai regulator tegangan 5V dan IC LM7812 sebagai regulator tegangan 12V. Tegangan 5V Gambar 3.3. digunakan untuk mencatu rangkaian sistem minimum mikrokontroler ATmega8, LCD, sensor efek hall, sedangkan tegangan 12V digunakan untuk mencatu rangkaian penguat instrumentasi, driver *solenoid*.

3.1.3. Rangkaian LCD

LCD adalah alat yang berfungsi sebagai penampil. Pada LCD yang digunakan dalam rangkaian ini menggunakan catu daya sebesar 5V. Mempunyai 16 kaki sebagai jalur data dan pengendali dari mikrokontroller. LCD yang digunakan dalam rangkaian ini berupa LCD *dotmatriks*

dengan ukuran 16 x 2 (16 kolom dan 2 baris). LCD dalam sistem rangkaian ini digunakan untuk menampilkan data berupa setting nilai S_p (*Setpoint*), K_p (Konstanta Proporsional), K_i (Konstanta Integral), K_d (Konstanta Derivatif).

Pada rangkaian LCD terdapat Potensiometer sebesar 10K yang berfungsi untuk mengatur kontras LCD. Pada kaki 15 dari LCD dipasang dioda 1N4001 yang digunakan untuk mengubah VCC sebesar 5V menjadi 4.3V, karena sesuai dengan *datasheet* LCD tegangan pada kaki 15 harus berkisar pada nilai 4.3 V. Berikut ini gambar rangkaian LCD



Gambar 3.4. Rangkaian LCD

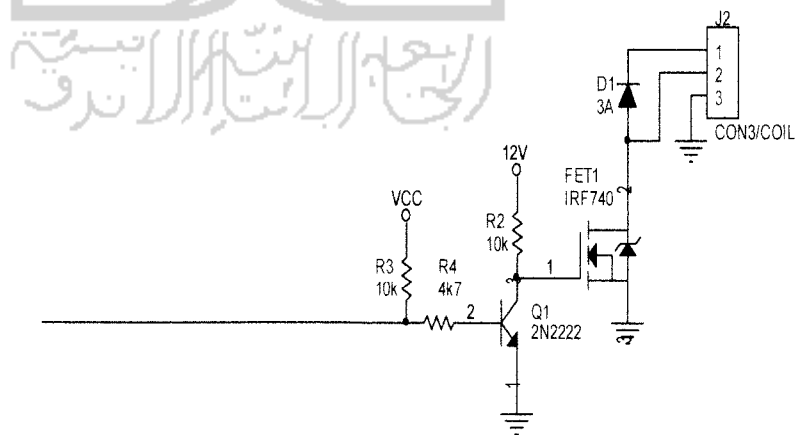
3.1.4. Sensor Efek Hall

Sensor efek hall dalam rangkaian ini dipergunakan untuk mengubah besaran fisik berupa kuat medan magnet menjadi besaran listrik berupa perubahan nilai tegangan dalam satuan mV. Sensor tersebut ditempatkan di ujung bawah solenoid. Sensor ini membutuhkan tegangan catu daya = 5V. Cara kerja dari sensor ini adalah apabila sensor dihadapkan pada permukaan kutub utara dari magnet maka tegangan output sensor akan semakin lebih kecil dari pada tegangan sensor mula-mula (pada saat $B=0$) apabila mendeteksi adanya medan magnet. Apabila sensor dihadapkan pada kutub selatan magnet, maka yang terjadi adalah

sebaliknya, tegangan output sensor akan bertambah lebih besar dari pada tegangan mula –mula seiring dengan perubahan medan magnet yang dideteksi oleh sensor tersebut.

3.1.5. Rangkaian *Driver Solenoid*

Driver solenoid dalam sistem rangkaian berfungsi sebagai pengendali besar kecilnya medan magnet yang dihasilkan oleh *solenoid* dengan mengendalikan besarnya arus yang mengalir pada *solenoid*. Pengendalian dilakukan dengan memberikan pulsa PWM pada basis transistor 2N2222 yang berfungsi seperti saklar yang mengatur hidup-matinya MOSFET melalui *gate*-nya. Karena MOSFET yang digunakan adalah tipe-N maka agar MOSFET tersebut *on* harus diberi tegangan 12 V pada *gate*-nya. Pemberian pulsa PWM dengan *duty-cycle* yang bervariasi menyebabkan besar tegangan pada *solenoid* berubah-ubah. Apabila *duty cycle* semakin tinggi maka tegangan *solenoid* akan semakin rendah. Rangkaian driver *solenoid* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.5. *Driver solenoid*

3.1.7. Rangkaian Penguat Instrumentasi

Penguat Instrumentasi digunakan untuk memperkuat output sensor agar dapat diterima oleh ADC internal mikrokontroler. Komponen utama dalam rangkaian ini adalah IC LM358 yang didalamnya terdapat dua *op-amp*. Pada rangkaian penguat instrumentasi tersebut terdapat dua jenis konfigurasi rangkaian penguat, yaitu penguat differensial dan penguat non-inverting. Output Penguat Differensial merupakan selisih dari tegangan pada kedua inputnya.

Sesuai dengan Gambar 3.5. rumus penguat differensial adalah sebagai berikut :

$$V_o = \left(\frac{R_5 + R_6}{R_5} \right) \left(\frac{R_9}{R_7 + R_9} \right) V_2 - \frac{R_6}{R_5} V_1$$

Pada gambar nilai $R_5 = R_6 = R_7 = R_9 = 100 \text{ K}\Omega$, maka rumus menjadi :

$$\begin{aligned} V_o &= \left(\frac{100\text{K} + 100\text{K}}{100\text{K}} \right) \left(\frac{100\text{K}}{100 + 100\text{K}} \right) V_2 - \frac{100\text{K}}{100\text{K}} V_1 \\ &= 2 \cdot \frac{1}{2} V_2 - V_1 \\ &= V_2 - V_1 \end{aligned}$$

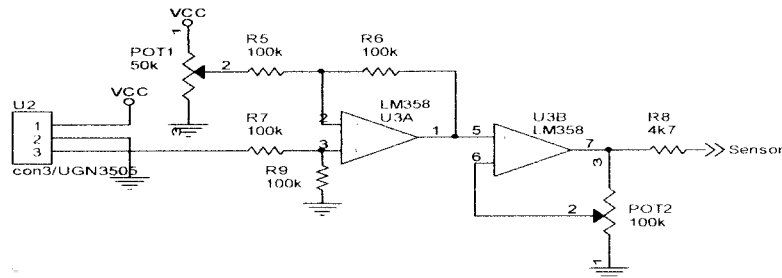
Keterangan :

V_1 = Tegangan output pot1

V_2 = Tegangan output sensor

Dari rumus diatas diperoleh nilai penguatan pada penguat differensial = 1. Fungsi penguat differensial pada rangkaian penguat instrumentasi untuk mengeset nilai output sensor menjadi 0, karena pada saat tidak mendeteksi adanya medan magnet atau besi nilai output sensor adalah $\pm 2.5 \text{ V}$ sehingga agar output sensor

menjadi 0 maka nilai tegangan output pot1 harus diset menjadi ± 2.5 V dengan mengubah nilai pot1.



Gambar 3.6. Penguat instrumentasi

Rangkaian penguat berikutnya adalah penguat non-inverting. penguat non-inverting berfungsi sebagai penguat tegangan output dari penguat differensial. Pada rangkaian penguat non-inverting terdapat komponen pot2 yang berfungsi untuk mengubah nilai penguatan.

3.1.8. Rangkaian Sistem Minimum Mikrokontroler ATmega8

Rangkaian sistem minimum Mikrokontroler Atmega8 berfungsi sebagai perangkat pengendali sistem dengan parameter yang berasal dari sensor dan nilai setting yang dimasukan melalui *keypad*. Rangkaian ini menggunakan kristal 12 MHz yang dipararel dengan 2 buah kapasitor 20pF sebagai pembangkit clock eksternal yang diperlukan oleh mikrokontroler. Sedangkan rangkaian reset pada Gambar 3.6. berfungsi untuk menjaga agar pin RST mikrokontroler selalu berlogika rendah saat mikrokontroler mengeksekusi program. Mikrokontroler direset pada transisi tegangan rendah ke tegangan tinggi oleh karena itu pada pin RST dipasang kapasitor yang terhubung ke *ground* dan resistor ke VCC yang menjaga RST bernilai 1 saat pengisian kapasitor dan bernilai 0 saat kapasitor penuh. Pada saat sumber tegangan diaktifkan kapasitor terhubung singkat

dikhususkan untuk pemrograman mikrokontroler dan menggunakan kompailer CodeVisionAVR(CVAVR). Listing program di cantumkan dalam lampiran.

3.2.1. Perancangan Pengendali PID (PID Controller)

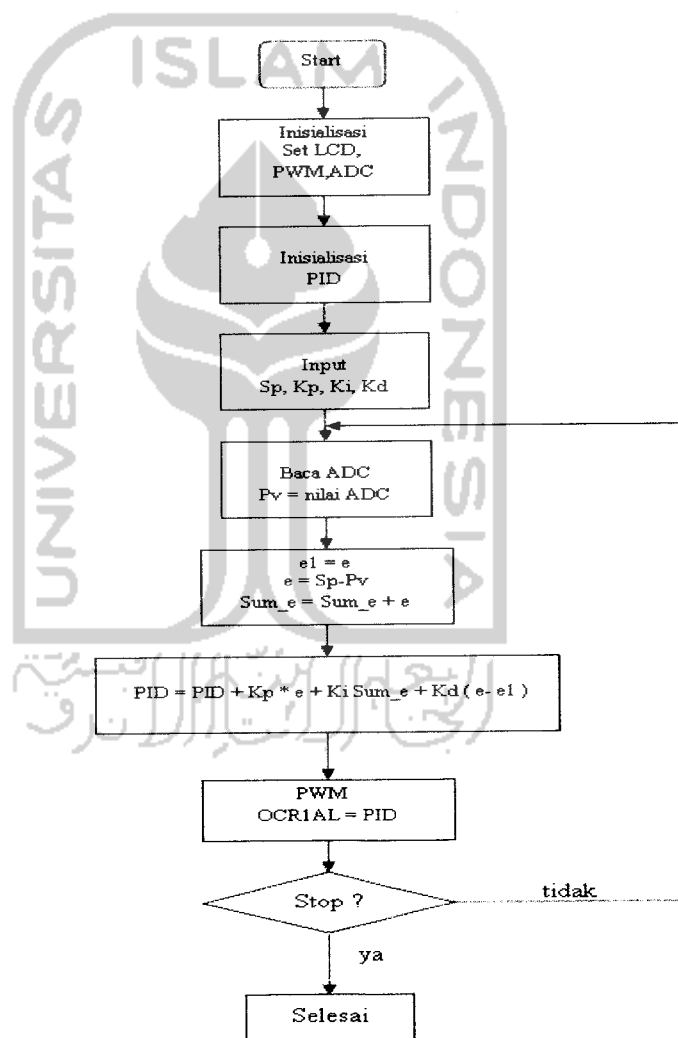
Perancangan sistem pengendali PID digital menggunakan rumus sebagai berikut.

$$V_o = V_{o1} + Kp(e_o) + Ki(sumerror) + Kd(e_o - e_1)$$

Dimana : V_o	= Output pid
V_{o1}	= Ouput sebelumnya
Kp	= Konstanta Proporsional
Ki	= Konstanta Integral
Kd	= Konstanta derivative
e_o	= Error sekarang
e_1	= Error sebelumnya

Setting PID dilakukan dengan memasukan nilai $Kp = 1.0$, $Ki = 0$, $Kd = 0$ dan $setpoint = 128$. Nilai $setpoint = 128$ didapat dari nilai pertengahan interval keluaran ADC dari 0 – 255 karena ADC yang digunakan adalah ADC 8 bit. Pada saat *object* jauh dari benda maka output ADC = 0, sedangkan pada saat mendekat pada sensor maka keluaran ADC semakin bertambah mendekati nilai 255. Sehingga agar benda melayang diambil nilai pertengahan dari interval tersebut sebagai *setpoint*. Selanjutnya nilai Kp , Ki , Kd dimasukkan dalam rumus PID digital. Nilai error pada PID digital berasal dari nilai *setpoint* (sp) dikurangi oleh nilai *present value* (pv) yang diambil dari output ADC. Nilai error tersebut dijadikan nilai error sebelumnya (e_o) yang dikalikan dengan Kp . Kemudian nilai

error sebelumnya dikurangi dengan nilai error sekarang (e_1) dikalikan dengan K_d . Dan nilai error akan dijumlahkan terus dan dikalikan dengan K_i , sehingga nilai errornya akan mendekati 0, apabila nilai errornya 0 maka nilai K_p , K_d , K_i akan bernilai 0 sehingga medan magnet yang dihasilkan akan stabil sesuai dengan *setpoint*. Diagram alir pada gambar 3.8. berikut akan menggambarkan cara kerja pengendalian magnet dengan menggunakan algoritma PID.



Gambar 3.8. Diagram alir *maglev* dengan kendali PID

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Tugas akhir ini ditujukan untuk perancangan *magnetic levitation* yang dikendalikan dengan PID yang algoritmanya di implementasikan ke dalam mikrokontroler ATmega8. Untuk dapat melakukan analisa dan pembahasan, maka diperlukan data yang mendukung analisa dan pembahasan tersebut. Data yang digunakan dalam analisa diperoleh dari pengamatan terhadap penguat instrumentasi, pengamatan posisi benda terhadap tegangan keluaran penguat, analisa bentuk PWM, tegangan *solenoid* dan pengamatan pengendali PID.

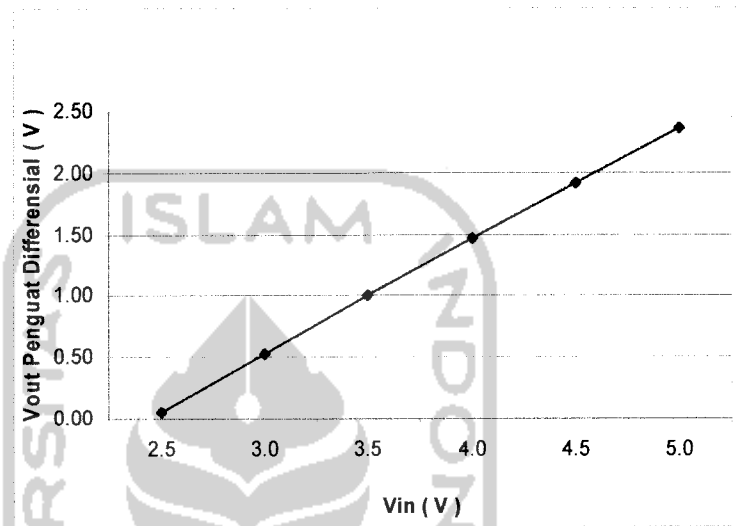
4.1. Pengamatan Penguat Instrumentasi

Pengamatan penguat Instrumentasi dilakukan menggunakan multimeter digital yang digunakan untuk mengukur tegangan masukan dan tegangan keluaran penguat. Hasil pengukuran terhadap tegangan masukan dan tegangan keluaran digunakan untuk mengetahui besarnya penguatan dari rangkaian penguat instrumentasi. Data hasil pengamatan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

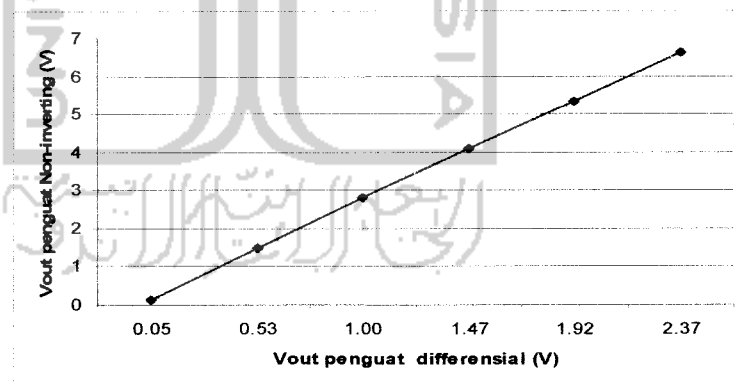
Tabel 4.1. Hasil pengamatan penguat instrumentasi

No	V input	V POT 1	V pin 2	V pin 3	Vout diffrenensial Amp (V)	Vout Non-invert Amp (V)	Penguatan
1	2.5	2.46	1.27	1.3	0.05	0.14	2.80
2	3.0	2.49	1.52	1.44	0.53	1.48	2.79
3	3.5	2.51	1.77	1.68	1.00	2.79	2.79
4	4.0	2.54	2.01	1.91	1.47	4.09	2.78
5	4.5	2.57	2.26	2.15	1.92	5.35	2.79
6	5.0	2.59	2.5	2.37	2.37	6.62	2.79

Dari data pada tabel 4.1. dapat dibuat grafik yang menunjukkan hubungan antara *output* sensor dengan output penguat differensial dan ouput penguat *non-inverting* dalam rangkaian penguat instrumentasi. Grafik yang terbentuk antara lain sebagai berikut.



Gambar 4.1. Grafik output sensor dan output penguat differensial



Gambar 4.2. Grafik output penguat differensial dan output penguat *non-inverting*

Pada grafik Gambar 4.1. dan Gambar 4.2. terlihat garis yang terbentuk berupa garis lurus yang menunjukkan penguatan rangkaian penguat instrumentasi

bersifat linier. Dari data pada Tabel 4.1. diambil kesimpulan bahwa nilai penguatan rata-rata sebesar 2.79 kali, hasil ini didapat dari jumlah nilai penguatan di bagi dengan banyaknya data. Nilai penguatan masing-masing data diperoleh dari Tegangan output penguat *non-inverting* dibagi dengan *output* tegangan penguat differensial yang menjadi input penguat *non-inverting* melalui pin 5 pada IC LM 358.

4.2. Pengamatan Posisi Benda terhadap Tegangan Keluaran Penguat

Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara *duty cycle* PWM, tegangan keluaran penguat dengan posisi objek terhadap sensor yang berubah-ubah. Pengamatan dilakukan dengan cara mengatur PWM pada *duty cycle* 0%-100%, sehingga medan magnet yang ditimbulkan berubah-ubah menjadi semakin besar. Posisi objek terhadap sensor berubah-ubah dari 0.5 cm hingga 0 cm mendekati sensor. Pengukuran tegangan dilakukan pada tegangan *output* sensor pada pin 3 dari sensor efek hall dan tegangan output dari penguat instrumentasi.

Dari data pada Tabel 4.2. terlihat bahwa pada saat posisi objek semakin dekat dengan sensor atau mendekati posisi 0 cm output sensor bertambah besar, sedangkan pada saat objek semakin menjauh dari sensor hingga pada jarak 0.5 cm dari sensor menyebabkan tegangan output sensor semakin menurun. Perubahan *duty cycle* PWM juga berpengaruh pada tegangan keluaran penguat. Semakin maksimum *duty cycle* PWM menyebabkan tegangan keluaran penguat menjadi semakin kecil. Hal ini menunjukkan besarnya medan magnet berpengaruh

pada *output* sensor dan penguat. Pada saat *duty cycle* semakin besar maka medan magnet semakin kecil sehingga *output* sensor dan penguat semakin kecil.

Tabel 4.2. Data posisi objek terhadap tegangan keluaran penguatan

(%)	h objek (cm)	Vout sen (V)	Vout Penguat (V)	ADC
0	0.5	3.84	3.73	190
	0.4	3.99	4.16	212
	0.3	4.13	4.55	232
	0.2	4.23	4.82	245
	0.1	4.27	4.95	252
	0	4.27	4.95	246
10	0.5	2.93	1.19	60
	0.4	3.05	1.53	78
	0.3	3.08	1.61	82
	0.2	3.17	1.88	95
	0.1	3.30	2.24	114
	0	3.68	3.28	167
17	0.5	3.36	2.4	122
	0.4	3.39	2.49	127
	0.3	3.53	2.86	145
	0.2	3.70	3.36	171
	0.1	3.84	3.74	190
	0	4.23	4.83	246
20	0.5	2.72	0.62	31
	0.4	2.77	0.76	38
	0.3	2.78	0.79	40
	0.2	2.83	0.92	46
	0.1	3.10	1.68	85
	0	3.01	1.41	71
30	0.5	2.69	0.53	27
	0.4	2.73	0.64	32
	0.3	2.74	0.68	34
	0.2	2.78	0.77	39
	0.1	2.83	0.91	46
	0	2.85	0.98	49
40	0.5	2.67	0.47	23
	0.4	2.70	0.56	28
	0.3	2.73	0.63	32
	0.2	2.74	0.67	34
	0.1	2.78	0.79	40
	0	2.83	0.93	47
50	0.5	2.65	0.42	21
	0.4	2.68	0.5	25
	0.3	2.70	0.56	28

(%)	h objek (cm)	Vout sen (V)	Vout Penguat (V)	ADC
	0.2	2.72	0.6	30
	0.1	2.75	0.71	36
	0	2.82	0.88	44
60	0.5	2.64	0.39	19
	0.4	2.66	0.46	23
	0.3	2.68	0.5	25
	0.2	2.69	0.54	27
	0.1	2.73	0.65	33
	0	2.79	0.8	40
70	0.5	2.63	0.36	18
	0.4	2.65	0.42	21
	0.3	2.66	0.46	23
	0.2	2.68	0.5	25
	0.1	2.71	0.59	30
	0	2.76	0.72	36
80	0.5	2.62	0.33	17
	0.4	2.64	0.39	19
	0.3	2.65	0.43	21
	0.2	2.67	0.47	23
	0.1	2.69	0.54	27
	0	2.73	0.65	33
90	0.5	2.61	0.32	16
	0.4	2.63	0.37	18
	0.3	2.65	0.41	20
	0.2	2.66	0.45	22
	0.1	2.68	0.5	25
	0	2.73	0.63	32
100	0.5	2.61	0.3	15
	0.4	2.63	0.37	18
	0.3	2.64	0.39	19
	0.2	2.65	0.43	21
	0.1	2.67	0.48	24
	0	2.72	0.61	31

4.3. Pengamatan Bentuk PWM

Pengamatan bentuk PWM dilakukan untuk mengetahui bentuk sinyal PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler dengan *duty cycle* yang berbeda beda. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan sebuah *oscilloscope*. Pada lampiran nomor 3 ditunjukkan bentuk PWM dengan *duty cycle* 0% sampai dengan 90%.

PWM dibangkitkan dengan menggunakan timer 1 yang nilai cacahannya dibandingkan dengan nilai pada register OCR1A. Perubahan *duty cycle* dilakukan dengan mengubah nilai pada register OCR1A. Pada PWM mode biasa saat timer 1 mencacah naik hingga mencapai nilai *compare match* maka *output* pada pin OC1A selama itu akan *set(1)*, sedangkan saat mencapai nilai *compare match* maka *output* pada pin OC1A akan *clear(0)*. Frekuensi PWM yang dibangkitkan adalah 366.21 Hz. Pada saat *duty cycle* 10% bentuk sinyal PWM yang terlihat pada *oscilloscope* yaitu waktu *on* (*Ton*) lebih sempit dari pada waktu (*Toff*). Kemudian *duty cycle* dinaikkan bertahap hingga mencapai 90%. Pada *oscilloscope* terlihat waktu *on* yang semakin melebar pada saat *duty cycle* dinaikkan.

4.4. Pengamatan Tegangan pada *Solenoid*

Pengamatan ini bertujuan untuk mengamati pengaruh sinyal PWM terhadap tegangan pada *solenoid*. Pengamatan dilakukan dengan cara mengubah *duty cycle* PWM dan mengukur tegangan pada *solenoid* dengan menggunakan sebuah multimeter.

Dari data pada Tabel 4.3, dapat diambil kesimpulan bahwa semakin tinggi *duty cycle* yang diberikan maka semakin kecil tegangan pada *solenoid*. Hal ini karena pada saat *duty cycle* 100% waktu *on* (*Ton*) lebih lebar daripada waktu *off* (*Toff*) sehingga waktu transistor untuk *on* lebih lama. Karena transistor *on* lebih lama menyebabkan MOSFET *off* lebih lama sehingga tegangan yang mengalir pada *solenoid* lebih kecil. Sedangkan pada saat *duty cycle* rendah misalnya 10% waktu *off* transistor lebih lebar daripada waktu *on* nya sehingga MOSFET *on*

lebih lama, sehingga tegangan yang mengalir ke *solenoid* lebih besar karena fungsi MOSFET disini diibaratkan seperti saklar yang dikendalikan oleh pulsa berupa PWM.

Tabel 4.3. Perubahan *duty cycle* terhadap tegangan pada *solenoid*

No.	Duty Cycle (%)	V Solenoid (V)
1	10	13.5
2	20	3.38
3	30	1.33
4	40	0.91
5	50	0.46
6	60	0.30
7	70	0.18
8	80	0.09
9	90	0.03
10	100	0

4.5. Pengamatan Pengendali PID

4.5.1. Pengamatan Perubahan nilai Kp, Ki, Kd terhadap Objek

Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja sistem yang dikendalikan oleh algoritma PID yang diimplementasikan dalam mikrokontroler. Pengamatan dilakukan dengan cara *trial and error*, yaitu dengan cara melakukan pengaturan nilai Kp, Ki, Kd berulang kali dengan harapan memperoleh sistem yang stabil dengan indikasi berupa objek melayang dengan osilasi yang kecil. Pada pengamatan ini nilai *setpoint* yang digunakan sebesar 128. Hasil pengamatan percobaan terdapat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Hasil pengamatan perubahan Kp, Ki, Kd terhadap objek

No	Kp	Ki	Kd	Keterangan
1	1	0	0	objek melayang tidak stabil, osilasi besar
2	1	0.3	0.2	objek melayang tidak stabil, osilasi kecil
3	1.5	0.3	0.7	objek melayang tidak stabil, osilasi besar jika dibanding setting nomer 2
4	2	0.5	0.7	objek melayang tidak stabil, osilasi besar
5	3	0.3	0.2	objek melayang tidak stabil, osilasi sangat besar dan kerap terjadi sehingga suatu saat objek mudah jatuh
6	3	0.3	0.7	objek melayang sebentar dan kemudian jatuh

Dari data pada Tabel 4.4. dapat diambil kesimpulan bahwa perubahan nilai Kp, Ki, Kd berpengaruh pada kestabilan objek pada saat melayang. Terjadinya osilasi yang cukup besar dan kerap dapat menyebabkan benda jatuh. Apabila nilai $K_p > 1$ dan $K_i > 1$ maka sistem tidak dapat bekerja dengan baik, hal ini terjadi karena pada *setting* tersebut osilasinya sangat besar, sehingga menyebabkan objek tidak dapat melayang dan jatuh. Berdasarkan pengamatan sistem bekerja dengan osilasi yang kecil pada saat setting nilai $K_p = 1.0$, $K_i = 0.3$, $K_d = 0.2$. *Setting* tersebut belum merupakan setting yang optimum karena objek masih melayang dalam keadaan tidak stabil.

4.5.2. Pengamatan Perubahan Setting Kp, Ki, Kd terhadap *Duty Cycle* dan Tegangan *Solenoid*

Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan *setting* Kp, Ki, Kd terhadap *duty cycle* PWM dan tegangan *solenoid* dengan menggunakan *oscilloscope* dan multimeter digital. Pengamatan dilakukan dengan mengambil sampel dari perubahan *duty cycle* sesaat. Hal ini dilakukan karena perubahan *duty cycle* sangat cepat mengikuti perubahan posisi objek terhadap sensor setiap saat.

Dari sampel data pada Tabel 4.5. dapat diambil kesimpulan bahwa nilai K_p , K_i , K_d berpengaruh pada perubahan *duty cycle* pada satu setting K_p , K_i , K_d . Sebagai contoh pada *setting* PID nomer 6. Pada *setting* tersebut perubahan dari *duty cycle*1 ke *duty cycle*2 cukup drastis. Hal ini di asumsikan sebagai penyebab osilasi yang sangat besar pada objek sehingga menyebabkan objek melayang dengan tidak stabil dan mudah jatuh. Bentuk sinyal PWM dapat dilihat pada lampiran nomor 5.

Tabel 4.5. Hasil pengamatan perubahan K_p , K_i , K_d terhadap *duty cycle* dan tegangan pada *solenoid*

No	K_p	K_i	K_d	Ton1 (uS)	Toff1 (uS)	Ton2 (uS)	Toff2 (uS)	Ttot1 (uS)	Ttot2 (uS)	Duty Cycle1 (%)	Duty Cycle2 (%)	V Solenoid
1	1	0	0	360	2360	160	2560	2720	2720	13	6	3.04
2	1	0.3	0.2	280	2440	560	2160	2720	2720	10	21	1.53
3	1.5	0.3	0.7	320	2400	440	2280	2720	2720	12	16	1.65
4	2	0.5	0.7	120	2600	320	2400	2720	2720	4	12	3.8
5	3	0.3	0.2	280	2440	120	2600	2720	2720	10	4	4.09
6	3	0.3	0.7	120	2600	640	2080	2720	2720	4	24	1.62

4.5.3. Pengamatan Perubahan *Setpoint*

Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan *setpoint* dengan jarak benda terhadap sensor. Pada pengamatan ini nilai K_p , K_i , K_d diatur pada 1.0, 0.3, 0.2 . Pengamatan dilakukan dengan menggunakan penggaris untuk mengukur jarak benda terhadap sensor pada masing-masing *setpoint*. Data hasil pengamatan terdapat pada Tabel 4.6.

Dari data pada Tabel 4.6. dapat diambil kesimpulan bahwa nilai *setpoint* yang semakin tinggi menyebabkan jarak benda terhadap sensor semakin dekat. Objek melayang pada *setpoint* antara 124 sampai dengan 136.

Tabel 4.6. Data perubahan *setpoint* dengan jarak benda terhadap sensor

No.	<i>Setpoint</i>	Jarak Benda terhadap Sensor (cm)	Keterangan
1	120	>0.49	objek tidak melayang sama sekali
2	124	0.49	objek melayang
3	128	0.46	objek melayang
4	132	0.3	objek melayang
5	136	0.2	objek melayang
6	200	0	objek menempel pada sensor dan bergetar
7	255	0	objek menempel pada magnet tanpa bergetar

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan sistem, pengujian, dan hasil analisa dari alat yang dibuat maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Ujung inti dari *solenoid* yang menghadap objek dibuat seperti kerucut dengan ujung lonjong agar medan magnet tidak menyebar dan berada pada satu titik. Hal ini pernah dibuktikan pada saat ujung *solenoid* rata (datar) maka objek tidak bisa melayang dan tetap menempel pada ujung *solenoid* meskipun diujung solenoid sudah dipasang sensor.
2. Dalam sistem *magnetic levitation* sensor berfungsi sebagai pendeteksi posisi objek yang nantinya menjadi masukan umpan balik dalam sistem kontrol kemudian di kurangkan dengan nilai *setpoint* dan menghasilkan nilai *error* sebagai input dalam algoritma PID sebagai pengendali sistem *magnetic levitation*.
3. Untuk mengendalikan besarnya medan magnet dari *solenoid* digunakan kombinasi rangkaian transistor BJT dan MOSFET yang dikendalikan dengan menggunakan pulsa PWM dari mikrokontroler.
4. Penguat instrumentasi yang digunakan terdiri dari rangkaian penguat differensial dan penguat *non-inverting*. Penguat differensial berfungsi sebagai pengurang nilai *output* sensor dengan pengurangan sebesar 2.5 V dan penguat *non-inverting* sebagai penguat *output* penguat differensial sebesar 2.79 kali.

8. Perubahan nilai K_p , K_i , K_d berpengaruh pada kestabilan objek pada saat melayang. Terjadinya osilasi yang cukup besar dan kerap dapat menyebabkan benda jatuh. Apabila nilai $K_p > 1$ dan $K_i > 1$ maka sistem tidak dapat bekerja dengan baik. Berdasarkan pengamatan sistem bekerja dengan osilasi yang kecil pada saat *setting* nilai $K_p = 1.0$, $K_i = 0.3$, $K_d = 0.2$.
9. Perubahan *duty cycle* yang cukup drastis dapat menyebabkan osilasi yang cukup besar. Perubahan *duty cycle* dalam suatu *setting* dipengaruhi oleh nilai K_p , K_i , K_d .
10. nilai *setpoint* yang semakin tinggi menyebabkan jarak benda terhadap sensor semakin dekat. Objek melayang pada *setpoint* antara 124 sampai dengan 136.

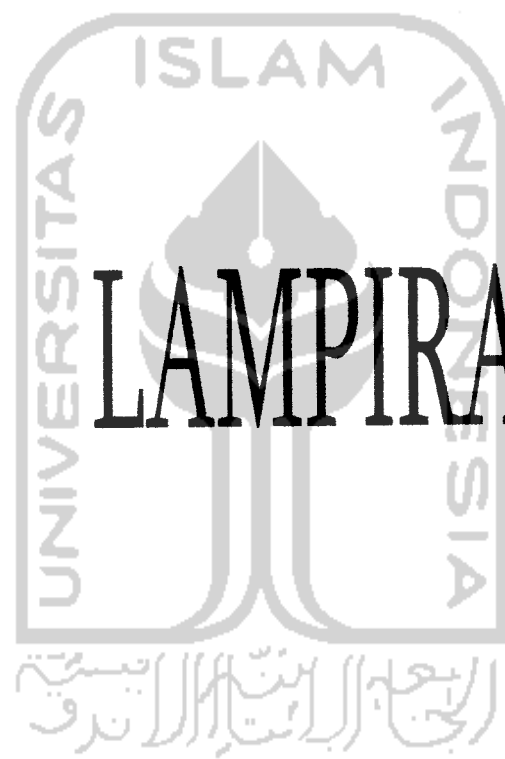
5.2. Saran

Untuk mengembangkan sistem di masa yang akan datang maka dapat disarankan sebagai berikut :

1. Sistem *magnetic levitation* yang terbentuk sekarang belum stabil karena belum menemukan nilai K_p , K_i , K_d yang tepat untuk sistem sehingga untuk perancangan selanjutnya di harapkan lebih stabil.
2. Diperlukan sebuah penampil yang menampilkan grafik respon sistem terhadap nilai *setting* secara langsung seperti komputer.

DAFTAR PUSTAKA

1. Budioko, Totok., 2005. *Belajar dengan mudah Pemrograman Bahasa C dengan SDCC [Small Device C Compiler] Pada Mikrokontroller AT 89X051 / AT 89C51 / 52 Teori simulasi dan aplikasi*, Yogyakarta : Gava Media.
2. Hartanto, Budi, 2004. *Memahami Logika Pembuatan Program C Secara Mudah*, Yogyakarta : Penerbit Andi.
3. Ibnu Setyawan., 2006, *Perancangan Kendali Motor DC dengan PID Berbasis Mikrokontroler AT 89S52*, Yogyakarta.: Skripsi UII.
4. Wardana, Lingga., 2006. *Belejar Sendiri Mikrokontrol AVR Seri ATmega 8535 Simulasi, Hardware dan Aplikasi*, Yogyakarta : Penerbit Andi.
5. www.atmel.com
6. www.digi-ware.com
7. www.discovercircuits.com
8. www.oz.net/~collgun/levitation



LAMPIRAN

1. Header yang digunakan dalam pembuatan program

1.1. Header mega8.h

```
#ifndef _MEGA8_INCLUDED_
#define _MEGA8_INCLUDED_

#pragma used+
sfrb TWBR=0;
sfrb TWSR=1;
sfrb TWAR=2;
sfrb TWDR=3;
sfrb ADCL=4;
sfrb ADCH=5;
sfrw ADCW=4; // 16 bit access
sfrb ADCSRA=6;
sfrb ADMUX=7;
sfrb ACSR=8;
sfrb UBRRL=9;
sfrb UCSRB=0xa;
sfrb UCSRA=0xb;
sfrb UDR=0xc;
sfrb SPCR=0xd;
sfrb SPSR=0xe;
sfrb SPDR=0xf;
sfrb PIND=0x10;
sfrb DDRD=0x11;
sfrb PORTD=0x12;
sfrb PINC=0x13;
sfrb DDRC=0x14;
sfrb PORTC=0x15;
sfrb PINB=0x16;
sfrb DDRB=0x17;
sfrb PORTB=0x18;
sfrb EECR=0x1c;
sfrb EEDR=0x1d;
sfrb EEARL=0x1e;
sfrb EEARH=0x1f;
sfrw EEAR=0x1e; // 16 bit access
sfrb UBRRH=0x20;
sfrb UCSRC=0x20;
sfrb WDTCR=0x21;
sfrb ASSR=0x22;
sfrb OCR2=0x23;
sfrb TCNT2=0x24;
sfrb TCCR2=0x25;
```

```

sfrb ICR1L=0x26;
sfrb ICR1H=0x27;
sfrw ICR1=0x26; // 16 bit access
sfrb OCR1BL=0x28;
sfrb OCR1BH=0x29;
sfrw OCR1B=0x28; // 16 bit access
sfrb OCR1AL=0x2a;
sfrb OCR1AH=0x2b;
sfrw OCR1A=0x2a; // 16 bit access
sfrb TCNT1L=0x2c;
sfrb TCNT1H=0x2d;
sfrw TCNT1=0x2c; // 16 bit access
sfrb TCCR1B=0x2e;
sfrb TCCR1A=0x2f;
sfrb SFIOR=0x30;
sfrb OSCCAL=0x31;
sfrb TCNT0=0x32;
sfrb TCCR0=0x33;
sfrb MCUCSR=0x34;
sfrb MCUCR=0x35;
sfrb TWCR=0x36;
sfrb SPMCR=0x37;
sfrb TIFR=0x38;
sfrb TIMSK=0x39;
sfrb GIFR=0x3a;
sfrb GICR=0x3b;
sfrb SPL=0x3d;
sfrb SPH=0x3e;
sfrb SREG=0x3f;
#pragma used-

```

```

// Interrupt vectors definitions

```

```

#define EXT_INT0 2
#define EXT_INT1 3
#define TIM2_COMP 4
#define TIM2_OVF 5
#define TIM1_CAPT 6
#define TIM1_COMPA 7
#define TIM1_COMPB 8
#define TIM1_OVF 9
#define TIM0_OVF 10
#define SPI_STC 11
#define USART_RXC 12
#define USART_DRE 13
#define USART_TXC 14

```

```
#define ADC_INT 15
#define EE_RDY 16
#define ANA_COMP 17
#define TWI 18
#define SPM_READY 19
```

```
#endif
```

1.2. Header delay.h

```
#ifndef _DELAY_INCLUDED_
#define _DELAY_INCLUDED_
```

```
#pragma used+
```

```
void delay_us(unsigned int n);
void delay_ms(unsigned int n);
```

```
#pragma used-
```

```
#endif
```

1.3. Header stdio.h

```
#ifndef _STDIO_INCLUDED_
#define _STDIO_INCLUDED_
```

```
#include <stdarg.h>
```

```
#ifndef NULL
#define NULL 0
#endif
```

```
#ifndef EOF
#define EOF -1
#endif
```

```
#pragma used+
```

```
char getchar(void);
void putchar(char c);
void puts(char *str);
void putsf(char flash *str);
```

```
#ifndef _MODEL_TINY_
char *gets(char *str, unsigned char len);
```

```
#endif
```

```
#ifdef _MODEL_SMALL_  
char *gets(char *str,unsigned int len);  
#endif
```

```
void printf(char flash *fmtstr,...);  
void sprintf(char *str, char flash *fmtstr,...);  
void vprintf (char flash * fmtstr, va_list argptr);  
void vsprintf (char *str, char flash * fmtstr, va_list argptr);  
signed char scanf(char flash *fmtstr,...);  
signed char sscanf(char *str, char flash *fmtstr,...);
```

```
#ifdef _DEBUG_TERMINAL_IO_  
// Used for AVR Studio Terminal I/O  
// DON'T CHANGE!
```

```
#ifndef _DEBUG_TERMINAL_IO_FN_DEFINED_  
#define _DEBUG_TERMINAL_IO_FN_DEFINED_
```

```
#pragma warn-  
void _c_getchar(void) {}
```

```
char getchar(void)
```

```
{  
#asm  
    push r16  
    push r17  
getchar0:  
#endasm  
    _c_getchar();  
#asm  
    cpi r17,0xff  
    breq getchar0  
    mov r30,r16  
    pop r17  
    pop r16  
#endasm  
}
```

```
void _c_putchar(void) {}
```

```
void putchar(char c)
```

```
{  
#asm  
    mov r30,r16
```

```

        ld r16,y
    #endasm
    _c_putchar();
    #asm
        mov r16,r30
    #endasm
}

#ifdef _WARNINGS_ON_
#pragma warn+
#endif

#endif

#endif
#pragma used-

#pragma library stdio.lib

#endif

```

2. Listing program yang untuk sistem minimum ATmega8

```

/*****
Chip type      : ATmega8
Program type   : Application
Clock frequency : 12,000000 MHz
*****/

#include <mega8.h>
#include <delay.h>
#include <stdio.h>

// Alphanumeric LCD Module functions
#asm
.equ __lcd_port=0x12 ;PORTD
#endasm
#include <lcd.h>

#define sw1 PINC.5
#define sw2 PINC.4
#define sw3 PINC.3
#define sw4 PINC.2

#define ADC_VREF_TYPE 0x20

// Read the 8 most significant bits of the AD conversion result
unsigned char read_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input|ADC_VREF_TYPE;

```

```

    ADCSRA|=0x40;           // Start the AD conversion
    while ((ADCSRA & 0x10)==0); // Wait for the AD conversion to complete
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCH;
}

void set_reg(void)
{
    DDRB=0x02; PORTB=0x00;
    DDRC=0x00; PORTC=0x3c;

    // Timer/Counter 1 initialization
    // Clock value: 187,500 kHz (Frek PWM = 732,421875 Hz)
    // Mode: Ph. correct PWM top=FFh (8-bit PWM)
    // OC1A output: Inverted
    TCCR1A=0xC1;
    TCCR1B=0x03;
    OCR1AL=0;

    // ADC initialization
    // ADC Voltage Reference: AREF pin
    ADMUX=ADC_VREF_TYPE;
    ADCSRA=0x87;

    // LCD module initialization
    lcd_init(16);
    lcd_clear();
}

void main(void)
{
    char lcd_buffer[32];
    int kp,ki,kd,pid,e,e1,sp,pv,sum_e;
    unsigned int i;

    set_reg();

    sp=128;
    pid=0;
    kp=0;
    ki=0;
    kd=0;

    lcd_gotoxy(0,0);lcd_putsf(" Levitation ");
    lcd_gotoxy(0,1);lcd_putsf(" Project ");delay_ms(1500);

    lcd_clear();
    lcd_gotoxy(0,0);lcd_putsf(" by ");delay_ms(1000);

    lcd_gotoxy(0,0);lcd_putsf(" Eko Cahyono ");
    lcd_gotoxy(0,1);lcd_putsf("Electrical.E UII");

    while(sw1 && sw2 && sw3 && sw4);
    lcd_clear();

```

```

delay_ms(300);

while (1)
{
    i=0;
    OCR1AL=0;
    lcd_clear();
    lcd_gotoxy(0,0);lcd_putsf("**Eko Levitation**");
    lcd_gotoxy(0,1);lcd_putsf(">>Tekan Enter..!");

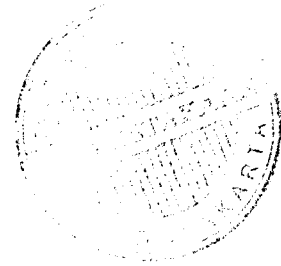
    while(sw4);
    while(!sw4)
    {
        i++;delay_ms(1);
        if(i>500)
        {
            sp=128;kp=10;ki=0;kd=0;
            lcd_gotoxy(0,1);lcd_putsf("  TEST GO!!  ");
            break;
        }
    }delay_ms(300);

    if(i>500)goto eko1;

    lcd_clear();

    while(sw4)
    {
        if(sw3==0)sp++;
        if(sw2==0)sp--;
        if(sw1==0)sp=0;
        if(sp<0)sp=0;
        lcd_gotoxy(0,0);sprintf(lcd_buffer,"Sp=%i      ",sp);lcd_puts(lcd_buffer);
        delay_ms(100);
    }delay_ms(300);
    while(sw4)
    {
        if(sw3==0)kp++;
        if(sw2==0)kp--;
        if(sw1==0)kp=0;
        if(kp<0)kp=0;
        lcd_gotoxy(0,0);sprintf(lcd_buffer,"Sp=%i Kp=%i.%i
",sp,kp/10,kp%10);lcd_puts(lcd_buffer);
        delay_ms(100);
    }delay_ms(300);
    while(sw4)
    {
        if(sw3==0)ki++;
        if(sw2==0)ki--;
        if(sw1==0)ki=0;
        if(ki<0)ki=0;
        lcd_gotoxy(0,1);sprintf(lcd_buffer,"Ki=%i.%i
",ki/10,ki%10,kd/10,kd%10);lcd_puts(lcd_buffer);
        delay_ms(100);
    }delay_ms(300);
}

```



```

while(sw4)
{
    if(sw3==0)kd++;
    if(sw2==0)kd--;
    if(sw1==0)kd=0;
    if(kd<0)kd=0;
    lcd_gotoxy(0,1);sprintf(lcd_buffer,"Ki=%i.%i Kd=%i.%i
",ki/10,ki%10,kd/10,kd%10);lcd_puts(lcd_buffer);
    delay_ms(100);
}delay_ms(300);

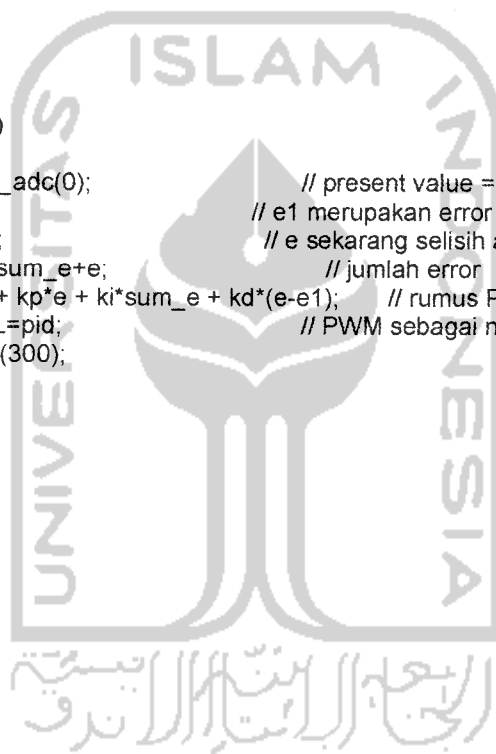
lcd_gotoxy(14,1);lcd_putsf("GO");

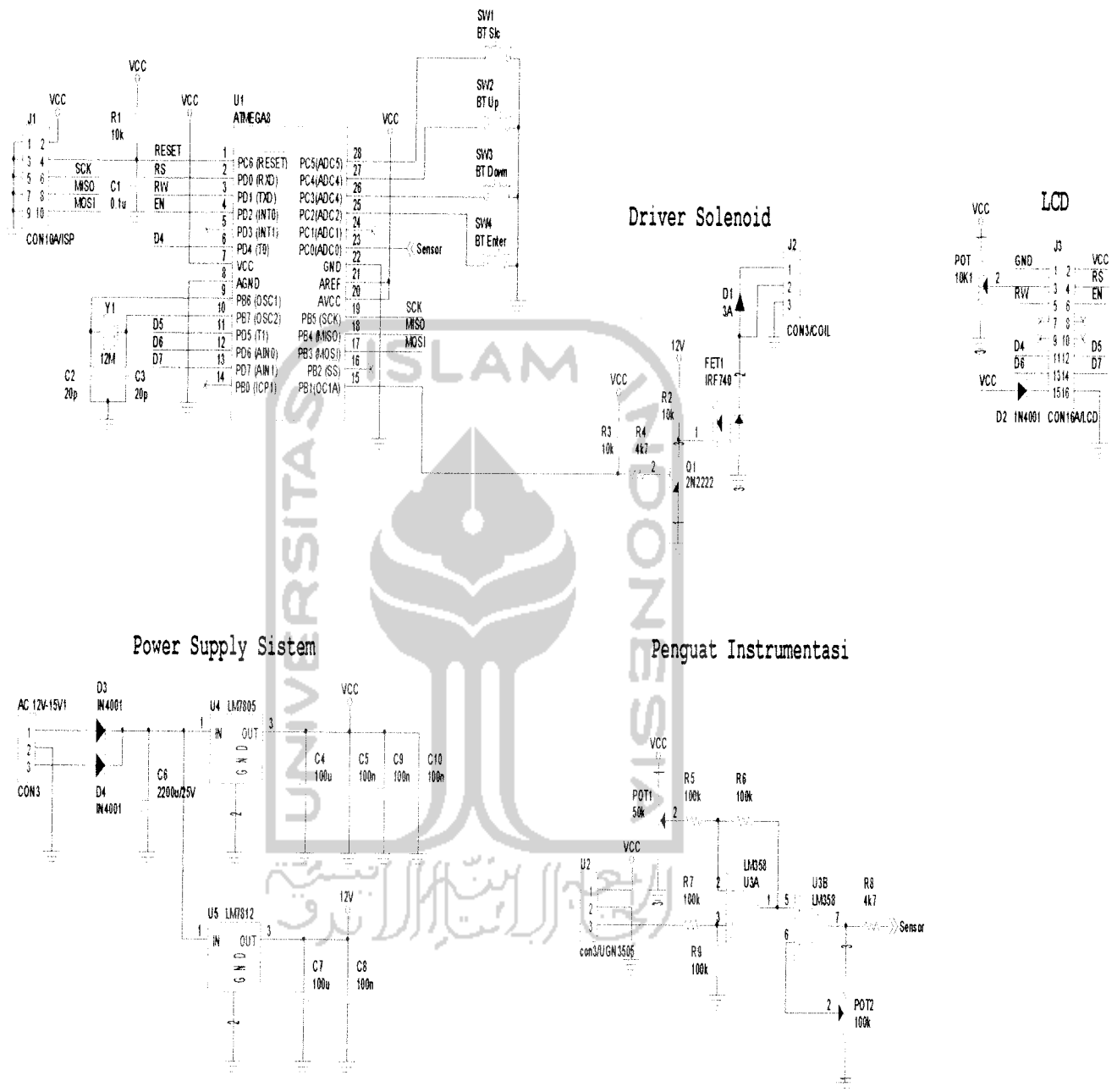
eko1:

kp=kp/10;
ki=ki/10;
kd=kd/10;

while(sw1)
{
    pv=read_adc(0); // present value = nilai adc (nilai aktual)
    e1=e; // e1 merupakan error sebelumnya
    e=sp-pv; // e sekarang selisih antara nilai set dan nilai aktual
    sum_e=sum_e+e; // jumlah error
    pid=pid + kp*e + ki*sum_e + kd*(e-e1); // rumus PID
    OCR1AL=pid; // PWM sebagai nilai output PID
}delay_ms(300);
}
}

```





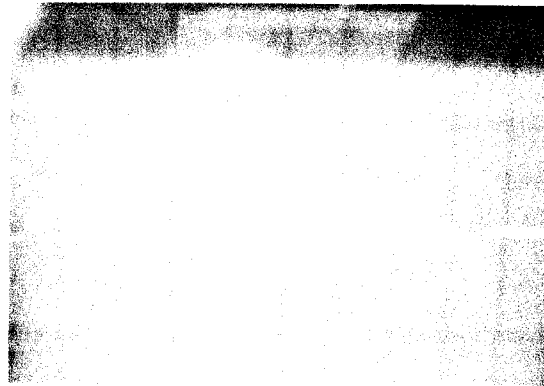
4. Gambar sinyal PWM yang dihasilkan mikrokontroler



duty cycle 0%



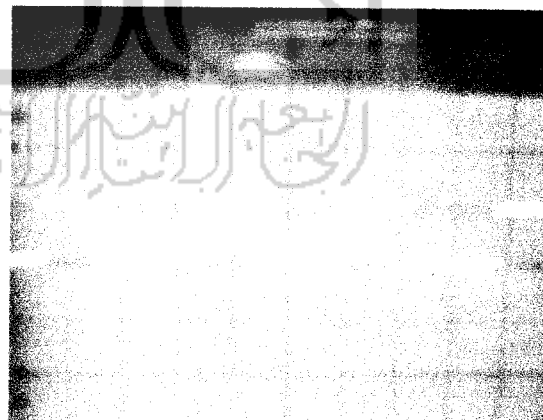
duty cycle 10%



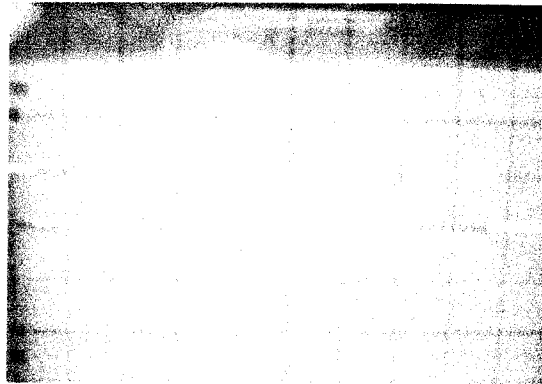
duty cycle 20%



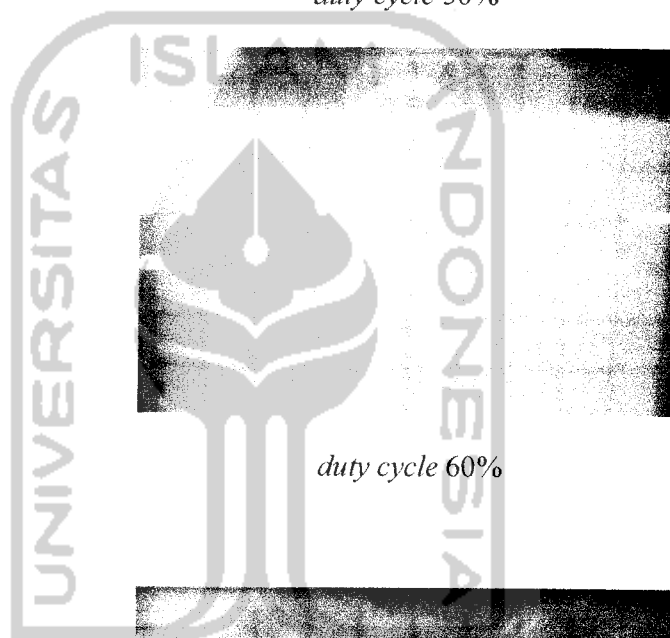
duty cycle 30%



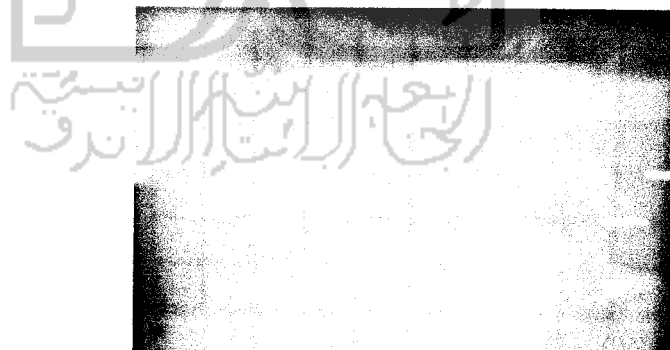
duty cycle 40%



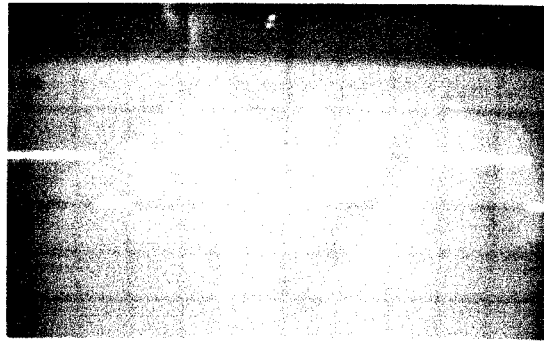
duty cycle 50%



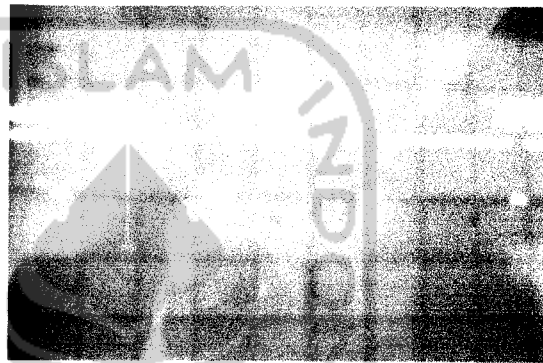
duty cycle 60%



duty cycle 70%



duty cycle 80%

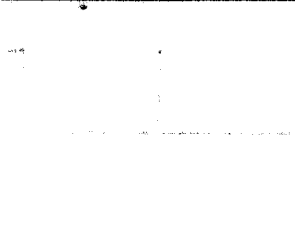
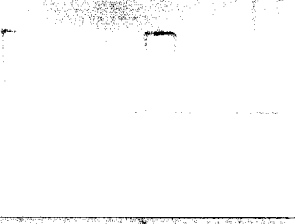
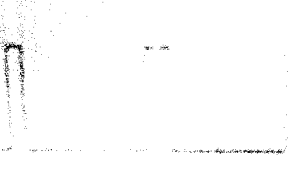
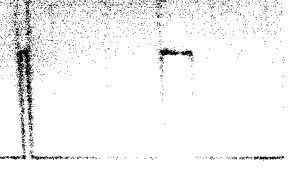
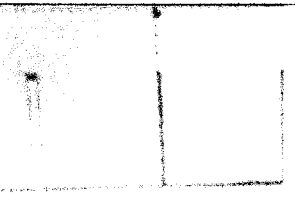


duty cycle 90%



5. Gambar Sinyal PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler pada *setting*

Kp, Ki, Kd yang berbeda.

Kp	Ki	Kd	Ton1 (uS)	Toff1 (uS)	Ton2 (uS)	Toff2 (uS)	Ttot1 (uS)	Ttot2 (uS)	Gambar
1	0	0	360	2360	160	2560	2720	2720	
1	0.3	0.2	280	2440	560	2160	2720	2720	
1.5	0.3	0.7	320	2400	440	2280	2720	2720	
2	0.5	0.7	120	2600	320	2400	2720	2720	
3	0.3	0.2	280	2440	120	2600	2720	2720	
3	0.3	0.7	120	2600	640	2080	2720	2720	