



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN DAN SISTEM AKUSISI DARI OSILASI  
YANG DIPAKSAKAN DAN TEREDAM PADA DUA  
PENDULUM BERBASIS MIKROKONTROLER**

**SKRIPSI**

**M. FIRZY ADHA  
0906602130**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI FISIKA EKSTENSI  
DEPOK  
JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN DAN SISTEM AKUSISI DARI OSILASI  
YANG DIPAKSAKAN DAN TEREDAM PADA DUA  
PENDULUM BERBASIS MIKROKONTROLER**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains**


**M. FIRZY ADHA**

**0906602130**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI FISIKA EKSTENSI  
INSTRUMENTASI  
DEPOK  
JUNI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : M. FIRZY ADHA**  
**NPM : 0906602130**  
**Tanda Tangan : **  
**Tanggal : Juni 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : M. Firzy Adha  
NPM : 0906602130  
Program studi : Ekstensi Fisika  
Judul Skripsi : Rancang Bangun dan Sistem Akusisi Osilasi yang  
Dipaksakan dan Tereadam pada Dua Pendulum  
Berbasis Mikrokontroler

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Ekstensi Fisika Instrumentasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Prawito

Pembimbing : Drs. Arief Sudarmadji MT

Penguji : Dr. Cuk Imawan

Penguji : Arief S. Fitrianto M.Si

Ditetapkan di : Ruang Seminar Fakultas MIPA, Kampus UI Depok

Tanggal : 15 Juni 2012

## KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas berkat rahmat, karunia, dan ijin-Nya lah sehingga dapat menyelesaikan pembuatan laporan tugas akhir ini. Shalawat dan salam juga senantiasa selalu tercurah kepada manusia termulia di dunia ini nabi Muhammad SAW.

Laporan tugas akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat penulis dalam mendapatkan gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Program S1 Ekstensi Fisika Instrumentasi Elektronika dan Industri, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa tanpa adanya dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak, penulisan laporan ini tidak dapat terselesaikan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Prawito dan Drs. Arief Sudarmadji MT selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis yang telah banyak menyediakan waktu, tenaga, pikiran ilmu, arahan dan bimbingannya. (Makasih banyak Pak, maafin Pak klo selalu menyusahkan )
2. Seluruh Dosen Pengajar tetap maupun tidak tetap, yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat bagi penulis dalam menjalani jenjang pendidikan di S1 Ekstensi Fisika Instrumentasi Elektronika ini.
3. Kedua Orang Tua tercinta yang telah memberikan doa, limpahan kasih sayang, bantuan moril, dan materi. Seluruh kakak saya serta saudara-saudara yang telah memberikan doa, semangat,dan semua perjuangan yang telah kalian lakukan..
4. Bapak Parno atas pembuatan mekanik alat tugas akhir ini.
5. Teman seperjuangan : Ina, Tia, ka Sulas, ka Mameto, ka Rahmat Gozali, Hendra Banjarnahor, Riyan singa, Banu, Janata Sabil, mba Diana, Ari, Lilik, ka Tita, Pukis, Adi Andhika, Pa Suharsono.
6. Teman Ekstensi Fisika 2010, La Ode Husein ZT ( thx bro masalah program ente mang jagonya deh ), Ika, Shepta, Yuan, Mirzan, Takur, Ayun dll.
7. Teman Ekstensi 2009 yang udah duluan lulus, Fachrudin ( thx bro udah

mau bantu menjelaskan teori dan rumus-rumus fisika dasarnya ) , Lindra Sahara ( thx bgt bro yang selalu ngingetin untuk buru-buru mengerjakan skripsi, jangan ditunda-tunda ) , Hapsah, Rahmen, ka Ade, dll

8. Teman-teman klubmusik Viva FMIPA UI, terima kasih banyak atas acara-acara yang telah kalian adakan, membuat penulis menjadi semakin bersemangat kembali dalam bermain musik. Semoga klub ini kedepannya bisa lebih baik lagi dan semakin banyak meraih prestasi.
9. Seluruh karyawan di Departemen Fisika yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu, sekali lagi penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Penulis menyadari bahwa laporan ini jauh dari sempurna dan masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Mudah-mudahan kritik dan saran tersebut akan membuat penulis menjadi lebih baik lagi di kemudian hari kelak dan berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat dan berguna bagi penulis khususnya dan para pembaca umumnya.

Atas segala bimbingan dan kepedulian dalam pembuatan alat dan laporan ini, penulis mengucapkan terima kasih.

Jakarta, Juni 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Firzy Adha  
NPM : 0906602130  
Program Studi : Ekstensi Fisika Instrumentasi Elektronika  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif ( *Non-exclusive Royalty-Free Right* )** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**” Rancang Bangun dan Sistem Akusisi Osilasi yang Dipaksakan dan  
Teredam pada Dua Pendulum Berbasis Mikrokontroler”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 21 Juni 2012  
Yang menyatakan



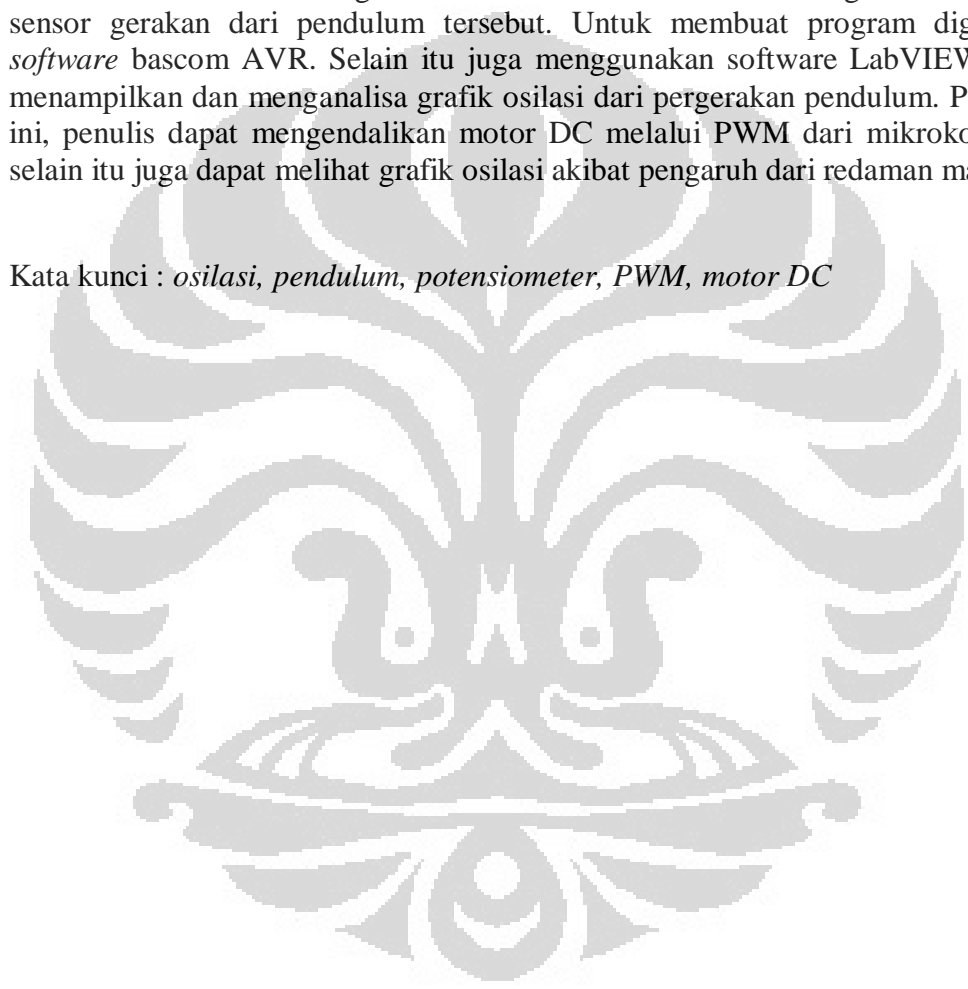
( M. Firzy Adha )

## ABSTRAK

Nama : M. Firzy Adha  
Program Studi : Ekstensi Fisika Instrumentasi Elektronika  
Judul : Rancang Bangun dan Sistem Akuisisi Osilasi yang Dipaksakan dan Tereadam pada Dua Pendulum Berbasis Mikrokontroler

Telah dibuat suatu rancang bangun dan sistem akuisisi mengenai osilasi yang dipaksakan dan osilasi tereadam menggunakan pendulum berbentuk lingkaran berbahan aluminium dengan tebal 20 cm. Potensiometer digunakan sebagai sensor gerakan dari pendulum tersebut. Untuk membuat program digunakan *software* bascom AVR. Selain itu juga menggunakan *software* LabVIEW untuk menampilkan dan menganalisa grafik osilasi dari pergerakan pendulum. Pada alat ini, penulis dapat mengendalikan motor DC melalui PWM dari mikrokontroler, selain itu juga dapat melihat grafik osilasi akibat pengaruh dari redaman magnet.

Kata kunci : *osilasi, pendulum, potensiometer, PWM, motor DC*



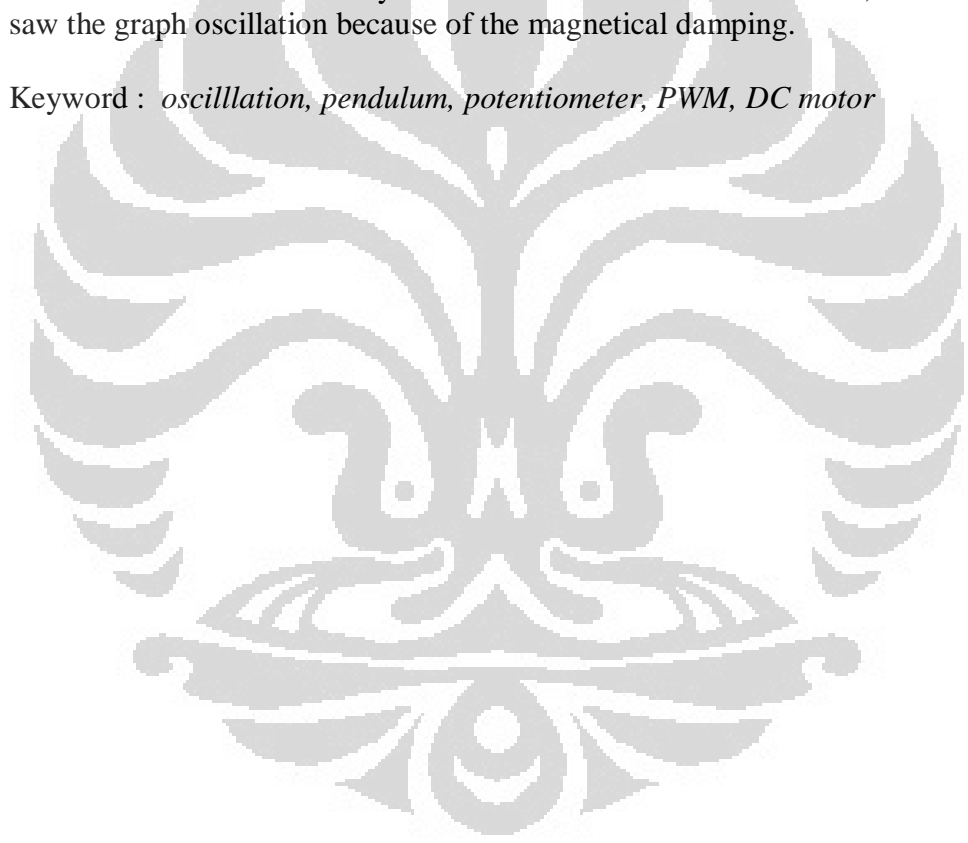


## ABSTRACT

Name : M. Firzy Adha  
Study Program : Extension Physics Instrumentation  
Title : Design and Acquisition System of Forced and Damped Oscillation in Two Pendulum based from Microcontroller

Has created a design and acquisition system of the forced and damped oscillation, with aluminium disc for pendulum, it has 20 cm thickness. Potentiometer used as a sensor for the motion of the pendulum. The Programme in the chip of microcontroller is made from software, the name is Bascom AVR. And then LabVIEW software is used to show and analyze the graph of the pendulum oscillation. In this project we can control the motion of pendulum by using DC motor which is controlled by PWM in the microcontroller. Thus, we could also saw the graph oscillation because of the magnetical damping.

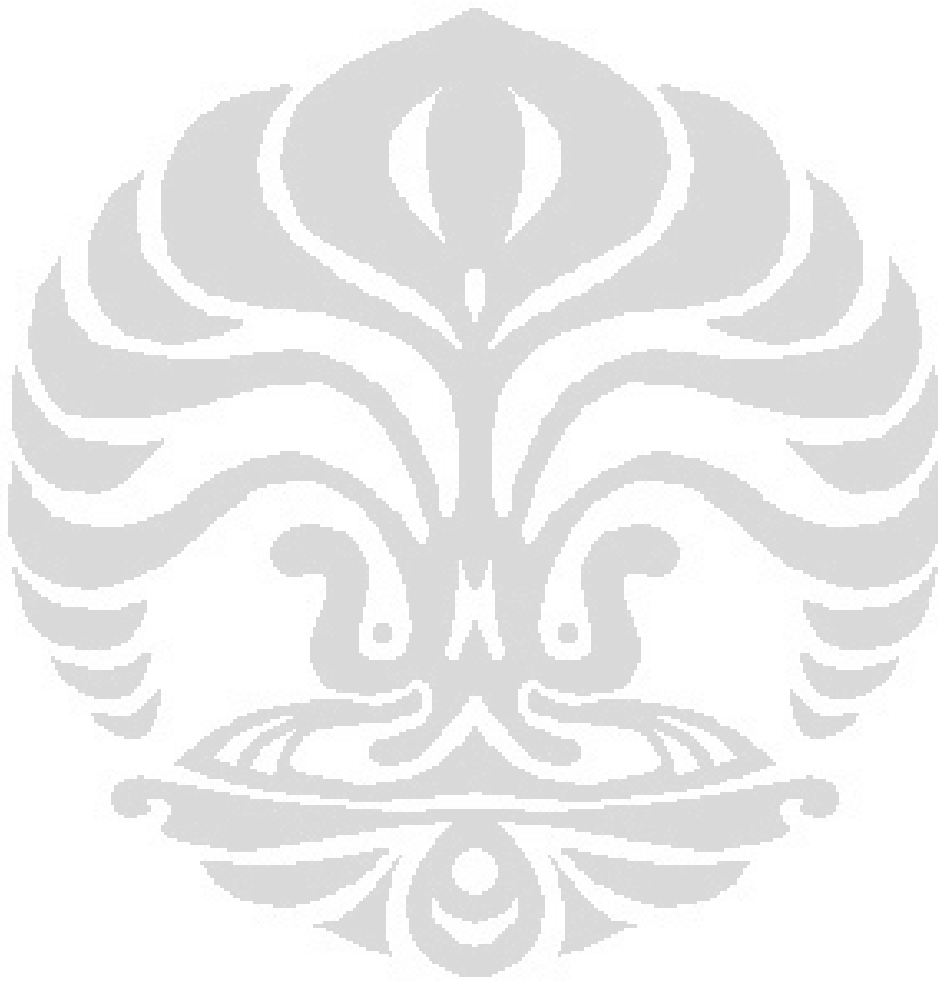
Keyword : *oscillation, pendulum, potentiometer, PWM, DC motor*



## DAFTAR ISI

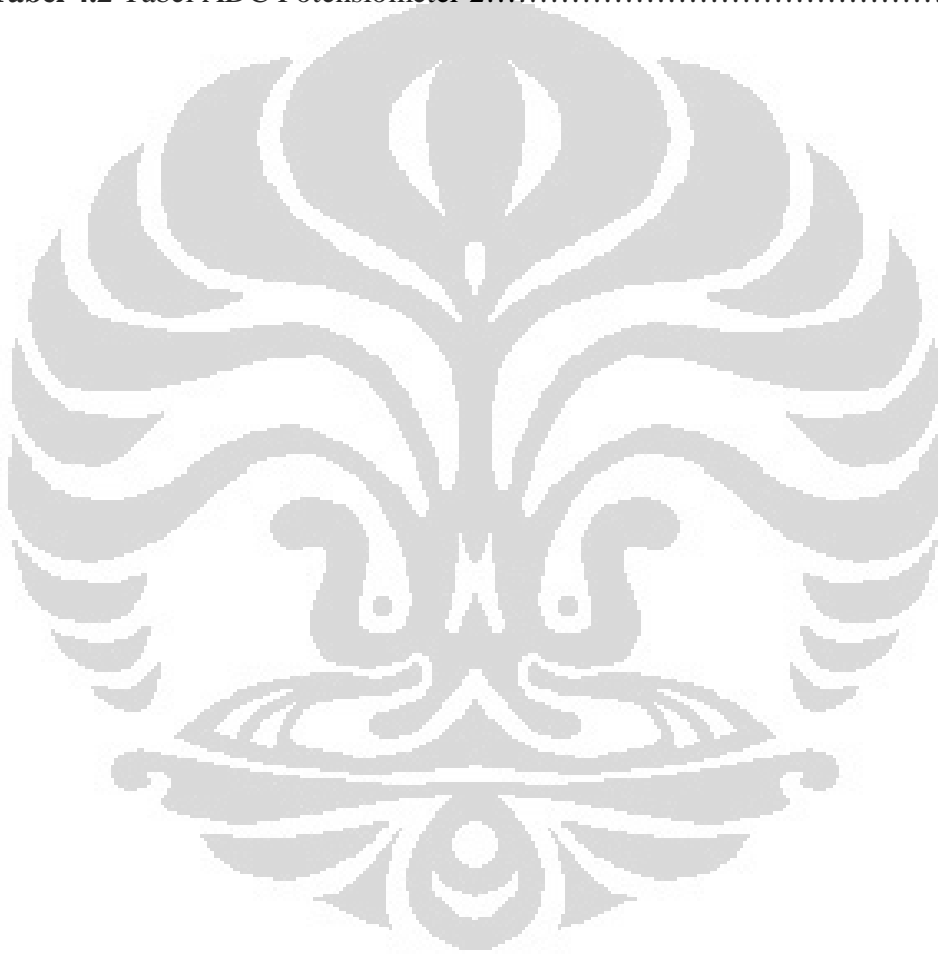
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	2
1.3. Batasan Makalah.....	2
1.4. Deskripsi Singkat.....	3
1.5. Metode Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	5
<b>BAB 2. TEORI DASAR.....</b>	<b>6</b>
2.1. Osilasi Harmonik Sederhana.....	6
2.1.1. Osilasi yang Dipaksakan.....	7
2.1.2. Osilasi Teredam.....	10
2.2 Keseimbangan benda tegar .....	12
2.3 Momen inersia.....	14
2.4 Motor DC.....	16
2.5 PWM (Pulse Width Modulation).....	18
2.5.1 Pengaturan PWM menggunakan mikrokontroler ATMEGA	19
2.5.2 Perhitungan duty cycle PWM.....	21
<b>BAB 3. PERANCANGAN DAN CARA KERJA SISTEM.....</b>	<b>23</b>
3.1. Perancangan Mekanik.....	23
3.1.1. Motor DC.....	24
3.1.2 Kotak Pendulum.....	24
3.1.3 Potensiometer.....	25
3.1.4 Piringan.....	26
3.2 Perancangan Rangkaian Elektronik.....	26
3.2.1 Rangkaian Driver Motor.....	27
3.2.2 Rangkaian Sistem Minimum Mikrokontroler.....	27
3.2.3 Flow Chart Labview.....	30
3.2.4 Flow Chart bascom avr.....	31
<b>BAB 4. HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>32</b>
4.1. Pengambilan data ADC potensio.....	32
4.2. Pengambilan data osilasi dengan menggunakan motor.....	34
4.3. Pengambilan data osilasi pendulum terhadap redaman magnet	36

<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>38</b>
5.1. Kesimpulan.....	38
5.2. Saran.....	38
<b>DAFTAR ACUAN.....</b>	<b>36</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>37</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>41</b>



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Titik berat benda-benda homogen berbentuk luasan (dua dimensi)	13
<b>Tabel 2.2</b> Titik berat benda-benda homogen berdimensi tiga.....	13
<b>Tabel 2.3</b> Momen inersia berbagai benda yang diputar terhadap sumbu yang melalui pusat massanya. ....	15
<b>Tabel 4.1</b> Tabel ADC Potensiometer 1.....	44
<b>Tabel 4.2</b> Tabel ADC Potensiometer 2.....	44



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b>	Blok diagram.....	3
<b>Gambar 2.1</b>	Osilasi terpaksa pada sistem pegas-massa.....	9
<b>Gambar 2.2</b>	Motor DC Sederhana.....	16
<b>Gambar 2.3</b>	Gaya Medan Magnet.....	17
<b>Gambar 2.4</b>	Elemen-elemen motor DC.....	18
<b>Gambar 2.5</b>	Konstruksi Potensiometer.....	19
<b>Gambar 2.6</b>	Persentase <i>Duty Cycle</i> .....	21
<b>Gambar 2.7</b>	Perhitungan dan Pengontrolan Tegangan Output Motor dengan Metode PWM.....	21
<b>Gambar 3.1</b>	Gambaran desain mekanik.....	23
<b>Gambar 3.2</b>	Motor dc.....	24
<b>Gambar 3.3.</b>	Kotak Pendulum.....	24
<b>Gambar 3.4.</b>	Bearing.....	25
<b>Gambar 3.5</b>	(a) Potensio 1 putaran dan (b) Potensio 10 putaran.....	25
<b>Gambar 3.6</b>	Piringan Aluminium.....	26
<b>Gambar 3.7</b>	Skematik Driver Motor.....	26
<b>Gambar 3.8</b>	Bentuk Fisik Rangkaian Driver Motor.....	27
<b>Gambar 3.9</b>	Skematik Sistem Minimum Mikrokontroler.....	28
<b>Gambar 3.10</b>	Bentuk Fisik dari Sistem Minimum Mikrokontroler.....	28
<b>Gambar 3.11</b>	Flow Chart Labview.....	29
<b>Gambar 3.12</b>	Flow Chart Bascom AVR.....	30
<b>Gambar 4.1</b>	Pengukuran ADC dan penempatan busur untuk kalibrasi....	31
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik ADC Potensio 1.....	31
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik ADC Potensio 2.....	32
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik pendulum 1 saat pwm 500 dan 12 volt.....	35
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik pendulum 1 saat pwm 1023 dan 12 volt.....	35
<b>Gambar 4.6</b>	Penempatan posisi magnet.....	36
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik pendulum 1 pada 500 pwm dan 12 volt.....	36
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik pendulum 1 pada 1023 pwm dan 12 volt.....	37

# BAB 1

## PENDAHULUAN

Pada Bab 1 ini membahas mengenai latar belakang dalam pembuatan skripsi ini, kemudian terdapat juga tujuan, batasan masalah, deskripsi singkat, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

### 1.1 Latar Belakang

Nonlinear adalah konsep yang sangat penting dalam mempelajari sistem fisis, karakteristiknya mungkin terlihat *simple* atau sederhana namun faktanya sangat rumit. Ketidakteraturan dasarnya adalah gerakan dinamis yang nonlinear. Cara untuk mengetahui ketidakteraturan tersebut dimulai dari mempelajari sistem yang sederhana dahulu, salah satunya yaitu mengenai pendulum.

Pendulum merupakan topik penting yang mewakili banyak fitur dari fenomena osilasi. Banyak juga makalah yang telah dikhususkan untuk membahas fenomena osilasi. Fulcher dan Davis (1976) melaporkan sebuah studi teoritis dan eksperimental dari pendulum sederhana. Wilkening dan Hesse (1981) juga mengusulkan eksperimen pendulum untuk menunjukkan fenomena induksi magnetik dimana massa pendulum dibentuk oleh kumparan yang berosilasi antara kutub tapal kuda permanen magnet kemudian direkam oleh galvanometer yang akan menampilkan medan magnet diinduksi dalam kumparan, dan masih banyak lagi studi-studi teoritis lainnya yang membahas tentang osilasi. (Yaarkhof Kraftmakher, 2005, "pendulum breaking decay of the pendulum")

Berbicara mengenai fenomena osilasi, maka tidak lepas dari getaran, seperti yang kita ketahui pendulum bergetar secara teratur dan berhenti apabila terdapat redaman atau gesekan. Getaran adalah suatu gerak bolak-balik di sekitar kesetimbangan. Kesetimbangan disini maksudnya adalah keadaan dimana suatu benda berada pada posisi diam jika tidak ada gaya yang bekerja pada benda tersebut. Getaran mempunyai amplitudo (jarak simpangan terjauh dengan titik tengah) yang sama. Apabila bergetar secara terus menerus maka getaran tersebut

dinamakan osilasi. Terdapat beberapa jenis osilasi seperti yang pernah penulis pelajari pada kuliah gelombang yaitu osilasi bebas, teredam dan paksa.

Dari jenis-jenis getaran tersebut, yang akan penulis lakukan adalah membuat suatu rancang bangun dan sistem akusisi yang di dalamnya terdapat prinsip osilasi yang dipaksakan dan osilasi teredam. Pada perancangan sistem dari pendulum ini, digunakan motor dc sebagai penggerak atau pemberi gaya paksa dari pergerakan pendulum. Gerakan tersebut nantinya akan dikendalikan oleh mikrokontroler melalui suatu *driver*. Untuk memudahkan dalam proses pengambilan dan pengolahan data, digunakan juga suatu perangkat lunak yaitu Labview. Dari perangkat lunak tersebut nanti dapat dilihat grafik dari pergerakan pendulum tersebut.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan kurikulum Program S1 Ekstensi Fisika, Peminatan Instrumentasi, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Tujuan membuat alat ini adalah untuk melakukan dan mempelajari mengenai osilasi yang dipaksakan dan teredam dari gerak 2 pendulum yang salah satunya berbentuk piringan aluminium. Dari gerak osilasi pendulum tersebut kemudian yang akan dikontrol oleh mikrokontroler dan diolah serta ditampilkan oleh perangkat lunak yaitu labview.

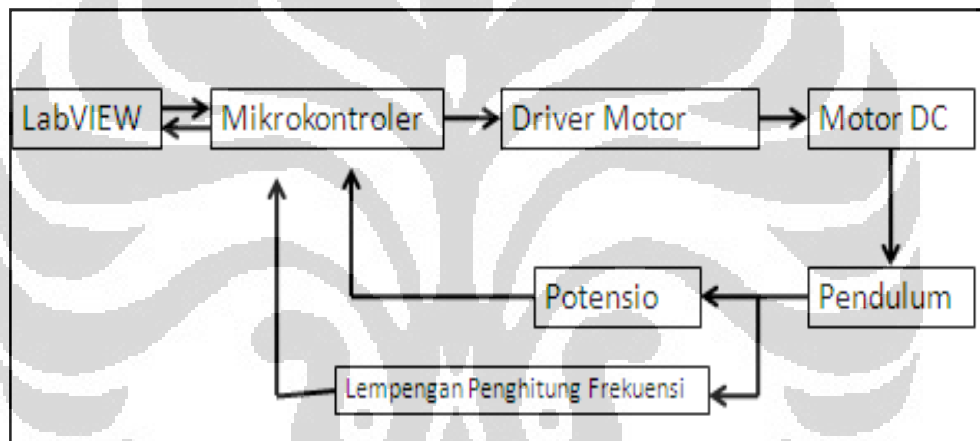
## 1.3 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil akhir yang baik dan sesuai dengan yang diinginkan serta tidak menyimpang dari permasalahan yang akan ditinjau, maka batasan masalah pada tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Pembuatan mekanik dari osilasi pendulum
2. Pembuatan perangkat elektronika yang mampu mengendalikan gerakan motor
3. Pembuatan perangkat lunak untuk menampilkan grafik osilasi dan mengatur sistem pengukuran alat.

## 1.4 Deskripsi Singkat

Cara kerja dari pendulum ini yaitu kondisi awal piringan alumuniumnya belum bergerak. Piringan ini melekat ke sensor potensio. Posisi potensio terpaku pada piringan dalam posisi horisontal. Sebuah kotak ditempatkan di atas dan terhubung ke potensio lainnya. Untuk mempelajari osilasi paksa diberikan tegangan pada motor dc untuk menggerakkan pendulum yang berada dibawah. Pemberian besar tegangan tersebut bisa diatur melalui PWM. Sensor gerak potensio digunakan untuk mengukur posisi sudut pendulum dan *Graphic tool* menampilkan grafik osilasi. Cara kerja dari pendulum tersebut kurang lebihnya dapat dijelaskan seperti pada gambar blok diagram berikut ini :



Gambar 1. Blok diagram

## 1.5 Metode Penelitian

Metode yang digunakan untuk membantu dalam pelaksanaan dan penganalisaan alat ini yaitu sebagai berikut :

### 1.5.1 Studi Literatur

Penulis menggunakan metode ini untuk memperoleh informasi yang berkaitan dengan penelitian yang penulis buat. Study literatur ini mengacu pada buku-buku pegangan, *datasheet* dari berbagai macam komponen yang digunakan, data yang didapat dari internet, dan makalah-makalah yang membahas tentang proyek yang penulis buat.



### **1.5.2 Perancangan dan Pembuatan Alat**

Berisi tentang proses perencanaan alat berupa sistem pengendali berbasis *microcontroller* dan mekanik. Pada bagian pemrograman akan membahas program-program yang akan dibuat pada alat tersebut.

### **1.5.3 Diskusi**

Tahap ini merupakan proses tanya jawab mengenai kelebihan dan kekurangan dari rancangan rangkaian yang akan dibuat. Dengan adanya diskusi ini diharapkan memperoleh petunjuk tertentu sehingga tidak terlalu besar kesukaran yang dihadapi.

### **1.5.4 Uji Sistem**

Dari alat yang dibuat maka dilakukan pengujian terhadap masing-masing bagian dengan tujuan untuk mengetahui kinerjanya agar sesuai dengan apa yang diharapkan dan dapat melakukan pengambilan data.

### **1.5.5 Pengambilan Data**

Pada bab ini akan diuraikan tentang kinerja dari masing-masing blok data yang diambil dengan harapan dalam pengujian tidak terdapat kesalahan yang fatal.

### **1.5.6 Penulisan Penelitian**

Dari hasil pengujian dan pengambilan data kemudian dilakukan suatu analisa sehingga dapat diambil suatu kesimpulan. Dengan adanya beberapa saran juga dapat kita ajukan sebagai bahan perbaikan untuk penelitian lebih lanjut.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari bab-bab yang memuat beberapa sub-bab. Untuk memudahkan pembacaan dan pemahaman maka Tugas Akhir ini dibagi menjadi beberapa bab yaitu :

**BAB 1 :** Merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penulisan dan sistematika penulisan dari Tugas Akhir ini

**BAB 2:** Teori dasar berisi tentang teori yang mendasari hal-hal yang berkaitan dengan tugas akhir ini yang didapatkan berdasarkan hasil studi literatur.

**BAB 3:** Perancangan Sistem, pada bab ini akan dijelaskan keseluruhan sistem kerja dari mekanik sistem pengendalian temperatur ini.

**BAB 4:** Pada bab ini akan membahas tentang hasil kerja dan analisa yang telah diperoleh dalam perancangan dan pengujian terhadap alat ini baik kesalahan maupun kendala yang didapat.

**BAB 5:** Berisi kesimpulan dari keseluruhan perancangan sistem hingga hasil penelitian yang didapat dan saran yang mungkin dapat digunakan untuk memperbaiki, menambahkan, ataupun memodifikasi alat yang sudah ada menjadi lebih baik.

## BAB 2

### TEORI DASAR

Seperti yang telah dijelaskan pada sistematika penulisan pembuatan tugas akhir ini, pada bab ini akan dijelaskan mengenai landasan teori yang digunakan sebagai hasil dari studi literatur yang berhubungan dalam perancangan dan pembuatan alat, antara lain mengenai osilasi harmonik, kesetimbangan benda tegar, momen inersia dan juga penjelasan mengenai motor dc dan PWM.

#### 2.1 Osilasi Harmonik Sederhana

Osilasi harmonik sederhana (OHS) adalah osilasi yang terjadi dalam suatu sistem yang hanya dipengaruhi oleh gaya-gaya konservatif yang ada padanya. Contoh pada sistem pegas-massa. Osilasi yang terjadi, hanya dipengaruhi oleh gaya elastis yang timbul pada pegas ketika ia disimpangkan dari keadaan setimbangnya. Pada OHS ini, beban yang dilekatkan pada pegas akan berosilasi tanpa henti tepat pada frekuensi alamiahnya. Tentu saja osilasi sistem pegas-massa ini tidak pernah terjadi pada realita, karena bagaimanapun juga gesekan beban dengan lantai akan menghambat gerakan benda, hingga lambat laun osilasi beban terhenti. Berhentinya osilasi beban disebabkan adanya gaya luar yang bekerja selain gaya-gaya konservatifnya, yaitu gaya redaman yang selalu melawan arah gerak beban.

Pada sebuah gerak ayunan (getaran) sebuah partikel, dimana partikel dalam kedudukan setimbang (stabil) kita pilih sebagai pusat koordinat. Jika partikel itu berpindah dari pusat koordinat maka suatu gaya akan berusaha mengembalikan partikel itu kepada tempat asalnya. Gaya ini disebut gaya pulih, yang besarnya sebagai fungsi jarak perpindahan. Secara kasar dapat dituliskan dalam persamaan :

$$F(x) = kx \quad (2.1)$$

Sistem fisis yang digambarkan melalui pers (2.1) dikenal dengan hukum hooke. Selama perpindahan itu kecil dan batas elastik tidak dilampaui, maka gaya pulih linear dapat digunakan pada soal pegas teregang, pegas elastik, dan lain-lain.

Hukum hooke ini merupakan cara pendekatan saja, karena sebenarnya setiap gaya pulih dalam ini didapati lebih rumit. Persamaan gerak ayunan harmonik sederhana diperoleh jika gaya hukum hooke pers (2.1) dimasukkan dalam persamaan gerak Newtonian,  $F = ma$ , jadi :

$$-kx = m\ddot{x} \quad (2.2)$$

Sehingga :

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0 \quad (2.3)$$

dimana frekuensi sudut  $\omega_0$  dan periode getaran diperoleh

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (2.4)$$

sehingga frekuensinya:

$$f = 1/T = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.5)$$

kecepatan partikel yang bergerak ayunan harmonik sederhana dapat diperoleh dengan mendiferensialkan simpangan.

### 2.1.1 Osilasi yang Dipaksakan

Osilasi yang dipaksakan terjadi pada suatu sistem karena adanya gaya luar yang menyebabkannya. Sebagai contoh seorang anak TK yang sedang main ayunan lama kelamaan ayunannya akan berhenti. Tetapi bila sang ibu selalu mendorongnya manakala ayunan si anak sampai kedirinya, maka ayunan anak itu akan berlangsung terus-menerus. Ayunan tersebut berosilasi dengan frekuensi alaminya. Yang dimaksud dengan frekuensi alami adalah frekuensi osilasi dimana tidak ada redaman maupun gaya luar yang bekerja pada sistem yang berosilasi. Untuk kasus ini, sistem yang berosilasi adalah ayunan. Frekuensi alami ayunan dinyatakan melalui persamaan :

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (2.6)$$

Ini adalah persamaan frekuensi pendulum sederhana yang sudah diturunkan dalam pokok bahasan pendulum sederhana. Persamaan ini bisa ditulis dalam bentuk frekuensi sudut :

$$\omega = 2\pi f \quad (2.7)$$

$$\omega = 2\pi \left( \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}} \right) \quad (2.8)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (2.9)$$

keterangan :

$f$  = frekuensi (Hz)

$\omega$  = frekuensi sudut (rad/s)

$g$  = percepatan gravitasi (  $m/s^2$  )

$L$  = panjang tali (m)

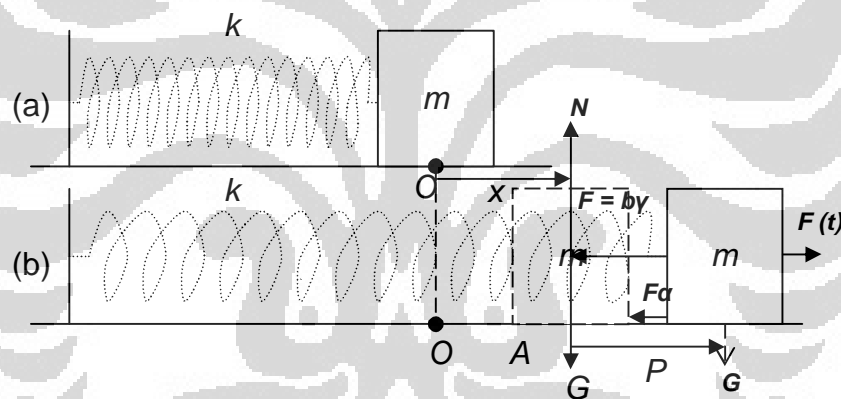
Apabila ayunan hanya didorong sekali saja dan tidak didorong lagi maka suatu saat ayunan akan berhenti bergerak. Agar selalu bergerak maka ayunan harus selalu didorong, terdapat dua situasi yang berbeda jika ayunan didorong lagi. Ketika ayunan tersebut didorong lagi ( baik ketika frekuensi dorongan sama dengan frekuensi alami ayunan maupun ketika frekuensi dorongan tidak sama dengan frekuensi alami ayunan), maka ayunan tersebut dikatakan mengalami osilasi paksa. Disebut osilasi paksa karena ketika ayunan beresilasi dengan frekuensi alaminya, ada gaya luar yang memaksa ayunan untuk beresilasi.

Banyak sistem osilasi terpaksa yang tanpa disadari sudah akrab dengan kehidupan sehari-hari. Misalnya, ketika menyetel radio, kita telah memaksa sistem elektronik radio untuk beresilasi pada frekuensi stasiun pemancar yang kita pilih, sehingga kita dapat mendengar lantunan penyanyi pujaan, dan iklan jitu yang kita butuhkan. Kita dapat menyalakan televisi, mesin cuci atau dapat menyeterika, karena alat-alat itu menerima pasokan daya dari PLN, sehingga arus listrik bolak balik yang dibutuhkan alat-alat itu mengalir hingga mereka dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya masing-masing.

Semua sistem yang beresilasi secara paksa mempunyai sifat yang analog, misalnya osilasi terpaksa pada ayunan anak yang disebabkan oleh dorongan ibu,

analog dengan osilasi terpaksa yang terjadi ketika tangan kita mendorong dan menarik beban sesuai dengan kehendak kita. Osilasi yang dihasilkan pada kedua contoh itu tidak terjadi pada frekuensi alamiah masing-masing tetapi sangat tergantung pada frekuensi dorongan sang ibu dan tangan kita. Aliran arus listrik bolak balik dalam rangkaian listrik RLC terjadi pada frekuensi sumber tegangan bolak balik yang memcatunya, demikian pula osilasi atom dalam bahan terjadi pada frekuensi medan gelombang elektromagnetik yang menginduksinya. Oleh karena sistem yang mengalami osilasi terpaksa mempunyai karakteristik yang sama, maka pada bab ini penjelasan rinci tentang osilasi terpaksa ini dilakukan menggunakan model osilasi terpaksa oleh sistem pegas-massa.

Pada gambar.2.1 ditunjukkan suatu sistem pegas-massa yang dikenai gaya luar hingga mengalami osilasi terpaksa. Gaya dorong dari luar diasumsikan diberikan secara periodik.



**Gambar 2.1** Osilasi terpaksa pada sistem pegas-massa

Bila pada sistem pegas-massa tersebut beban bermassa  $m$ , pegas mempunyai kekakuan dengan konstanta pegas  $k$ , besar redaman di sekitar sistem dinyatakan oleh faktor redaman  $b$ , dan gaya periodik penyebab osilasi dalam  $F(t)$ , maka menurut hukum kedua Newton, persamaan gerak beban selama osilasi berlangsung dinyatakan dalam bentuk

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + k x = F(t) \quad (2.10)$$

gaya luar periodik  $F(t)$  umumnya dalam bentuk fungsi sinus dan fungsi cosinus.

Persamaan gerak pada sistem osilasi terpaksa ini ternyata identik dengan persamaan yang menggambarkan aliran arus bolak balik ( $I$ ) dalam sistem RLC ketika dihubungkan dengan tegangan sumber bolak balik  $V(t)$ , yaitu

$$L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{q}{C} = V(t) \quad (2.11)$$

atau dalam bentuk persamaan diferensial yang menyatakan aliran muatan  $q$  adalah

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = V(t) \quad (2.12)$$

dengan  $I = \frac{dq}{dt}$

Pada Pers.(2.6) dan Pers.(2.7) besaran  $C$  adalah kapasitansi kapasitor yang akan dimuati,  $L$  adalah induktansi dari lilitan yang digunakan dan  $R$  adalah besar hambatan listrik yang berfungsi sebagai pembatas arus listrik. Keidentikan dengan Pers.(2.6) tersebut menyebabkan massa beban  $m$  identik dengan induktansi  $L$ , faktor redaman  $b$  identik dengan hambatan  $R$ , konstanta pegas  $k$  bersesuaian dengan kapasitansi  $C$ , gaya periodik luar  $F(t)$  identik dengan  $V(t)$ , sedangkan arus listrik  $I$  identik dengan kecepatan benda  $dx/dt$ . Kedua persamaan diferensial dari kedua proses yang berbeda ini menghasilkan penyelesaian dengan karakteristik yang identik.

### 2.1.2 Osilasi Teredam

Gerak partikel dinyatakan oleh ayunan harmonik sederhana disebut ayunan bebas. Begitu ayunan (bergetar), gerak itu tidak akan pernah berhenti. Kejadian ini merupakan suatu hal yang sangat sederhana sekali. Getaran yang terdapat gaya penghambat atau gaya gesekan yang pada akhirnya getaran itu akan berhenti. Gaya penghambat itu dikenal dengan gaya redam. Gaya redam merupakan fungsi linier dari kecepatan,  $F_d = -\beta dx/dt$ .

jika suatu partikel bermassa  $m$  bergerak di bawah pengaruh gaya pulih linier dan gaya hambat, maka persamaannya menjadi:

$$m\ddot{x} + \beta\dot{x} + kx = 0 \quad (2.13)$$

yang dapat dituliskan menjadi:

$$\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega_0^2x = 0 \quad (2.14)$$

dimana  $\beta/2m$ , yang merupakan parameter redam; dan  $\omega_0^2 = k/m$  sebagai frekuensi asli.

Dalam gerak ayunan teredam terdapat tiga jenis gerak teredam, yaitu :

a) **Kurang redam (*undamped*)**, jika  $\omega_0^2 > \gamma^2$

Untuk gerak ayunan kurang redam kita definisikan  $\omega_1^2 = \omega_0^2 - \gamma^2$ ; dimana  $\omega_1^2 > 0$  ;  $\omega_1$  = frekuensi ayunan redam. Sebenarnya tidaklah mungkin menentukan frekuensi dengan adanya redaman, sebab gerak itu tidak periodik lagi. Jika redaman kecil, maka frekuensi tersebut akan mendekati frekuensi asli artinya gerak partikel tersebut berayun harmonik.

Amplitudo maksimum gerak ayunan redam menurun menurut waktu yang disebabkan oleh faktor  $e^{-\gamma t}$ , dimana  $\gamma > 0$ . hal ini dikarenakan bentuk persamaan lintasannya:

$$X(t) = Ae^{-\gamma t} \cos(\omega_1 t - \Phi) \quad (2.15)$$

b) **Redaman kritis (*critically damped*)**, jika  $\omega_0^2 = \gamma^2$

Jika gaya redam cukup besar, dimana  $\omega_0^2 = \gamma^2$ , sistem akan dicegat dari melakukan gerak ayunan. Perpindahan atau simpangan akan menurun secara monoton dari nilai permulaanya kekedudukan setimbang ( $x=0$ ). Untuk suatu ayunan redam kritis akan mendekati kesetimbangan dengan suatu kadar laju yang lebih cepat daripada gerak terlampau redam maupun gerak kurang redam. Sifat ini penting guna mendesain suatu sistem ayunan praktis, misalnya galvanometer.

c) **Terlampau redam (*overdamped*)**, jika  $\omega_0^2 < \gamma^2$

Pada gerak terlampau redam tidak menggambarkan periodik, simpangan ayunan akan berkurang atau sama sekali tidak bergerak tetap berada posisi kesetimbangan.



## 2.2 Keseimbangan Benda Tegar

Benda tegar adalah benda yang dianggap sesuai dengan dimensi ukuran sesungguhnya dimana jarak antar partikel penyusunnya tetap. Ketika benda tegar mendapatkan gaya luar yang tidak tepat pada pusat massa, maka selain dimungkinkan gerak translasi benda juga bergerak rotasi terhadap sumbu rotasinya. Jika kita mengamati pergerakan mainan di salah satu taman hiburan yaitu bianglala, para penumpang bisa menikmati putaran yang dilakukan oleh motor penggerak yang terletak di tengah, karena gerak rotasi. Gerakan yang berotasi tersebut menyebabkan para penumpang mempunyai energi kinetik rotasi di samping momentum sudut. Di samping itu pula besaran fisis yang lain juga terkait seperti momen inersia, kecepatan dan percepatan sudut, putaran, serta torsi.

Suatu benda tegar dapat mengalami gerak translasi (gerak lurus) dan gerak rotasi. Benda tegar akan melakukan gerak translasi apabila gaya yang diberikan pada benda tepat mengenai suatu titik yang disebut titik berat. Titik berat merupakan titik dimana benda akan berada dalam keseimbangan rotasi (tidak mengalami rotasi). Pada saat benda tegar mengalami gerak translasi dan rotasi sekaligus, maka pada saat itu titik berat akan bertindak sebagai sumbu rotasi dan lintasan gerak dari titik berat ini menggambarkan lintasan gerak translasinya

Apabila ditinjau dari suatu benda tegar, seperti misalnya tongkat pemukul kasti, kemudian kita lempar sambil sedikit berputar. Kalau kita perhatikan secara seksama, gerakan tongkat pemukul tadi dapat kita gambarkan seperti membentuk suatu lintasan dari gerak translasi yang sedang dijalani dimana pada kasus ini lintasannya berbentuk parabola. Tongkat ini memang berputar pada porosnya, yaitu tepat di titik beratnya. Dan, secara keseluruhan benda bergerak dalam lintasan parabola. Lintasan ini merupakan lintasan dari posisi titik berat benda tersebut.

Cara untuk mengetahui letak titik berat suatu benda tegar akan menjadi mudah untuk benda-benda yang memiliki simetri tertentu, misalnya segitiga, kubus, balok, bujur sangkar, bola dan lain-lain. Yaitu sama dengan letak sumbu simetrinya. Di sisi lain untuk benda-benda yang mempunyai bentuk sembarang letak titik berat dicari dengan perhitungan. Perhitungan didasarkan pada asumsi

bahwa kita dapat mengambil beberapa titik dari benda yang ingin dihitung titik beratnya dikalikan dengan berat di masing-masing titik kemudian dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah berat pada tiap-tiap titik. dikatakan titik berat juga merupakan pusat massa di dekat permukaan bumi, namun untuk tempat yang ketinggiannya tertentu di atas bumi titik berat dan pusat massa harus dibedakan. Di bawah ini terdapat beberapa tabel untuk letak titik berat pada bidang homogen dua dimensi dan tiga dimensi.

Tabel 2.1 Titik berat benda-benda homogen berbentuk luasan (dua dimensi)

Nama benda	Gambar benda	Letak titik berat	Keterangan
1. Bidang segitiga		$y_0 = \frac{1}{3} t$	t = tinggi segitiga
2. Jajaran Genjang		$y_0 = \frac{1}{2} t$	t = tinggi
3. Bidang juring lingkaran		$y_0 = \frac{2}{3} R$ talibusur AB busur AB	R = jari-jari lingkaran
4. Bidang setengah lingkaran		$y_0 = \frac{4R}{3\pi}$	

Tabel 2.2 Titik berat benda-benda homogen berdimensi tiga

Nama benda	Gambar benda	Letak titik berat	Keterangan
1. Prisma pejal beraturan		Z pada titik tengah sisi z $y_0 = \frac{1}{2} l$ V = luas alas x tinggi	Zs = titik berat bidang alas Zz = titik berat bidang atas l = panjang sisi tegak V = volume
2. Silinder pejal		$y_0 = \frac{1}{2} t$ $V = \pi R^2 \cdot t$	t = tinggi silinder R = jari-jari lingkaran
3. Limas pejal beraturan		$y_0 = \frac{1}{4} TT = \frac{1}{4} t$ $V = \frac{\text{luas alas} \times \text{tinggi}}{3}$	TT = t = tinggi limas beraturan
4. Kerucut pejal		$y_0 = \frac{1}{4} t$ $V = \frac{\pi R^2 \cdot t}{3}$	t = tinggi kerucut R = jari-jari lingkaran
5. Setengah bola		$y_0 = \frac{3}{8} R$ $V = \frac{1}{2} \times \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{2}{3} \pi R^3$	R = jari-jari bola

### 2.3 Momen Inersia

Momen inersia adalah ukuran kelembaman suatu benda untuk berotasi terhadap porosnya. Momen inersia ini berperan dalam dinamika rotasi seperti massa dalam dinamika dasar, dan menentukan hubungan antara momentum sudut dan kecepatan sudut, momen gaya dan percepatan sudut, dan beberapa besaran lain.

Pada saat mempelajari hukum Newton kita telah mengetahui bahwa ukuran kelembaman benda pada gerak translasi adalah massa atau inersia linear. Seperti halnya pada planet-planet yang terus berputar pada sumbunya tanpa henti akan selalu mempertahankan keadaan untuk terus berotasi. Dengan demikian pada gerak rotasi dikenal istilah kelembaman. Dalam gerak rotasi, “massa” benda tegar dikenal dengan julukan Momen Inersia alias MI. Momen Inersia dalam Gerak Rotasi mirip dengan massa dalam gerak lurus. Jika massa dalam gerak lurus menyatakan ukuran kemampuan benda untuk mempertahankan kecepatan linear (kecepatan linear = kecepatan gerak benda pada lintasan lurus), maka Momen Inersia dalam gerak rotasi menyatakan ukuran kemampuan benda untuk mempertahankan kecepatan sudut (kecepatan sudut = kecepatan gerak benda ketika melakukan gerak rotasi. Disebut sudut karena dalam gerak rotasi, benda bergerak mengitari sudut). Makin besar Momen inersia suatu benda, semakin sulit membuat benda itu berputar atau berotasi. sebaliknya, benda yang berputar juga sulit dihentikan jika momen inersianya besar. Besaran pada gerak rotasi yang analog dengan massa pada gerak translasi dikenal sebagai momen inersia ( $I$ ).

Perbedaan nilai antara massa dan momen inersia adalah besar massa suatu benda hanya bergantung pada kandungan zat dalam benda tersebut, tetapi besar momen inersia tidak hanya tergantung pada jumlah zat tetapi juga dipengaruhi oleh bagaimana zat tersebut terdistribusi pada benda tersebut.

Momen inersia suatu benda yang berotasi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I = m r^2 \quad (2.16)$$

Dengan:

$I$  = momen inersia benda ( $\text{kg m}^2$ )

$m$  = massa benda (kg)

$r$  = jarak ke sumbu rotasi (m).

Momen inersia untuk suatu partikel atau elemen massa ( $dm$ ) dapat ditentukan dengan cara yang sama. Elemen momen inersia ( $dI$ ) dapat ditulis sebagai berikut:

$$dI = r^2 dm \quad (2.17)$$

Jika sumbu putar benda tegar berjarak  $d$  dari pusat massa maka momen inersia dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I = I_{pm} + md^2 \quad (2.18)$$

dengan  $I_{pm}$  = momen inersia jika sumbu putar melalui pusat massa,  $d$  = jarak sumbu putar ke pusat massa benda. Momen inersia untuk beberapa benda tegar dapat dilihat pada tabel berikut:

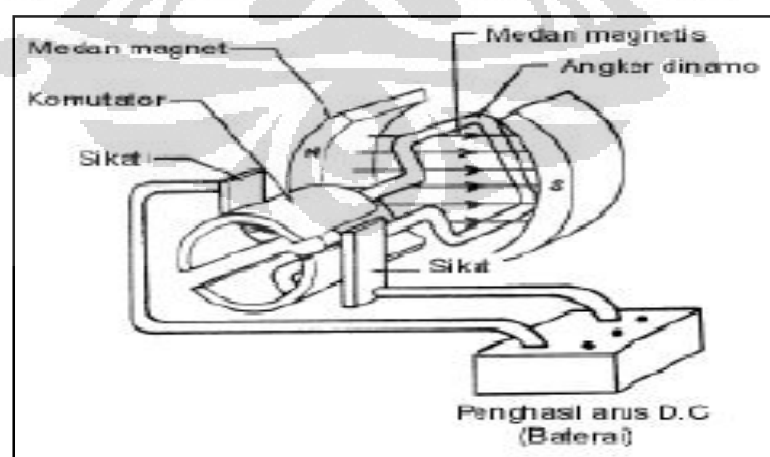
**Tabel 2.3** momen inersia berbagai benda yang diputar terhadap sumbu yang melalui pusat massanya.

Benda	Momen inersia	Keterangan
Batang	$I_{pm} = \frac{1}{12} ml^2$	$l$ = panjang batang
Segitiga sama sisi	$I_{pm} = \frac{1}{12} ma^2$	$a$ = panjang sisi segitiga
Segiempat beraturan	$I_{pm} = \frac{1}{6} ma^2$	$a$ = panjang sisi segiempat
Segienam beraturan	$I_{pm} = \frac{5}{12} ml^2$	$a$ = panjang sisi segienam
Selinder pejal	$I_{pm} = \frac{1}{2} mR^2$	$R$ = jari-jari silinder
Bola tipis	$I_{pm} = \frac{2}{3} mR^2$	$R$ = jari-jari
Bola pejal	$I_{pm} = \frac{2}{5} mR^2$	$R$ = jari-jari

## 2.4 Motor DC

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (*mixer*, bor listrik, *fan* angin) dan di industri. Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri.

Motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan magnet, maka akan timbul tegangan (GGL) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik. Prinsip kerja dari arus searah adalah membalik fasa tegangan dari gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator, dengan demikian arus yang berbalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet. Bentuk motor paling sederhana memiliki kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas di antara kutub-kutub magnet permanen.



Gambar 2.2. Motor DC Sederhana

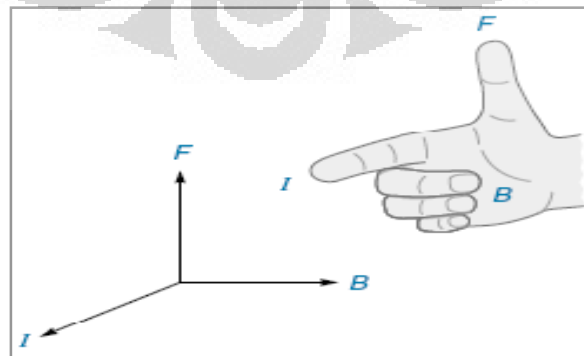
Catu tegangan dc dari baterai menuju ke lilitan melalui sikat yang menyentuh komutator, dua segmen yang terhubung dengan dua ujung lilitan. Kumparan satu lilitan pada gambar di atas disebut angker dinamo. Angker dinamo adalah sebutan untuk komponen yang berputar di antara medan magnet. Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor secara umum :

- Arus listrik dalam medan magnet 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 dinamonya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

Gaya yang dihasilkan motor dc tergantung pada :

- a. Kekuatan pada medan magnet.
- b. Besarnya arus yang mengalir pada penghantar.
- c. Panjang kawat penghantar yang berada dalam medan magnet.

Apabila panjang kumparan rotor  $L$  dialiri arus listrik sebesar  $I$  dan terletak diantara kutub magnet utara dan selatan dengan kerapatan fluks sebesar  $B$ , maka kumparan rotor tersebut mendapat gaya  $F$  sesuai dengan persamaan 2.11 dan memiliki arah seperti yang terlihat pada Gambar



Gambar 2.3. Gaya Medan Magnet

$$F = B i L \dots\dots\dots (2.16)$$

**Keterangan :**

$F$  = Gaya Lorentz ( Newton )

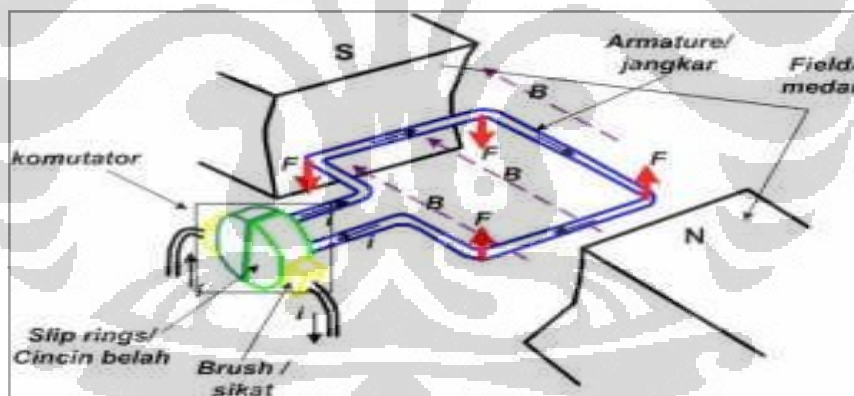
$B$  = Kerapatan Fliks Magnet ( Weber /  $m^2$  )

$i$  = Arus Listrik ( Ampere )

$L$  = Panjang sisi kumparan rotor ( m )

Motor DC banyak digunakan sebagai penggerak dalam berbagai peralatan, baik kecil maupun besar, lambat maupun cepat. Ia juga banyak dipakai karena cukup dapat dikendalikan dengan mudah pada kebanyakan kasus. Cara pengendalian motor DC bisa secara ON/OFF biasa. Pemilihan cara pengendalian akan tergantung dari kebutuhan terhadap gerakan motor DC itu sendiri. Elemen utama motor DC adalah :

- Magnet
- Armatur atau rotor
- As atau poros (Axle )
- Commutator
- Sikat (Brushes)



**Gambar 2.4.** Elemen-elemen motor DC

## 2.5 PWM ( Pulse Width Modulation )

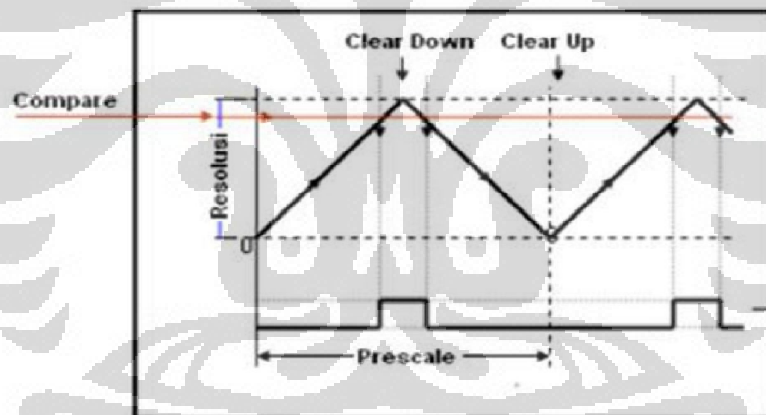
PWM merupakan suatu teknik teknik dalam mengatur kerja suatu peralatan yang memerlukan arus *pull in* yang besar dan untuk menghindari disipasi daya yang berlebihan dari peralatan yang akan dikontrol. PWM merupakan suatu metoda untuk mengatur kecepatan perputaran motor dengan cara mengatur prosentase lebar pulsa high terhadap perioda dari suatu sinyal persegi dalam bentuk tegangan periodik yang diberikan ke motor sebagai sumber daya. Semakin

besar perbandingan lama sinyal high dengan perioda sinyal maka semakin cepat motor berputar.

Sinyal PWM dapat dibangun dengan banyak cara, dapat menggunakan metode analog menggunakan rangkaian op-amp atau dengan menggunakan metode digital. Dengan metode analog setiap perubahan PWM-nya sangat halus, sedangkan menggunakan metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Misalkan PWM digital 8 bit berarti PWM tersebut memiliki resolusi  $2^8 = 256$ , maksudnya nilai keluaran PWM ini memiliki 256 variasi, variasinya mulai dari 0 – 255 yang mewakili *duty cycle* 0 – 100% dari keluaran PWM tersebut.

Pada perancangan driver ini, sinyal PWM akan diatur secara digital yang dibangkitkan oleh mikrokontroler ATMEGA 8535.

### 2.5.1 Pengaturan PWM menggunakan mikrokontroler ATMEGA



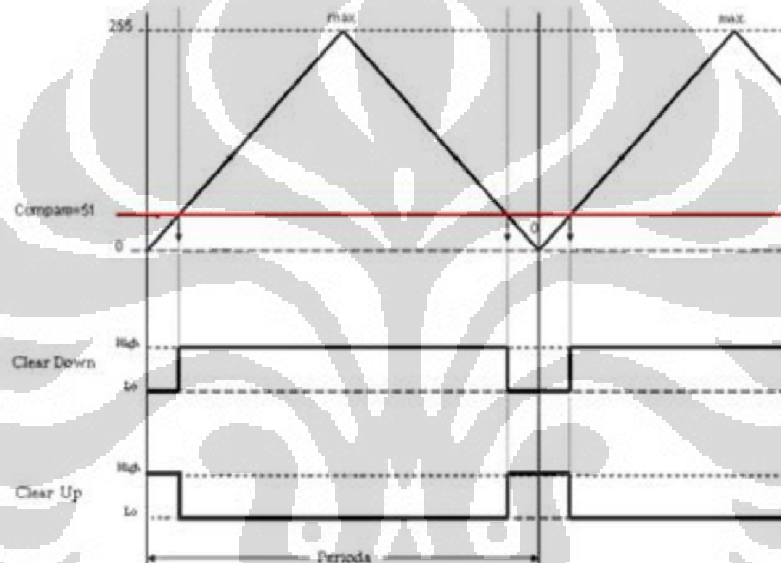
Gambar 2.4 Proses pembangkitan sinyal PWM pada mikrokontroler

Resolusi adalah jumlah variasi perubahan nilai dalam PWM tersebut. Misalkan suatu PWM memiliki resolusi 8 bit berarti PWM ini memiliki variasi perubahan nilai sebanyak  $2^8 = 256$  variasi mulai dari 0 – 255 perubahan nilai. *Compare* adalah nilai pembanding. Nilai ini merupakan nilai referensi *duty cycle* dari PWM tersebut. Nilai *compare* bervariasi sesuai dengan resolusi dari PWM. Dalam gambar nilai *compare* ditandai dengan garis warna merah, dimana posisinya diantara dasar segitiga dan ujung segitiga. *Clear* digunakan untuk penentuan jenis komparator apakah komparator *inverting* atau *non-inverting*.



Mikrokontroler akan membandingkan posisi keduanya, misalkan bila PWM diset pada kondisi *clear down*, berarti apabila garis segitiga berada dibawah garis merah (*compare*) maka PWM akan mengeluarkan logika 0.

Begitu pula sebaliknya apabila garis segitiga berada diatas garis merah (*compare*) maka PWM akan mengeluarkan logika 1. Lebar sempitnya logika 1 ditentukan oleh posisi *compare*, lebar sempitnya logika 1 itulah yang menjadi nilai keluaran PWM, dan kejadian ini terjadi secara harmonik terus-menerus. Maka dari itu nilai *compare* inilah yang dijadikan nilai *duty cycle* PWM. Clear Up adalah kebalikan (invers) dari Clear Down pada keluaran logikanya.



Gambar 2.5 Timing Diagram PWM

*Prescale* digunakan untuk menentukan waktu perioda dari pada PWM. Nilai *prescale* bervariasi yaitu 1, 8, 32, 64, 128, 256, 1024. Misalkan jika *prescale* diset 64 berarti timer/PWM akan menghitung 1 kali bila *clock* di CPU sudah 64 kali, *Clock* CPU adalah *clock* mikrokontroler itu sendiri. Perioda dari PWM dapat dihitung menggunakan rumus :

$$T = \left( \frac{1}{\text{clock CPU}} \right) \times \text{prescale} \times \text{resolusi} \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

Setting *prescale* disini digunakan untuk mendapatkan frekuensi dan periode kerja PWM sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan.

### 2.5.2 Perhitungan duty cycle PWM

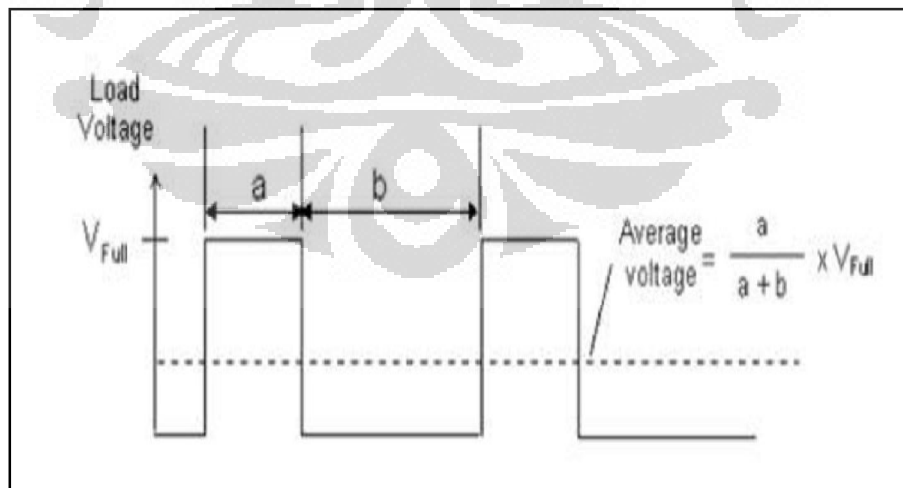
Dengan cara mengatur lebar pulsa “on” dan “off” dalam satu perioda gelombang melalui pemberian besar sinyal referensi output dari suatu PWM akan didapat duty cycle yang diinginkan. *Duty cycle* dari PWM dapat dinyatakan sebagai :

$$duty\ cycle = \left( \frac{t_{on}}{t_{off}} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

*Duty cycle* 100% berarti sinyal tegangan pengatur motor dilewatkan seluruhnya. Jika tegangan catu 100V, maka motor akan mendapat tegangan 100V. pada *duty cycle* 50%, tegangan pada motor hanya akan diberikan 50% dari total tegangan yang ada, begitu seterusnya.



Gambar 2.6 Persentase *Duty Cycle*



Gambar 2.7 Perhitungan dan Pengontrolan Tegangan Output Motor dengan Metode PWM

Dengan menghitung *duty cycle* yang diberikan, akan didapat tegangan output yang dihasilkan. Sesuai dengan rumus yang telah dijelaskan pada gambar.

$$\text{Average Voltage} = \left( \frac{a}{a+b} \right) \times V \text{ full} \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

*Average voltage* merupakan tegangan output pada motor yang dikontrol oleh sinyal PWM. *a* adalah nilai *duty cycle* saat kondisi sinyal “on”. *b* adalah nilai *duty cycle* saat kondisi sinyal “off”. *V full* adalah tegangan maximum pada motor. Dengan menggunakan rumus diatas, maka akan didapatkan tegangan output sesuai dengan sinyal kontrol PWM yang dibangkitkan.

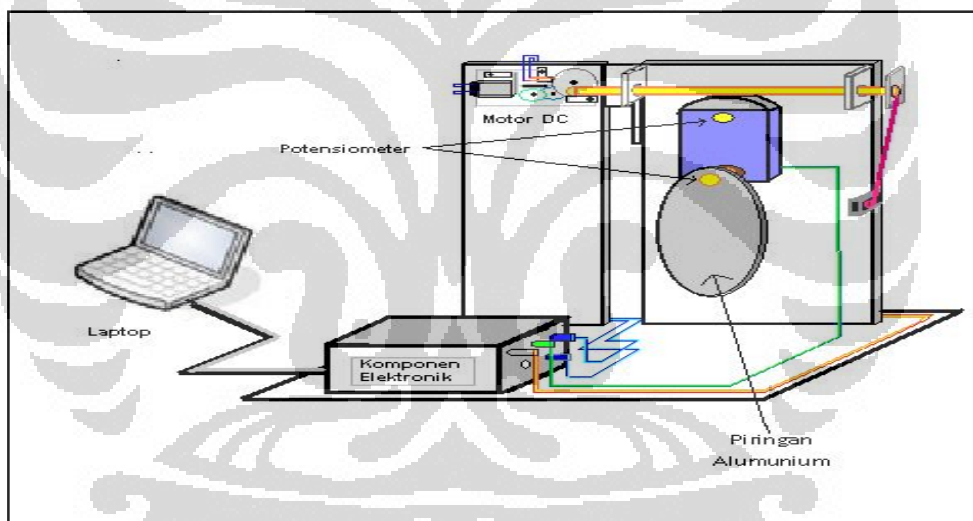


## BAB 3

### PERANCANGAN DAN CARA KERJA SISTEM

Pada bab ini akan dibahas mengenai perancangan dan cara kerja sistem dari masing-masing *hardware* yang digunakan penulis dalam penyusunan alat ini baik berupa perancangan mekanik maupun perancangan elektronik yang nanti akan digunakan. Selain itu akan dijelaskan juga dalam bentuk *flowchart* mengenai cara kerja sistem secara keseluruhan, dari mulai kondisi awal pendulum belum bergerak hingga pendulum berhenti. Untuk lebih jelasnya akan dijelaskan sebagai berikut :

#### 3.1 Perancangan Mekanik

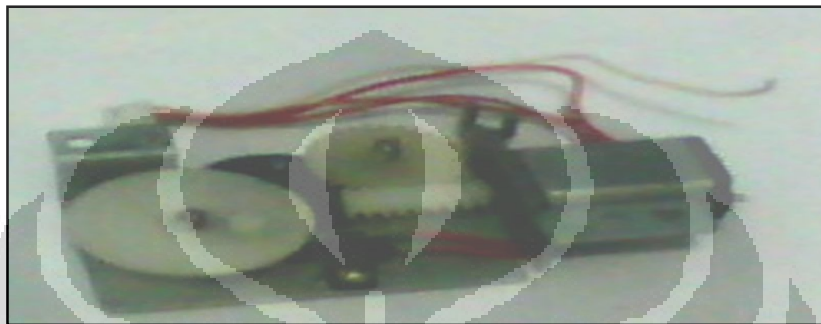


**Gambar 3.1.** Desain Mekanik

Motor DC diletakkan diatas, fungsinya untuk menggerakkan kotak. Pada saat motor kondisi ON, maka motor akan berputar, dari putaran tersebut akan menyebabkan batang atau medium penghubung bergerak maju mundur atau ke kanan dan ke kiri, kemudian akan membuat kotak bergerak ke kiri dan ke kanan lalu berayun dan kemudian berosilasi. Potensio disini berfungsi sebagai pusat atau poros osilasi. Karena potensio 2 yang diatas berosilasi, maka piringan yang berada dibawahnya juga ikut berosilasi namun osilasinya berbeda dengan osilasi kotak yang diatasnya. Semakin kencang gerakan motor maka osilasi yang terjadi

juga semakin cepat hingga menyebabkan amplitudonya besar. Osilasi itulah yang dinamakan osilasi yang dipaksakan karena diberikan gaya paksa, nanti dari gerakan itu akan diolah oleh perangkat lunak untuk ditampilkan dan dianalisa. Untuk spesifikasi dan ukuran-ukuran dari keseluruhan bentuk mekanik berikut akan dijelaskan seperti dibawah ini :

### 3.1.1 Motor DC



Gambar 3.2. Motor dc

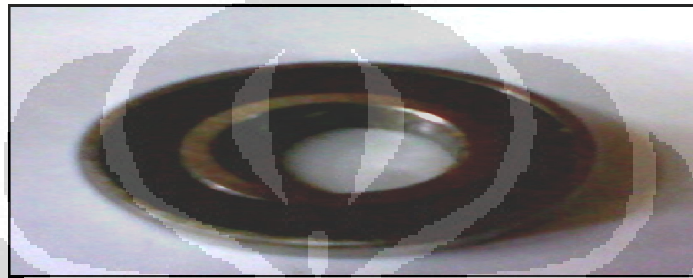
Motor yang digunakan penulis adalah jenis motor DC. Jika dulu suka bermain *tamiya*, motor ini bentuknya seperti dinamo *tamiya* namun ukurannya lebih kecil. Panjang dari motor DC adalah 2.5 cm, dan diameter tiap-tiap *gear*-nya adalah 1.5 cm, 1,8 cm, dan 2.4 cm. Motor DC ini berfungsi sebagai penggerak. Karena piringan bergerak memutar maka pada poros motor tersebut perlu ditambahkan piringan lagi dengan diameter 5 cm dan batang dengan panjang 15 cm. putaran tersebut nanti dapat berubah menjadi gerakan horisontal, yang nantinya akan mendorong kotak.

### 3.1.2 Kotak Pendulum



Gambar 3.3 Kotak Pendulum

Kotak ini berukuran 12 x 4.5 cm, berfungsi sebagai pendulum 1. Bagian atasnya diberikan besi dengan bentuk setengah lingkaran fungsinya yaitu agar dapat terdorong oleh gerakan batang yang digerakan oleh motor DC. Ukuran dari besi yang berbentuk setengah lingkaran ini memiliki diameter 4.5 cm. Pada kotak ini juga terdapat 2 potensio untuk menggerakkan pendulum 1 dan pendulum 2. Kotak ini akan berosilasi setelah ada dorongan dari motor dc. Selain itu terdapat batang kuningan sebagai As dari kotak ini, memiliki panjang 15 cm, dan juga *bearing* ukuran diameter dalam 10 mm dan diameter luar 20 mm.



Gambar 3.4. Bearing

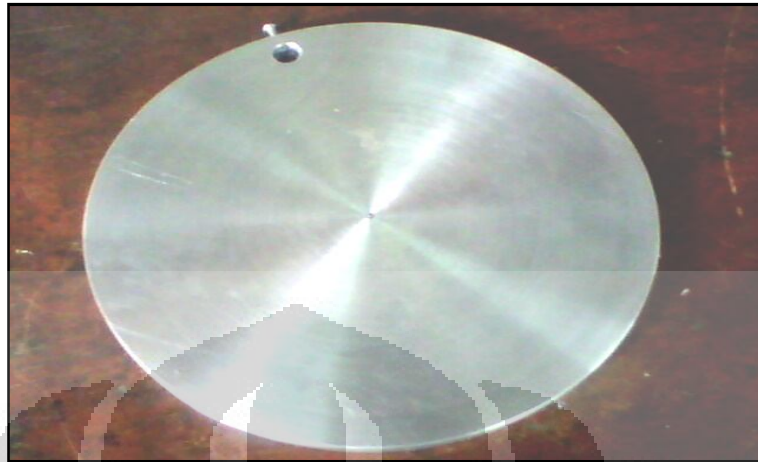
### 3.1.3 Potensiometer



Gambar 3.5 (a) potensio 1 putaran dan (b) potensio 10 putaran

Potensiometer yang digunakan ada 2 yaitu potensiometer biasa 1 putaran dengan besar hambatan 5 K dan potensiometer *frictionless* 10 putaran dengan besar yang sama yaitu 5 K . Putaran potensio ini akan dibaca oleh mikrokontroler sebagai data ADC (*Analog to Digital Converter*). Dari data ADC tersebut akan dikonversikan menjadi derajat. Jadi nanti yang akan ditampilkan ke labview perubahan derajat terhadap waktu.

### 3.1.4 Piringan



**Gambar 3.6.** Piringan alumunium

Piringan ini terbuat dari bahan alumunium dengan ukuran diameter 20 cm, tebal 10 mm dan berat 0.8 kilogram. Pemilihan piringan ini disesuaikan dengan kondisi potensio yang berhubungan dengan gesekan. Semakin berat alumunium yang digunakan maka akan mengurangi gesekan yang terjadi di potensio. Gesekan akan menjadi lebih kecil. Apabila gesekannya besar maka osilasi kemungkinan tidak terjadi dengan sempurna. Titik poros dari piringan ini letaknya 1 cm dari pinggir piringan.

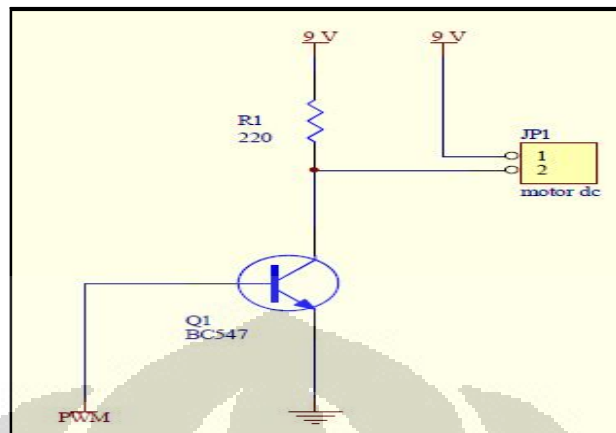
## 3.2 Perancangan Perangkat Elektronik

Pada perancangan Elektronk. Terdapat 3 rangkaian elektronik yang akan digunakan penulis yaitu *driver* motor, sistem minimum mikrokontroler, dan *power supply*. Untuk perangkat lunak seperti program Bascom (*basic compiler*) dan LabVIEW akan ditampilkan di bagian lampiran.

### 3.2.1 Rangkaian Driver Motor

Rangkaian ini menggunakan pcb bolong. Dari rangkaian inilah motor dc bisa bergerak dan bisa dikendalikan kecepatannya sesuai dengan perintah dari mikrokontroler. Pada rangkaian ini penulis hanya menggunakan rangkaian

transistor karena fungsinya hanya untuk menggerakkan motor dc tegangan rendah saja. Transistor yang digunakan adalah BC547.



Gambar 3.7. Skematik Driver Motor



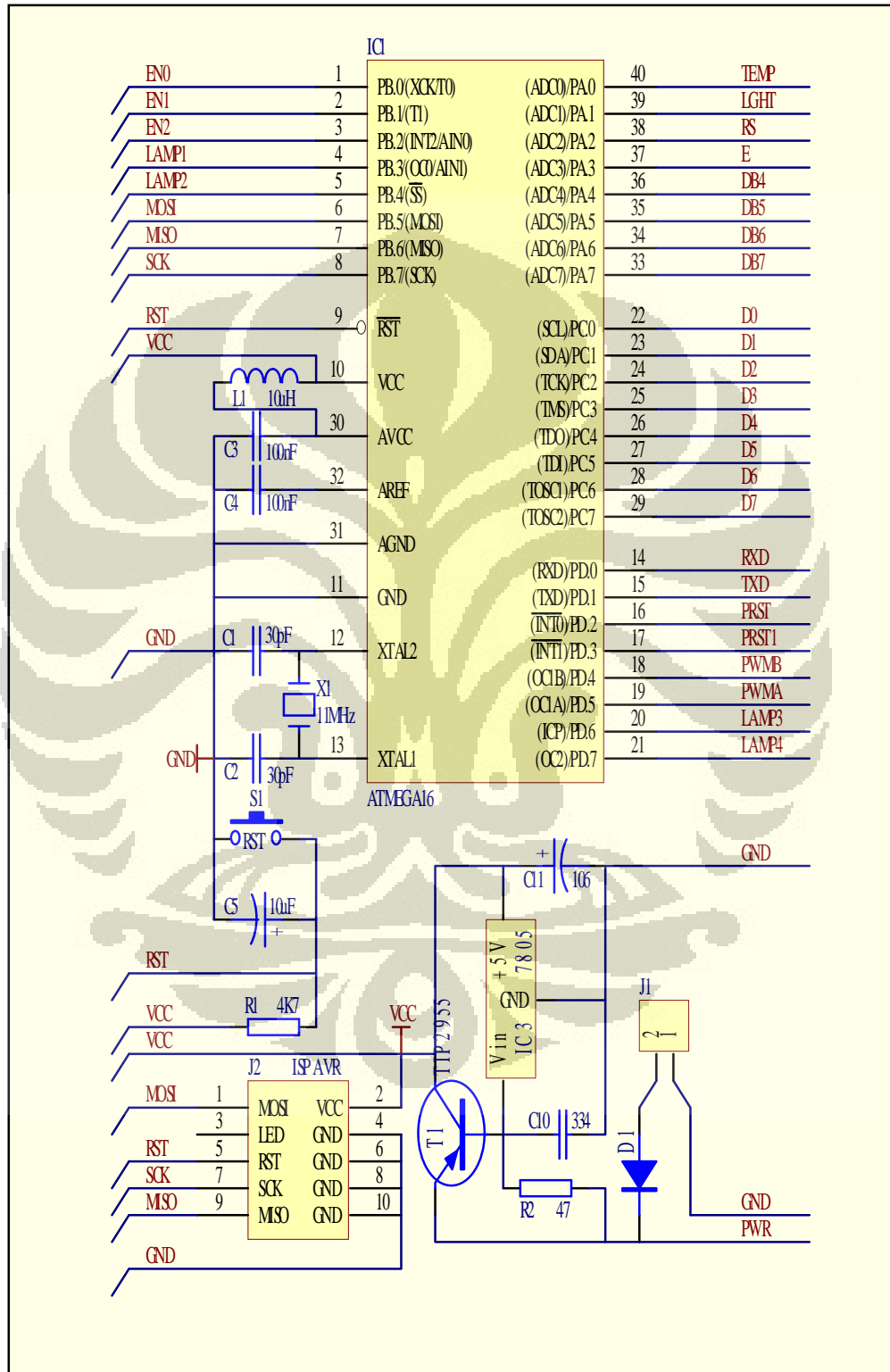
Gambar 3.8. Bentuk Fisik Rangkaian Driver Motor

### 3.2.2 Rangkaian Sistem Minimum Mikrokontroler

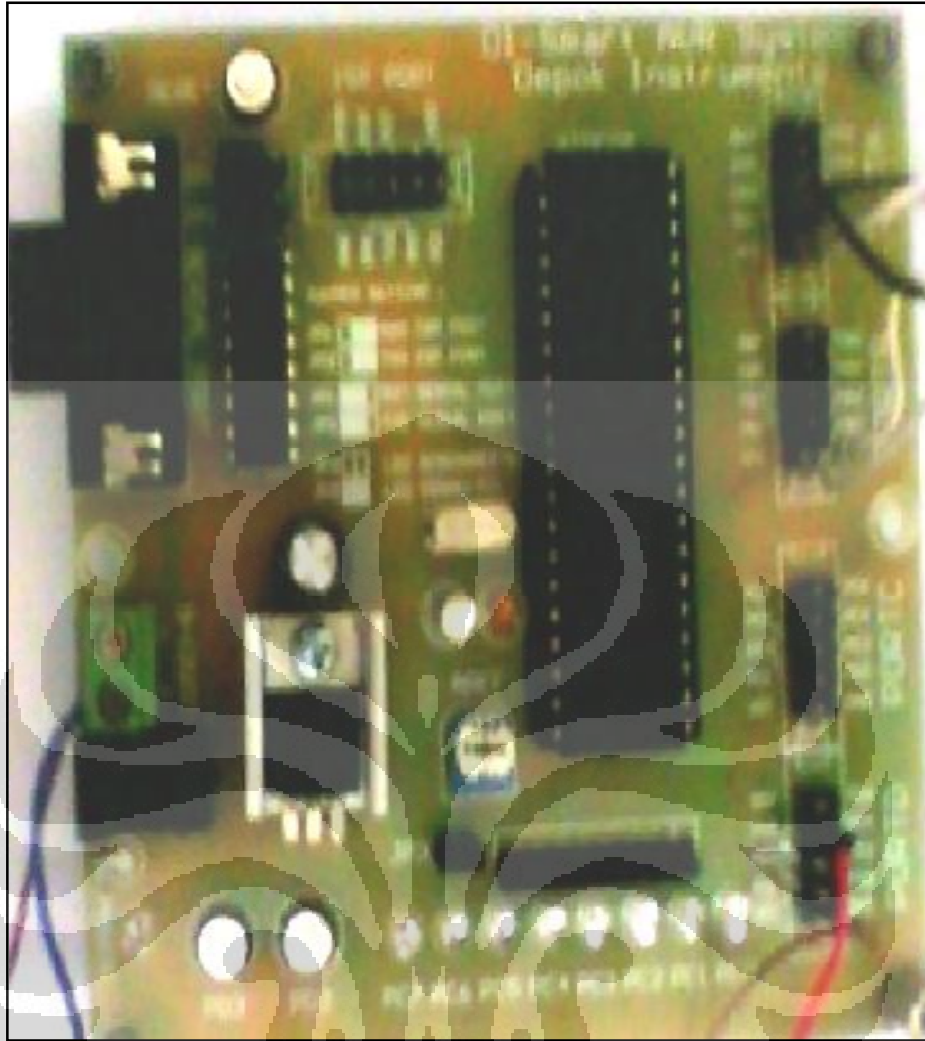
Rangkaian ini berfungsi sebagai pusat dari keseluruhan kerja sistem, rangkaian mikrokontroler inilah yang mengatur gerak motor dc, membaca data analog potensiometer menjadi data digital atau ADC, membaca arus yang terdeteksi oleh sensor arus, dan lain-lain . Pada rangkaian ini, didalamnya sudah terdapat ADC, komunikasi serial, regulator 5V jadi tidak memerlukan rangkaian eksternal lagi hanya *driver* motor saja yang tidak ada, jadi membutuhkan rangkaian *driver* dari eksternal. Mikrokontroler yang digunakan yaitu ATmega16. Untuk komunikasi serial menggunakan RS232. Pada gambar terdapat keterangan tentang kegunaan port-port. Namun pada alat yang digunakan fungsi



port tersebut berubah, contohnya seperti pada weight,pump dan heater. Fungsi port tersebut dirubah sesuai dengan program yang digunakan. Program yang digunakan bisa dilihat pada halaman bab 4 dan halaman lampiran.

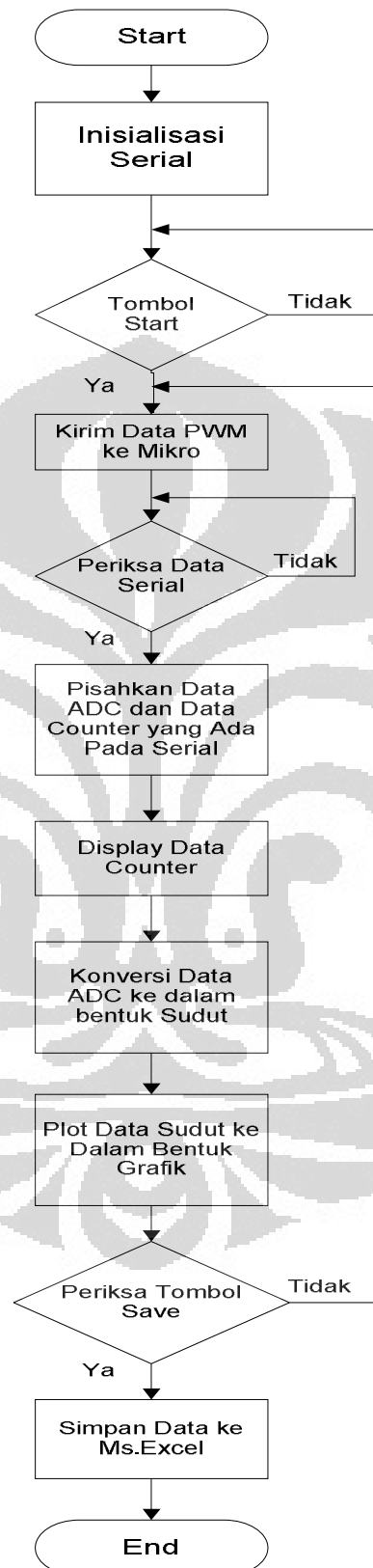


Gambar 3.9 Skematik Sistem Minimum Mikrokontroler



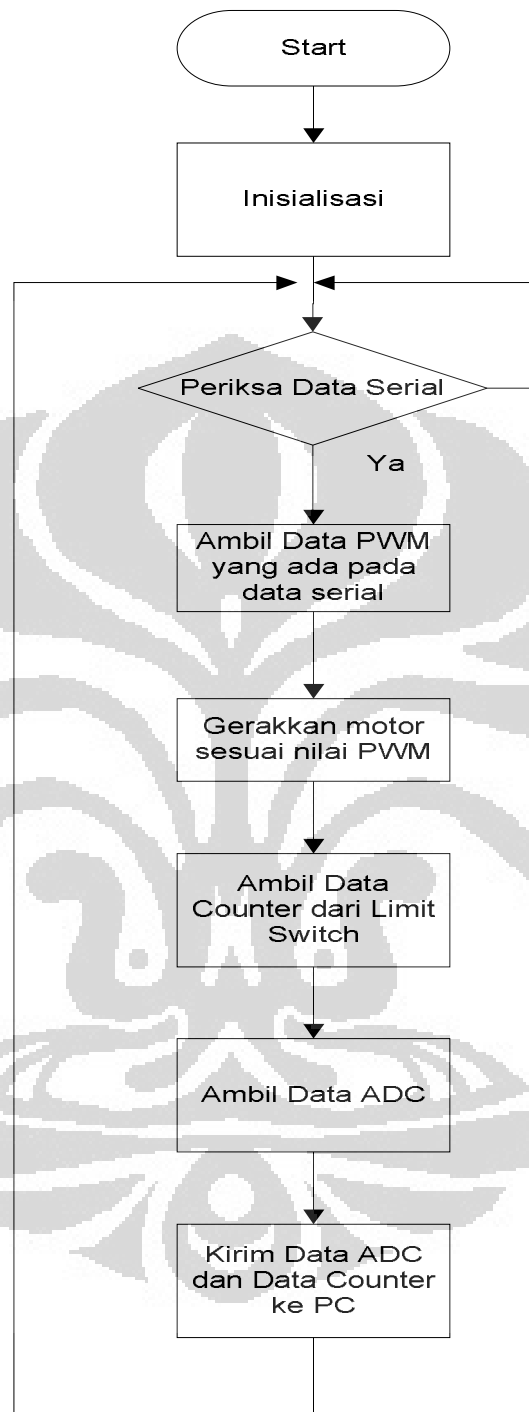
**Gambar 3.10** bentuk Fisik dari Sistem Minimum Mikrokontroler

### 3.3 Flow Chart LabVIEW



Gambar 3.11 Flow Chart Labview

### 3.4 Flow Chart Program Mikrokontroler



**Gambar 3.12** Flow Chart Bascom AVR

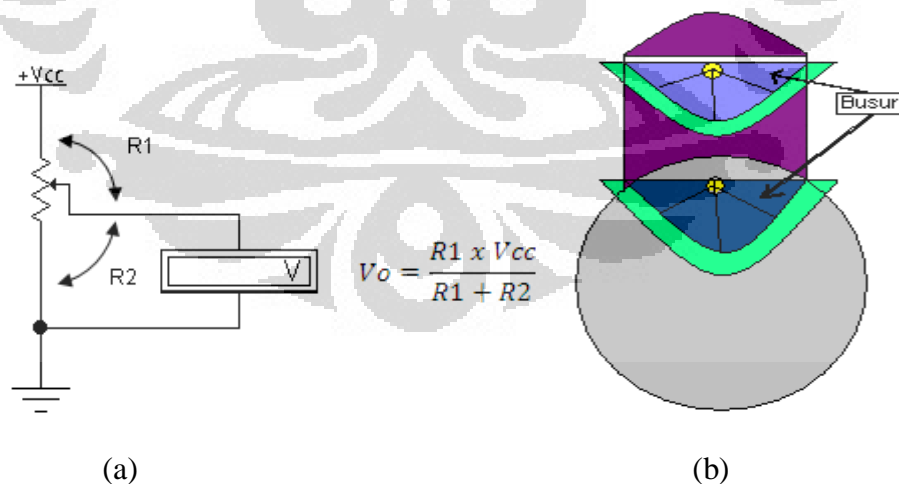
## BAB 4

### HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengerjaan keseluruhan sistem, dilakukan pengambilan data dan pembahasan terhadap data yang diperoleh. Data-data ini nantinya akan diolah menjadi suatu persamaan sehingga LabVIEW dapat mengkonversikannya menjadi suatu variabel yang diperlukan dalam penelitian ini. Untuk lebih jelasnya mengenai data-data apa saja yang diambil, berikut akan dijelaskan satu persatu.

#### 4.1 Pengambilan data ADC Potensio

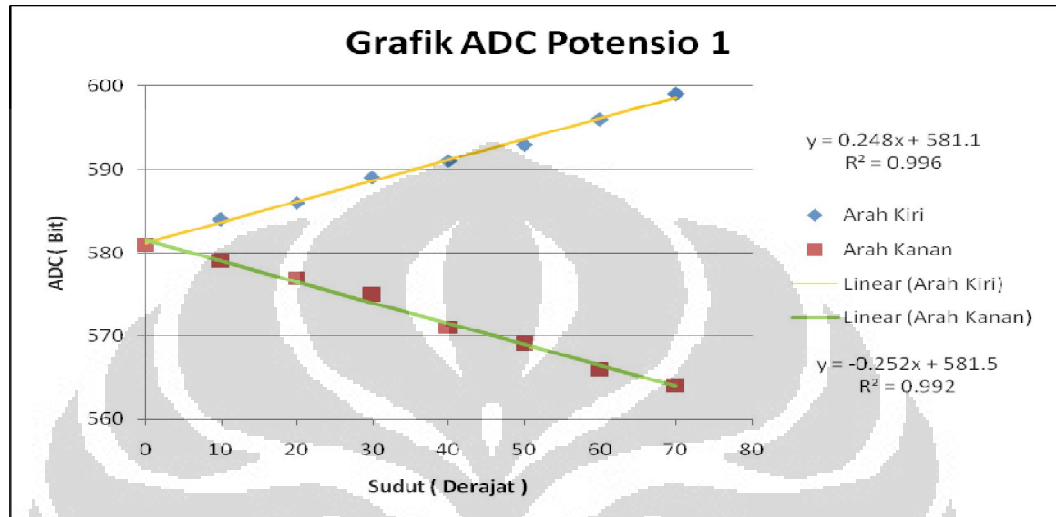
Pengambilan data dilakukan dengan cara mencatat nilai ADC yang terdapat di LabVIEW, kemudian membuat grafik di Microsoft Excel. Seperti yang kita ketahui, ADC adalah singkatan dari *Analog to Digital Conversion*. Artinya, penulis akan mengubah sinyal analog yang terdapat di potensio menjadi sinyal digital sehingga dapat dibaca oleh komputer. Tujuannya yaitu untuk mengkonversikan nilai bit ADC yang diperoleh menjadi variabel yang diperlukan, dalam hal ini diubah menjadi satuan derajat. Metode pengukuran yang digunakan seperti pada gambar dibawah ini :



**Gambar 4.1** Pengukuran ADC dan penempatan busur untuk kalibrasi

Pada gambar (a) Nilai Vo adalah nilai yang nanti dimasukkan ke dalam mikrokontroler sebagai ADC. Nilai R1 dan R2 dapat dilihat pada multimeter.

Sedangkan nilai  $V_{cc}$  yaitu sebesar 5.05 V karena dari tegangan output dari port  $V_{cc}$  pada mikrokontroler. Dari grafik yang telah dibuat, nanti dapat kita ketahui rumus dari persamaan garis. Rumus itulah yang akan digunakan pada labview untuk merubahnya menjadi satuan derajat. Berikut adalah grafik ADC yang telah diambil :

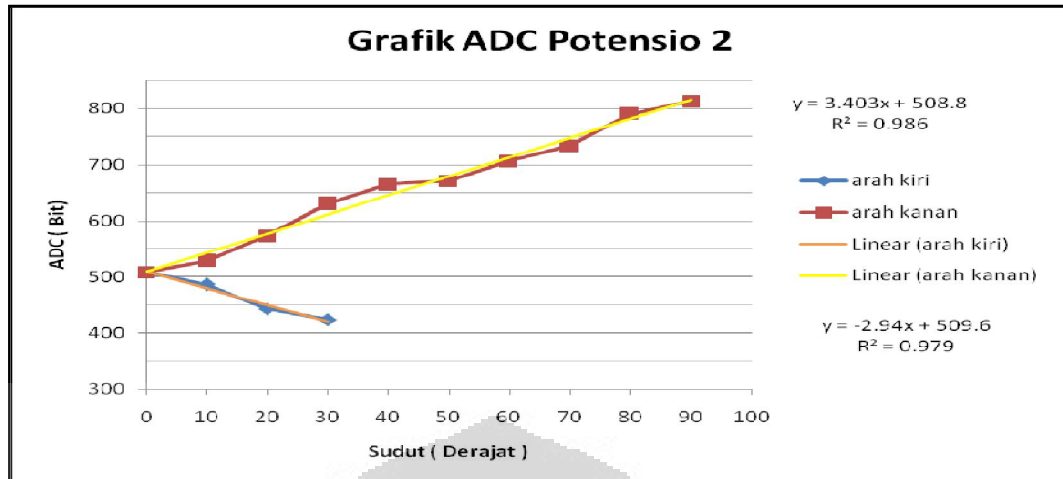


Gambar 4.2 Grafik ADC Potensio 1

Potensio 1 disini yaitu potencio 10 putaran yang memiliki nilai resistansi 5 K, letaknya terdapat di bagian bawah kotak pendulum. Pengambilan data dilakukan secara manual dengan cara memutar potencio kearah kiri dan kanan. Untuk kalibrasi sudut digunakan busur. Penempatan busur dapat dilihat pada gambar 4.1. Pengukuran tegangan dari potencio menggunakan multimeter dan perumusan adc untuk melihat rentang tegangannya. Dari rumus yang didapatkan pada gambar 4.2, kemudian diubah menjadi variabel x karena yang diinginkan adalah dalam bentuk derajat, maka rumusnya berubah menjadi :

$$x = \frac{y - 581.1}{0.248} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dengan x adalah derajat dan y adalah bit ADC. Apabila nilai y dimasukan ke dalam persamaan maka akan didapatkan nilai derajat. Pada sistem mekanik dapat dilihat apakah sesuai atau tidak derajat yang ditampilkan dengan derajat yang tertera pada busur.



Gambar 4.3 Grafik ADC Potensio 2

Untuk potensio 2, prosedur yang digunakan dalam pengambilan sama seperti pada potensio 1. Potensio 2 adalah potensio 50 K, potensio ini hanya bisa diputar 1 putaran. Tegangan maksimum yang diperoleh dari kedua potensio tersebut sama yaitu 5.05 V karena mengikuti dari tegangan supply dari mikrokontroler. rumusnya juga berubah menjadi :

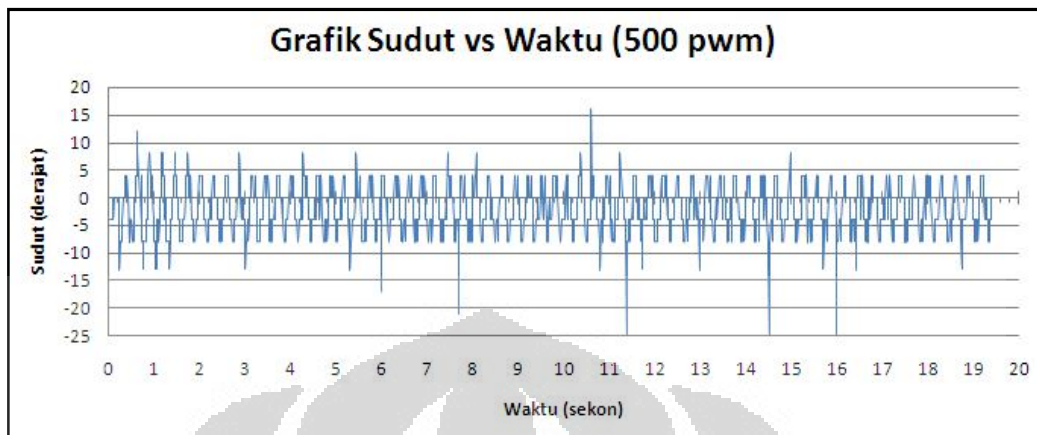
$$x = \frac{y - 508.8}{3.403} \dots\dots\dots(4.2)$$

#### 4.2 Pengambilan data osilasi dengan menggunakan motor

Pengambilan data ini bertujuan untuk melihat grafik dari osilasi yang dipaksakan. Grafik osilasi ini tanpa adanya redaman. Hanya diberikan gaya luar saja yang berupa dorongan dari putaran motor DC. Akibat gaya tersebut pendulum menjadi bergerak. Metode yang penulis gunakan dalam pengambilan data ini yaitu dengan cara memberikan nilai pwm sebesar 500 dan 1023 di GUI (*Graphical User Interface*) Labview. Kemudian nanti akan dibandingkan redamannya dengan osilasi teredam yang menggunakan magnet sebagai bahan yang meredamnya.

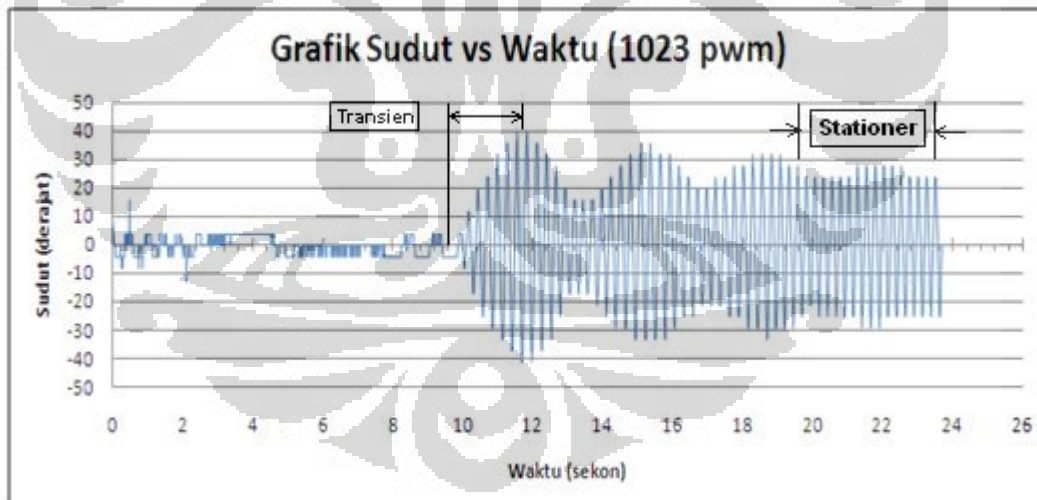
Efek yang terjadi akibat perubahan pwm ini yaitu gerakan osilasi pendulum piringan menjadi semakin cepat dan sudut yang dihasilkan dari osilasi tersebut juga semakin besar. Namun perubahan sudut tersebut tidak merubah

frekuensi dari piringan tersebut. Dari grafik ini, dapat dilihat kapan pendulum mengalami kondisi transien dan kapan terjadi stasioner.



**Gambar 4.4** Grafik pendulum 1 saat pwm 500 dan 12 volt

Pada 500 pwm, sudah terjadi osilasi pada pendulum 1 namun masih mengalami fluktuasi dan banyak *noise*. *Noise* yang muncul disebabkan dari komponen elektronik yang digunakan. Selain itu belum terlihat proses transien dari pergerakan pendulum.



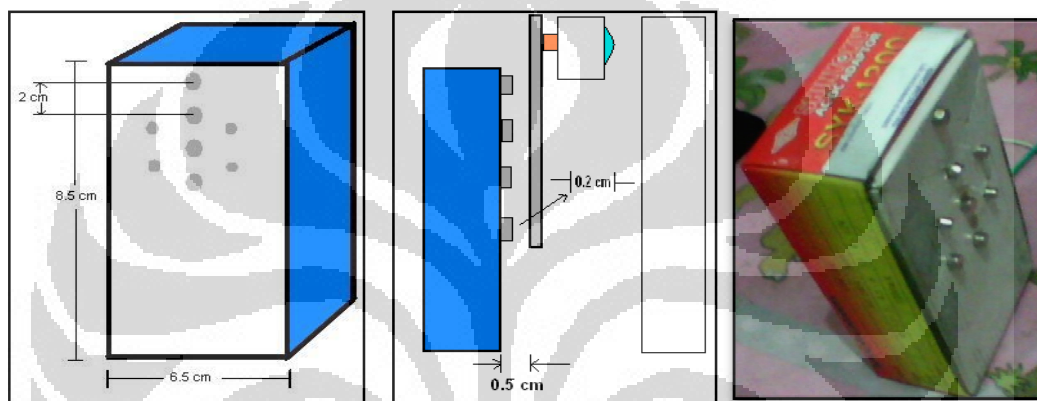
**Gambar 4.5** Grafik pendulum 1 saat pwm 1023 dan 12 volt

Pada 1023 pwm, sudah terjadi osilasi pada pendulum 1 walaupun masih banyak *noise* di awal, namun pada detik ke-10 pendulum sudah mulai berosilasi cepat dan menghasilkan amplitudo yang besar, sebesar 40 derajat. Proses transien terjadi dari detik ke-10. Kemudian terjadi proses stationer mulai dari detik ke-20.

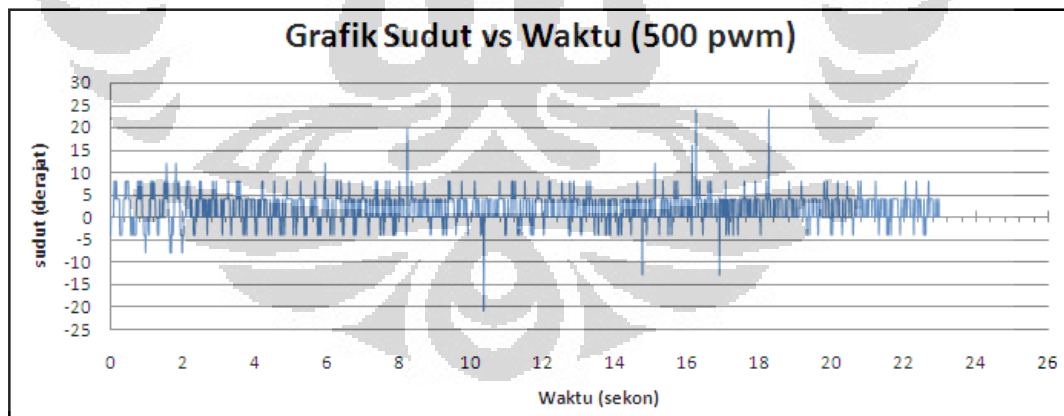


### 4.3 Pengambilan data osilasi pendulum terhadap redaman magnet

Pada pengambilan data ini bertujuan untuk melihat seberapa besar redaman magnet pada osilasi yang terjadi di sistem. Magnet yang digunakan dalam percobaan yaitu magnet jenis neodymium, yang merupakan salah satu magnet terkuat. Memiliki ukuran diameter 0.7 cm dan tebal 0.3 cm. Untuk penempatan, posisi magnet diletakkan di depan pendulum (lihat gambar). Letak magnet dibuat sedekat mungkin dengan piringan, agar terlihat pengaruh dari magnet yang diberikan.

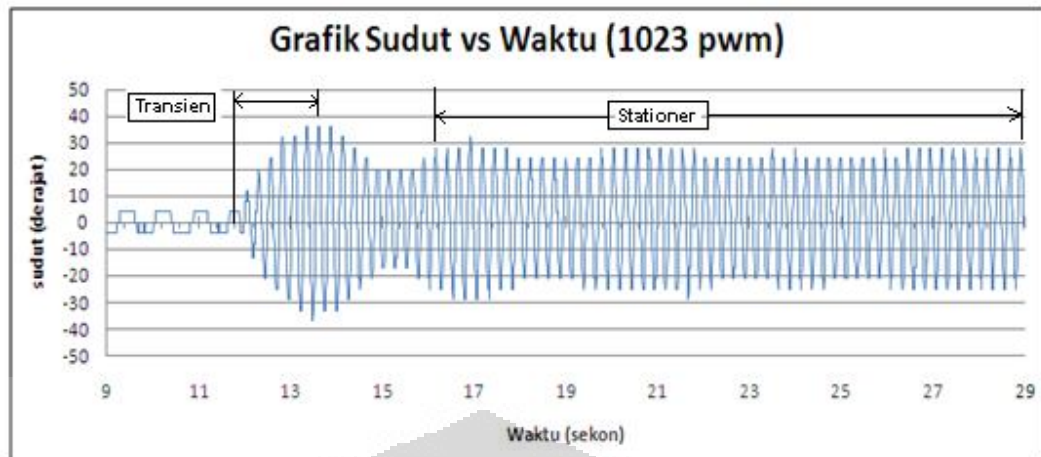


Gambar 4.6 Penempatan posisi magnet



Gambar 4.7 Grafik pendulum 1 pada 500 pwm dan 12 volt

Pada gambar 4.7 sama seperti gambar 4.4, sudah terjadi osilasi pada pendulum 1 namun masih mengalami fluktuasi dan banyak *noise*. *Noise* yang muncul disebabkan dari komponen elektronik yang digunakan. Selain itu juga belum terlihat proses transien dari pergerakan pendulum. ‘



**Gambar 4.8** Grafik pendulum 1 pada 1023 pwm dan 12 volt

Pada 1023 pwm, sudah terjadi osilasi pada pendulum 1 walaupun masih banyak *noise* di awal, namun pada detik ke-12 pendulum sudah mulai berosilasi cepat dan menghasilkan amplitudo yang besar, di titik itulah mulai terjadi proses transien sampai detik ke-14. Proses stationer dimulai dari detik ke-16. Pada detik tersebut pendulum mulai mengalami redaman dari magnet yang diberikan. Setelah redaman itu, pendulum sudah bergerak stabil dengan amplitudo yang tetap dan frekuensi yang tetap.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada Bab ini kesimpulan yang diperoleh penulis setelah melakukan penelitian tugas akhir serta saran-saran untuk perbaikan sistem dan hasil yang lebih baik lagi di masa yang akan datang.

#### **5.1 Kesimpulan**

Dalam proses perancangan sistem serta pengujian terhadap sistem tersebut, penulis dapat mengambil suatu kesimpulan bahwa :

- Rumus untuk perubahan data adc potensio 1 menjadi derajat adalah :  
 $y = 0.248x + 581.1$
- Rumus untuk perubahan data adc potensio 2 menjadi derajat adalah :  
 $y = 0.3403x + 508.8$
- Pada percobaan tanpa menggunakan redaman magnet, proses transien terjadi mulai dari detik ke-10, kemudian terjadi proses stationernya mulai dari detik ke-20.
- Pada percobaan dengan menggunakan redaman magnet, proses transien sudah mulai terjadi pada detik ke-12 hingga detik ke-14, sedangkan proses stationer terjadi pada detik ke-16. Pada detik tersebut pendulum mulai mengalami redaman dari magnet yang diberikan

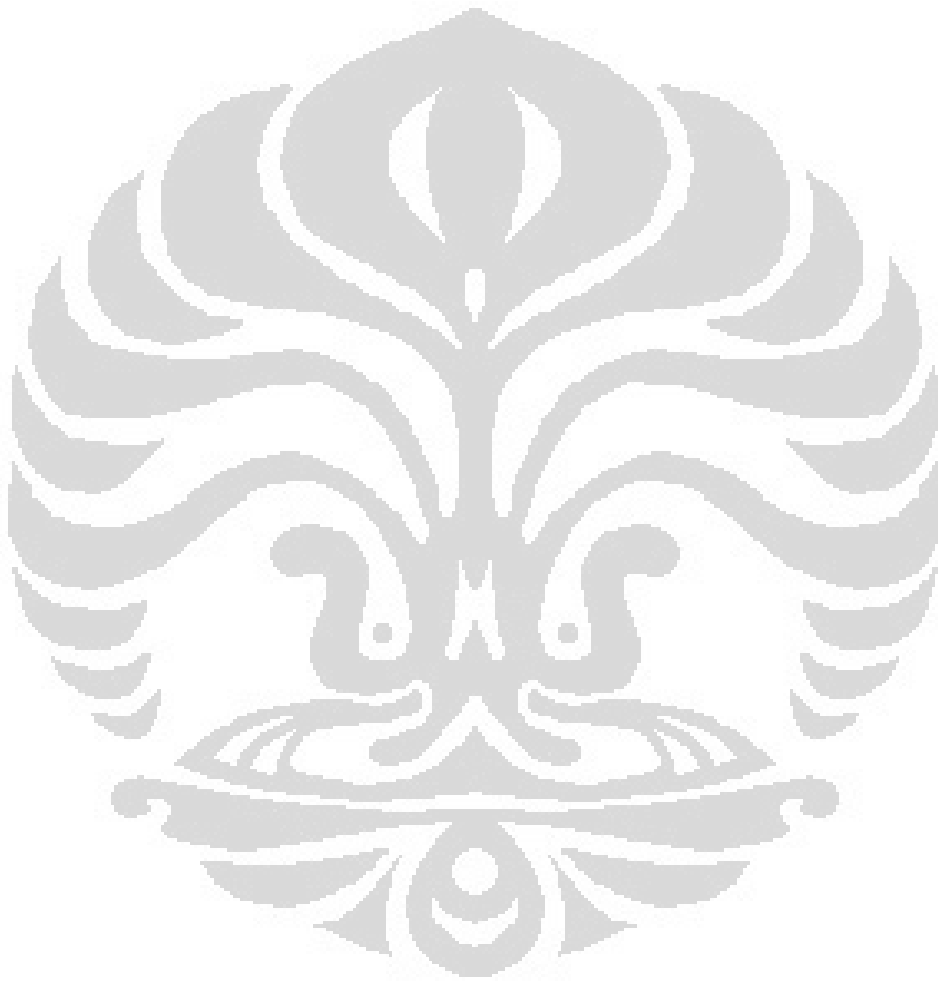
#### **5.2 Saran**

Penelitian dari skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu diperlukan yang namanya proses penyempurnaan dan penyempurnaan. Salah satu caranya yaitu dengan cara membuat mekanik, perangkat lunak dan perangkat elektronik yang telah penulis buat sebelumnya menjadi suatu media atau alat yang siap pakai atau yang mudah untuk dioperasikan untuk pengguna yang ingin menggunakan mekanik ini. Karena terlihat masih tidak terlalu rapih dalam hal penataan perangkat elektronik. Untuk pengambilan data, mungkin bisa ditambahkan media lain atau sensor tambahan untuk menunjang proses pengukuran menjadi detail lagi.

## DAFTAR ACUAN

Yaarkhof Kraftmakher, 2005 . Pendulum breaking decay of the pendulum

Drs. Fatkhulloh, M.Si , 2010, handout gelombang modul 2, Pendidikan Fisika  
FPMIPA UAD Yogyakarta



## DAFTAR REFERENSI

<http://www.atmel.com>

Wardana, Lingga. Belajar sendiri Mikrokontroler AVR seri ATmega8535 Simulasi, Hardware dan Aplikasi

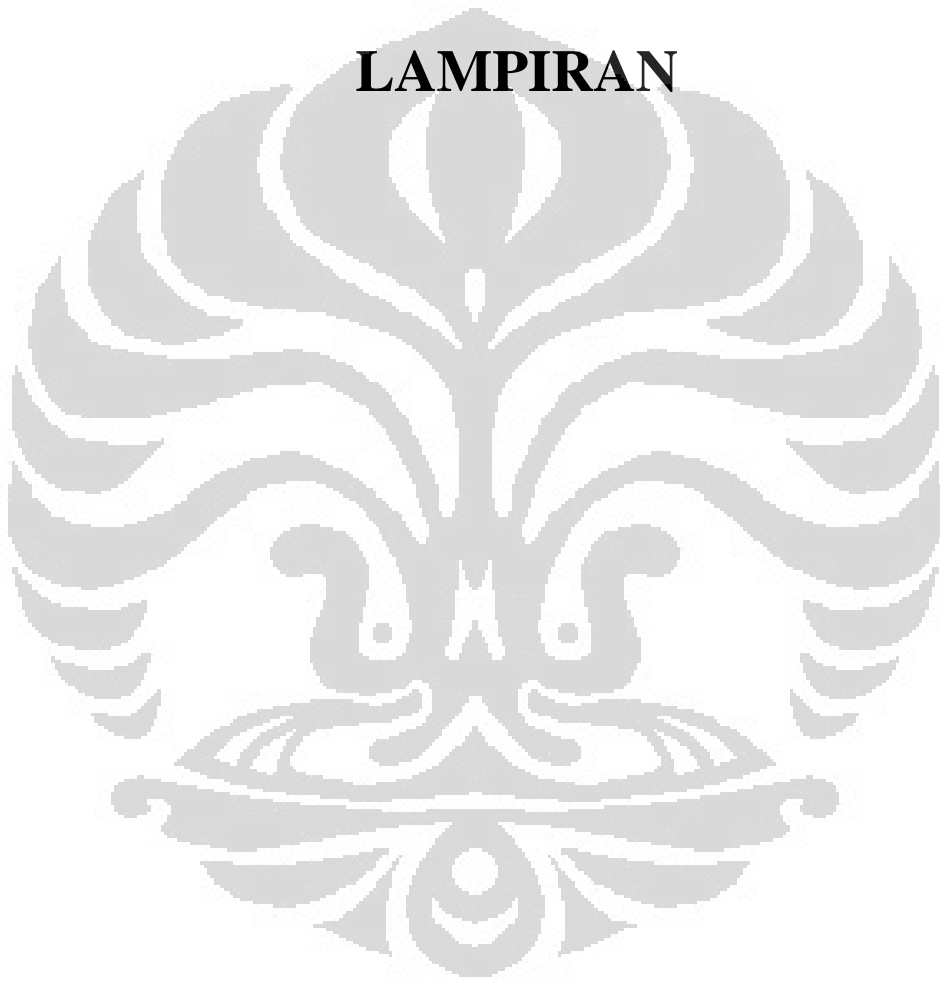
Saripudin, Aip. Praktis Belajar Fisika. Penerbit PT Grafindo Media Pratama

<http://staff.ui.ac.id/internal/040603019/material/DCMotorPaperandQA.pdf>

Halliday, David dan Robert Resnick, 1991, *Fisika Jilid I (Terjemahan Pantur Silaban dan Erwin Sucipto)* Edisi ketiga, Jakarta : Penerbit Erlangga

Nugroho, Seno Aje., Perancangan dan Implementasi DC to DC Converter Sebagai Driver Motor DC Kapasitas 200 Volt 9 Ampere dengan Metode Pulse Width Modulation, Bandung : Library IT Telkom

# LAMPIRAN



## ===Program mikro=====

\$regfile = "M16DEF.DAT"

\$crystal = 11059200

\$baud = 9600

\$hwstack = 64

\$swstack = 64

\$framesize = 64

Dim Ulang As Bit

Dim Kirim\_data As Bit

Dim Data\_seri As Byte

Dim Data\_adc1 As Word

Dim Data\_adc2 As Word

Dim Nilai\_pwm As Word

Dim Nilai\_chr As String \* 4

Dim Count As Word

Dim Data\_count As Word

On Urxc Start\_oscilator

Config Adc = Single , Prescaler = Auto , Reference = Avcc

Config Timer1 = Pwm , Pwm = 10 ,

Compare A Pwm = Clear Down ,

Compare B Pwm = Clear Down , Prescale = 8

Config Int0 = Rising

On Int0 Frekuensi

Enable Int0

Enable Interrupts

Enable Urxc

Dim Start\_frame As Byte

Dim Flag\_get As Bit

Dim Flag\_int0 As Bit

Dim Last\_flagint0 As Bit

Dim Count\_sampling0 As Word

Dim Count\_sampling1 As Word

Dim Startpwm As Bit

Count\_sampling0 = 0

Count\_sampling1 = 0

Flag\_int0 = 0

Data\_adc1 = 0

Data\_adc2 = 0

Kirim\_data = 0

Count = 0

Start Adc

Do

If Flag\_get = 1 Then

Flag\_get = 0

If Start\_frame = 1 Then

If Nilai\_chr = "S" Then

Print "S"

Count = 0

End If

Elseif Start\_frame = 2 Then

Nilai\_pwm = Val(nilai\_chr)

If Nilai\_pwm = 0 Then

Stop Timer1

Startpwm = 1

Else

If Startpwm = 1 Then

Start Timer1

Startpwm = 0

End If

End If

Pwm1a = Nilai\_pwm

Pwm1b = Nilai\_pwm

Data\_count = Count

Data\_adc1 = Getadc(1)

Data\_adc2 = Getadc(3)

Print Data\_adc1 ; ":" ; Data\_adc2 ; "\*" ;

```

Data_count ; "#"
  End If
End If
If Flag_int0 = 1 Then
  If Last_flagint0 = 0 Then
    Disable Int0
    Count = Count + 1
    Last_flagint0 = 1
  ' Bitwait Pind.2 , Set
  ' Set Pind.2
  ' Waitms 500
  End If
End If
If Pind.2 = 1 Then
  Count_sampling0 = 0
  Count_sampling1 = 0
Else
  If Flag_int0 = 1 Then
    Incr Count_sampling0
    If Count_sampling0 = 100 Then
      Count_sampling0 = 0
      Incr Count_sampling1
      If Count_sampling1 = 100 Then
        Count_sampling1 = 0
        Flag_int0 = 0
        Last_flagint0 = 0
        Enable Int0
      End If
    End If
  End If
  ' Waitms 1
End If
End If
Loop

```

```

Start_oscilator:
Data_seri = Waitkey()
If Data_seri = "*" Then
  Start_frame = 1
  Nilai_chr = ""
Elseif Data_seri = "$" Then
  Start_frame = 2
  Nilai_chr = ""
Elseif Data_seri = "#" Then
  Flag_get = 1
Else
  If Start_frame = 2 Then
    Nilai_chr = Nilai_chr + Chr(data_seri)
  Elseif Start_frame = 1 Then
    Nilai_chr = Chr(data_seri)
  End If
End If
Return

Frekuensi:
Flag_int0 = 1
Last_flagint0 = 0
Count_sampling0 = 0
Count_sampling1 = 0
Return

```



**Tabel Data ADC Potensiometer 1**

## POTENSIO 1

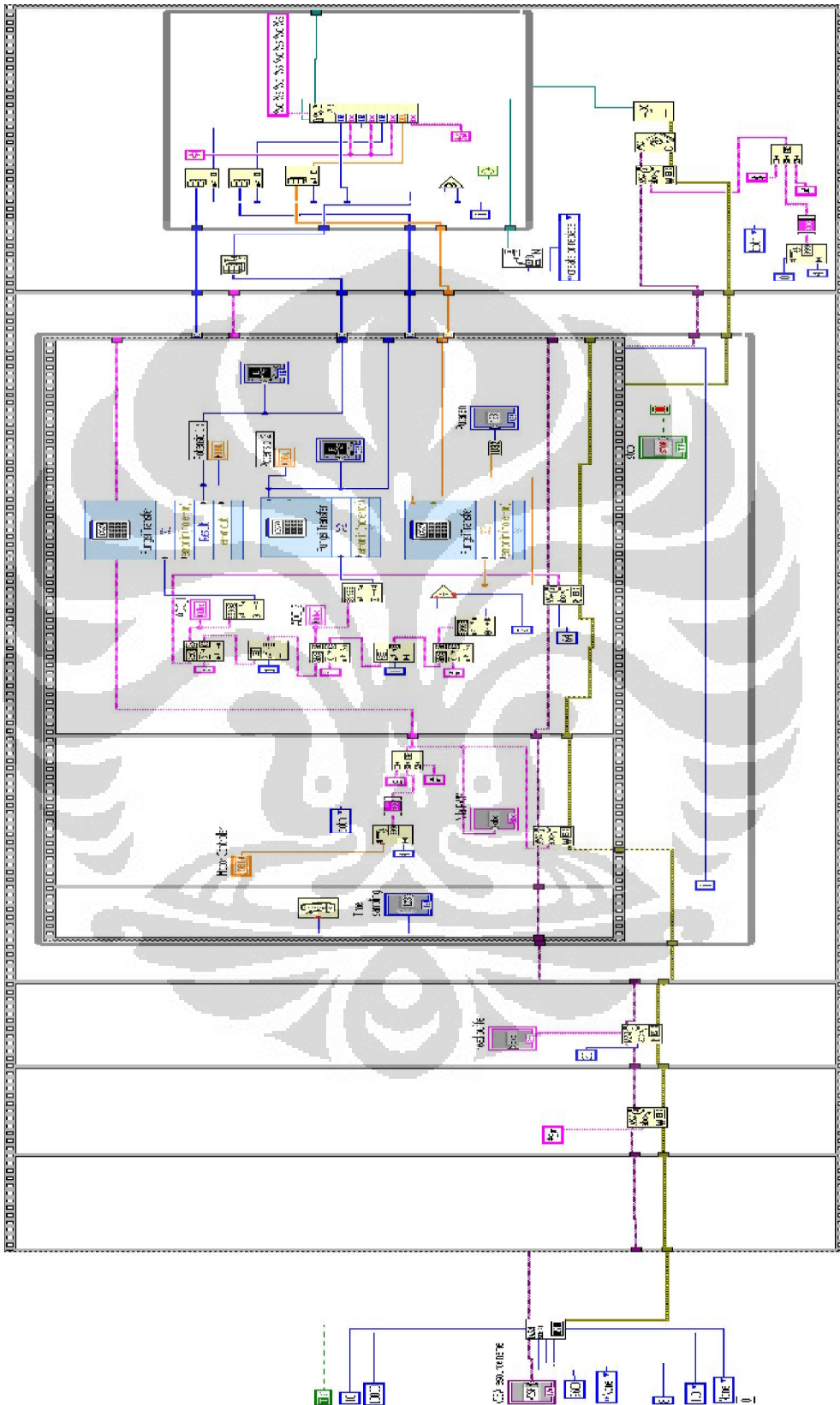
No	Sudut (Derajat)	arah kiri		arah kanan	
		Tegangan (Volt)	ADC (Bit)	Tegangan (Volt)	ADC (Bit)
1	0	2.88	581	2.88	581
2	10	2.9	584	2.86	579
3	20	2.92	586	2.85	577
4	30	2.93	589	2.84	575
5	40	2.95	591	2.82	571
6	50	2.96	593	2.81	569
7	60	2.97	596	2.8	566
8	70	2.98	599	2.79	564
9	80	2.99	602	2.78	562
10	90	3	606	2.76	557

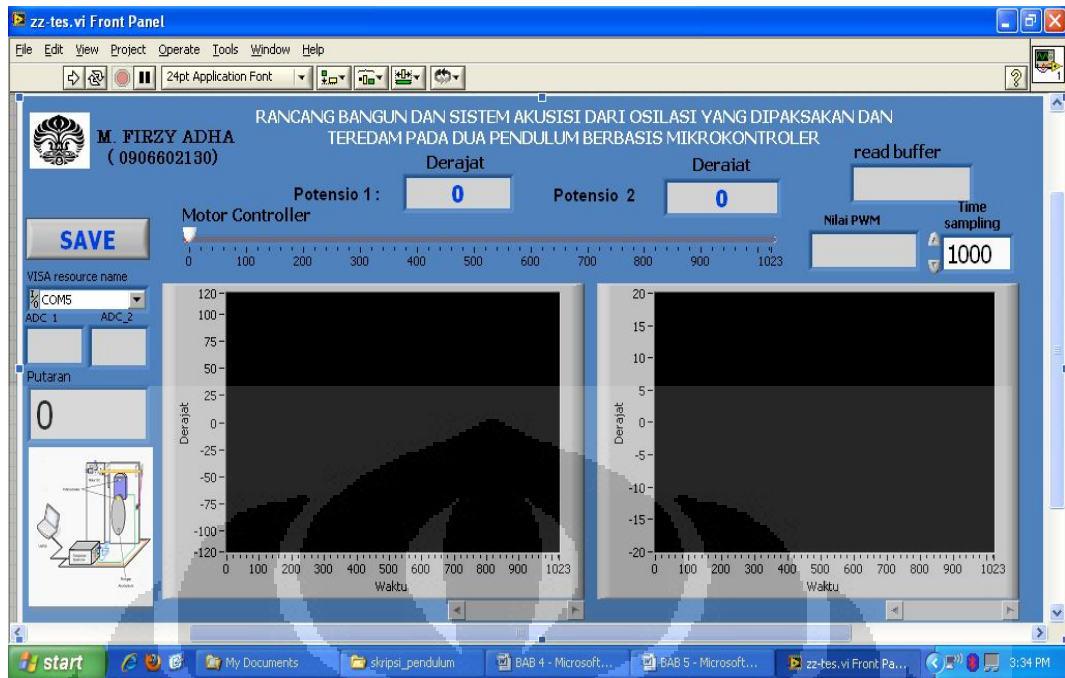
**Tabel Data ADC Potensiometer 2**

## POTENSIO 2

No	Sudut (Derajat)	arah kiri		arah kanan	
		Tegangan (Volt)	ADC (Bit)	Tegangan (Volt)	ADC (Bit)
1	0	3.55	727	3.55	727
2	10	3.36	688	3.81	782
3	20	3.18	652	4.00	820
4	30	2.97	608	4.22	865
5	40	2.81	577	4.42	907
6	50			4.59	940
7	60			4.74	972
8	70			4.80	985
9	80			4.87	998
10	90			4.98	1020

====Blok Diagram====

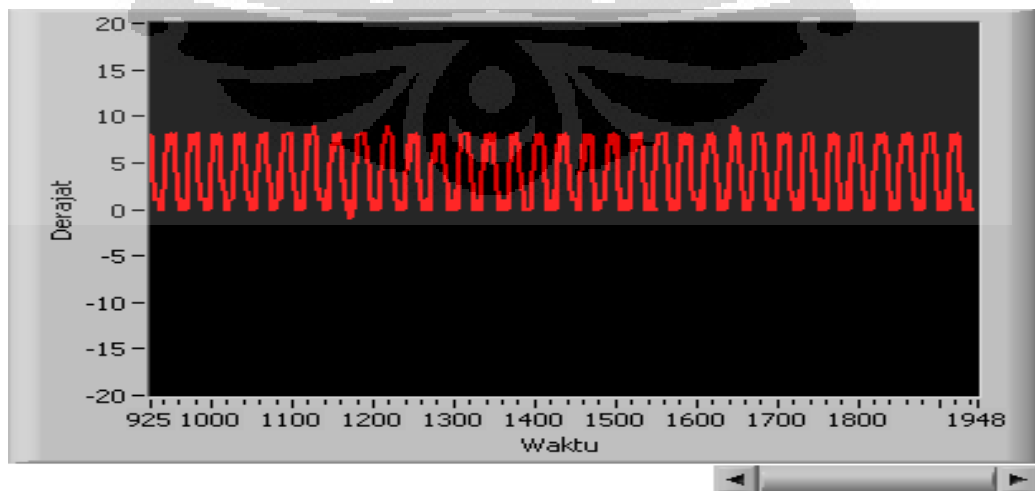
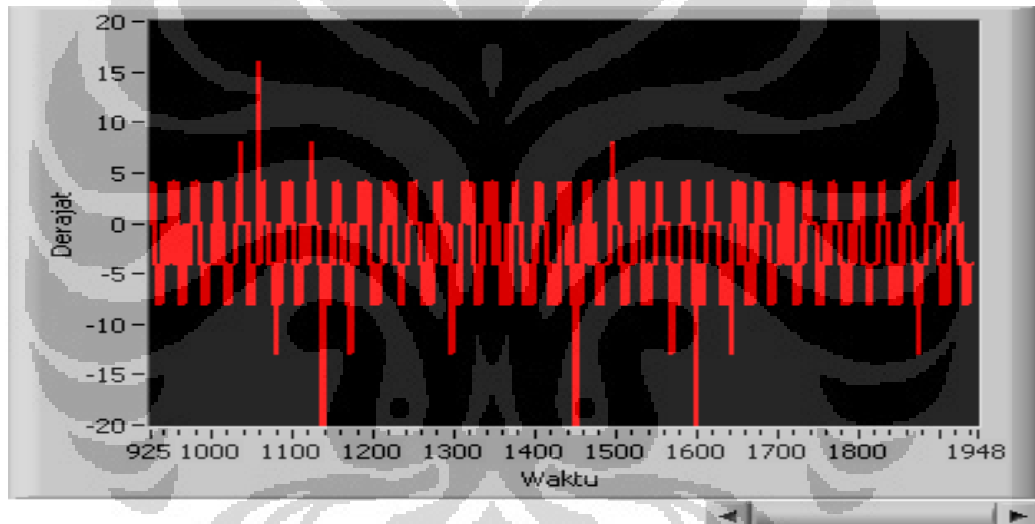
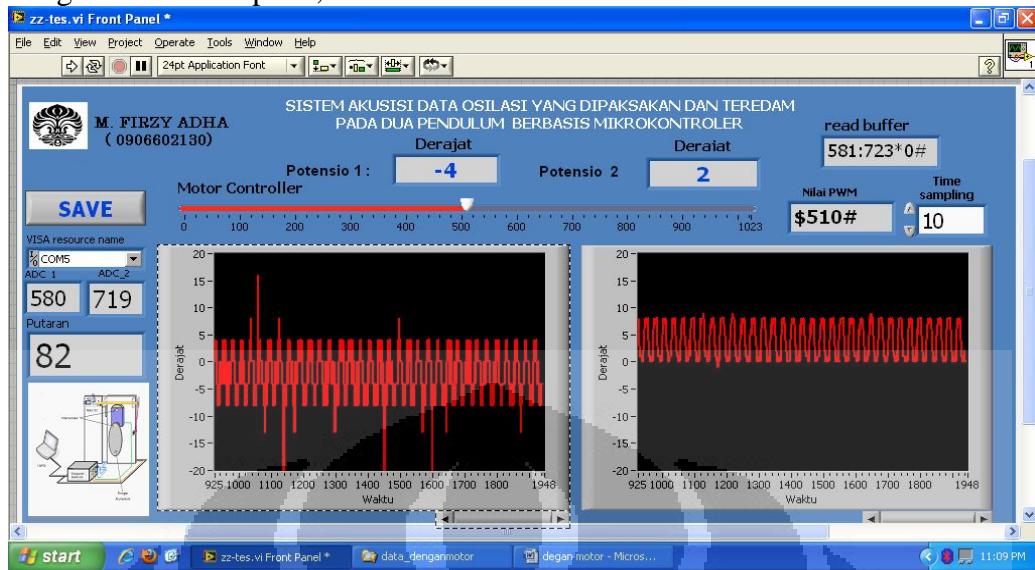




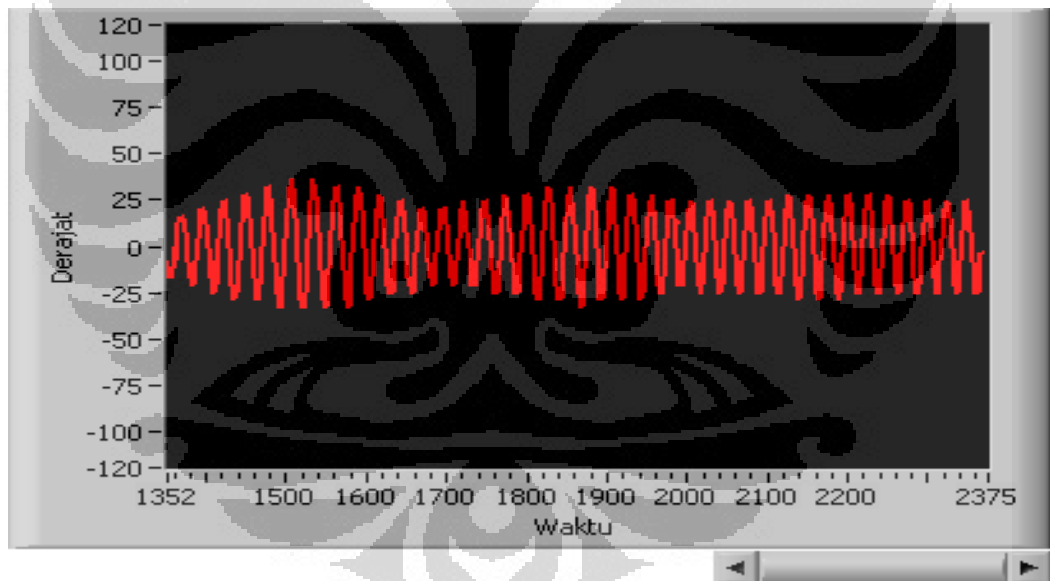
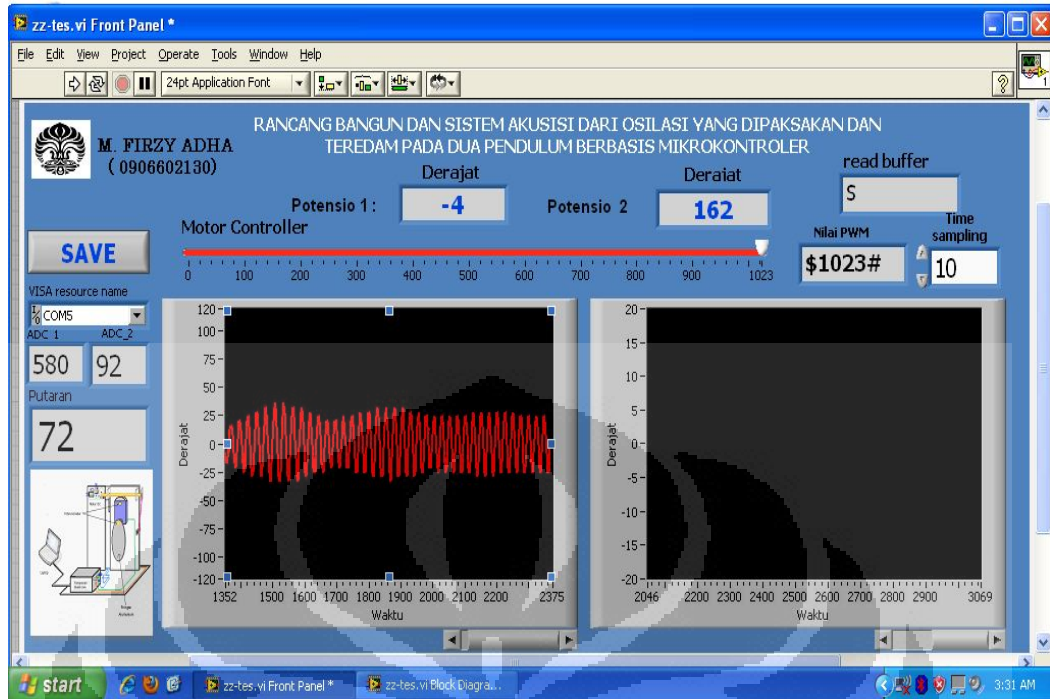
====Bentuk mekanik====



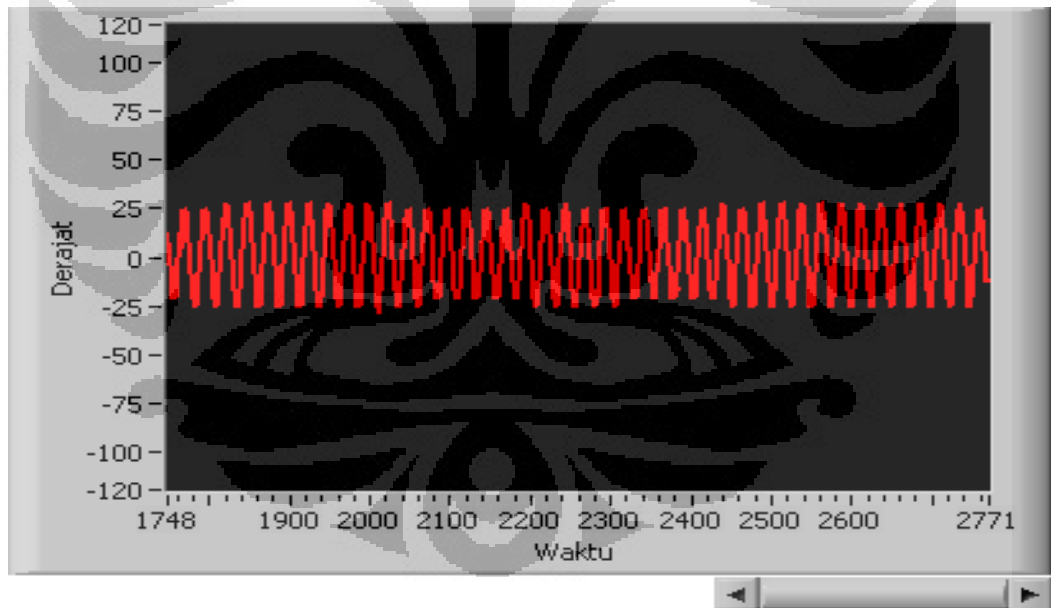
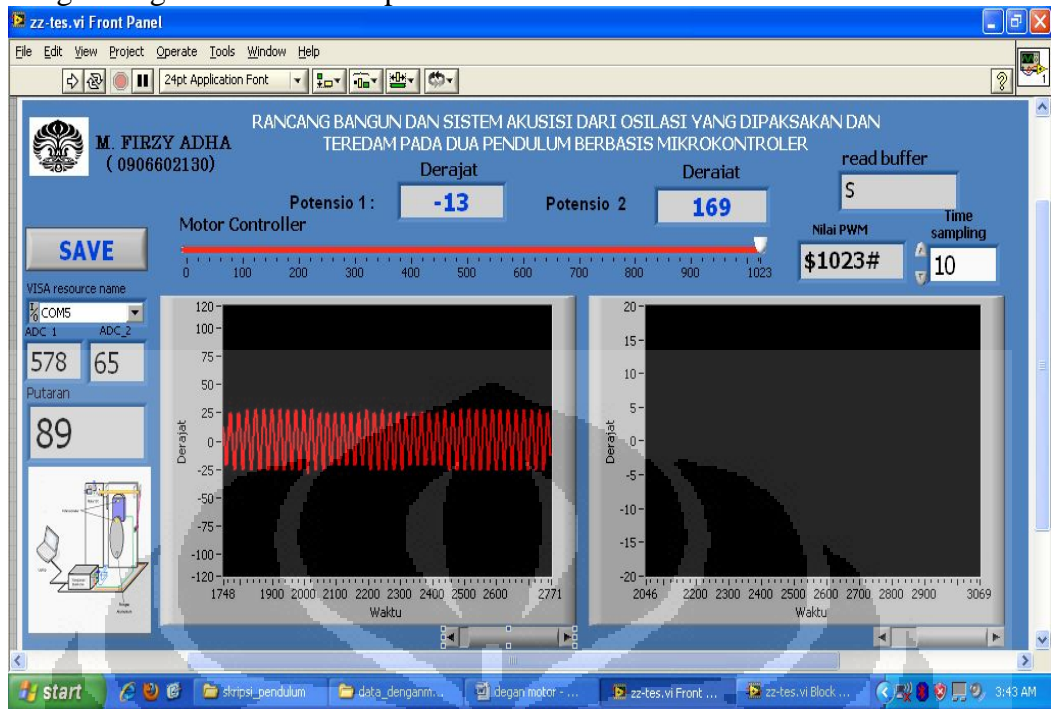
Dengan motor 500 pwm, 12 volt



Dengan motor 1023 pwm, 12 volt



Dengan magnet 12 volt 1023 pwm



Dengan magnet 500 pwm 12 volt

