



UNIVERSITAS INDONESIA

**SISTEM DETEKTOR POLA CINCIN DIFRAKSI UNTUK
MENENTUKAN DIAMETER CELAH SIRKULAR BERBASIS
MIKROKONTROLER**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Strata Satu Fisika**

VANI ARDI ASMORO

0706262874

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

DEPARTEMEN FISIKA

PEMINATAN FISIKA 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 : Vani Ardi Asmoro

NPM : 0706262874

Tanda Tangan :



Tanggal : 21 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika pada Fakultas MIPA Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa tanpa bantuan serta bimbingan dari banyak pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

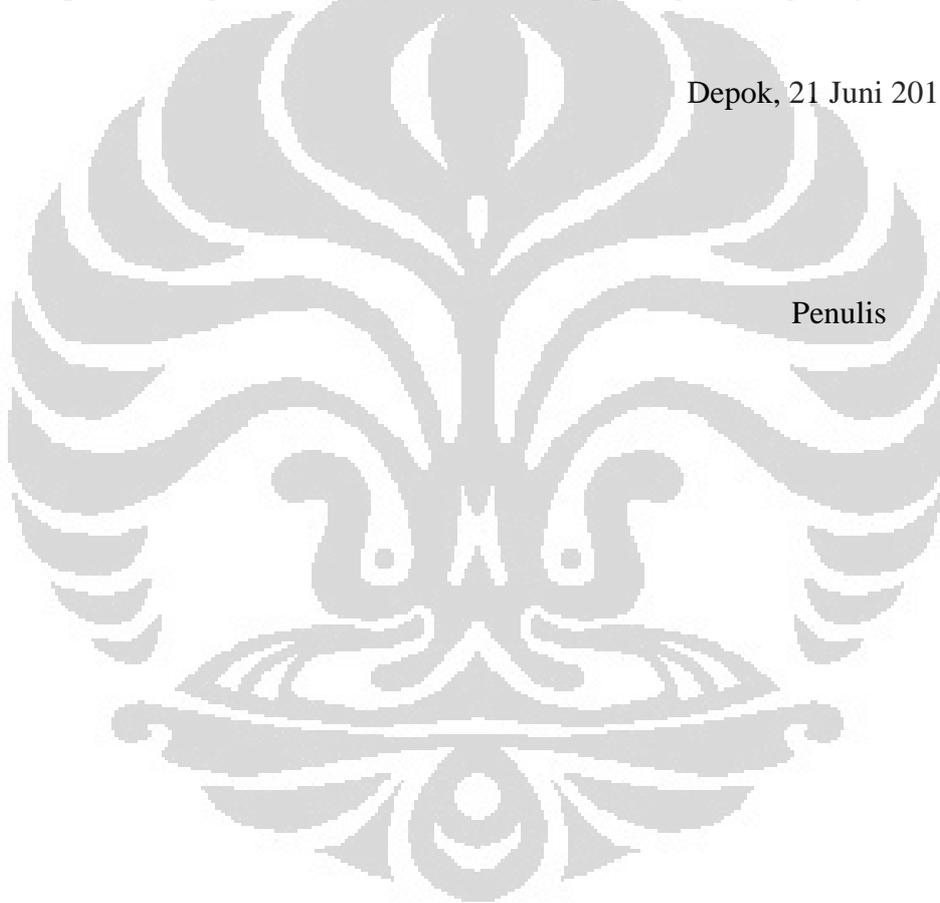
1. Kedua orang tua serta keluarga besar yang selalu memberikan dukungan, motivasi dan doa sejak awal dimulainya perkuliahan hingga selesainya skripsi ini.
2. Dr. Prawito dan Drs. Lingga Hermanto M.Si, selaku dosen pembimbing I dan II yang dengan penuh selalu bersedia untuk membimbing, mengarahkan, memberikan masukan pada saat berdiskusi, serta memotivasi penulis selama menyusun skripsi ini.
3. Prof. Dr. BEF Da Silva M.Sc DEA dan Dr. Arief S. Fitrianto, selaku penguji I dan II yang telah meluangkan waktu untuk menguji serta mengoreksi hasil penelitian penulis. Terima kasih juga atas kesempatan dan waktu yang diberikan untuk berdiskusi dan juga atas saran-saran yang telah diberikan penguji kepada penulis untuk lebih membangun dan menjadi ilmu yang bermanfaat untuk kedepannya.
4. Seluruh dosen dan karyawan departemen Fisika atas segala ilmu dan bantuan teknis yang penulis peroleh selama menjadi mahasiswa Fisika UI.
5. Teman-teman satu peminatan Fisika Instrumentasi 2007, Ady, Rado, Ferdi, Wahid, Zul, Imas, Rusyda, Yulia, Singkop, Deki, Jumari, Husni tengs bgt sudah bersedia untuk memberikan semangat juang kepada penulis dan bersama-sama menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Teman-teman Fisika 2007, yang telah memberikan banyak dukungan baik moral maupun materil serta masukan yang membangun.

7. Terima kasih juga untuk Hendro, La Ode dan Ucup yang sudah berjuang bersama-sama menjadi penghuni tetap workshop.
8. Terima kasih untuk semua pribadi yang secara sadar ataupun tidak, telah menjadi 'guru' dalam kehidupan penulis.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu. Dan juga semoga skripsi ini dapat berguna bagi orang-orang yang mengkajinya, serta dapat dikembangkan dan disempurnakan agar lebih bermanfaat untuk kepentingan orang banyak.

Depok, 21 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 : Vani Ardi Asmoro
NPM : 0706262874
Program Studi : Fisika Instrumentasi
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Non-eksklusif (NON-eksklusif Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Sistem Detektor Pola Cincin Difraksi Untuk Menentukan Diameter Celah Berbasis Mikrokontroler.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan 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



(Vani Ardi Asmoro)

ABSTRAK

Nama : Vani Ardi Asmoro
Program Studi : Fisika
Judul : Sistem Detektor Pola Cincin Difraksi Untuk Menentukan Diameter Celah Berbasis Mikrokontroler.

Sistem Detektor Pola Cincin Difraksi Untuk Menentukan Diameter Celah Berbasis Mikrokontroler telah dibuat dalam penelitian ini. Sistem pengukur ini menggunakan sensor cahaya berupa *fotodiode* untuk mendeteksi intensitas cahaya dari pola cincin hasil fenomena *difraksi*. Sumber cahaya ditembakkan melalui sebuah celah sempit berbentuk sirkular sehingga terdifraksi dan menghasilkan pola cincin gelap terang. Pola cincin gelap terang tersebut kemudian akan dideteksi oleh detektor yang bergerak pada dua sumbu. Pergerakan sensor cahaya ini dikendalikan oleh *motor dc*. Pada *motor dc* ini terpasang sebuah *rotary encoder*. *Rotary encoder* berfungsi untuk menghitung putaran *motor dc* tersebut kemudian mikrokontroler mengubah jumlah putaran tersebut menjadi nilai perpindahan dari detektor. Mikrokontroler memerintahkan *motor dc* untuk menggerakkan detektor dan mengubah output dari *fotodiode* menjadi bentuk digital dengan menggunakan ADC. Kemudian didapatkan diameter dari cincin yang ditampilkan oleh LCD. Dari nilai diameter cincin yang sudah didapat tersebut, lalu dilakukan penghitungan untuk mengetahui diameter dari *celah sirkular* yang digunakan pada penelitian ini. Alat mekanik yang telah dibuat cukup bagus, pengujian dengan sebuah celah berdiameter 50 mikron mendapatkan hasil sebesar 59 mikron. Kesalahan relatif dari penelitian ini pun cukup kecil hanya sebesar 0.9%.

Kata kunci: Celah sirkular, difraksi, fotodiode, *motor DC*, *rotary encoder*, mikrokontroler, ADC.

ABSTRACT

Name : Vani Ardi Asmoro
Study Program : Physics
Topic : Detector System of Diffraction's Ring Pattern To Determine
The Diameter of The Aperture Based On Microcontroller.

The Detector System of Diffraction's Ring Pattern For Determining Diameter of The Aperture Based on Microcontroller has been made in this research. This measuring system use a photodiode light sensor as a detector to detecting the light intensity of ring pattern from the phenomenon of diffraction. Source of light through a circular aperture so that diffracted light produced dark and bright ring pattern. This pattern is detected by a detector that moves in two axes. The light sensor's movement is driven by DC motors. There is a rotary encoder in the DC motor. The rotary encoder have a function to count the rotation of DC motor and then microcontroller converting it to be a displacement unit of detector. Microcontroller is controlling the DC motor to drive the detector and converting the output of photodiode to be a digital unit using ADC. Diameter of the ring has been obtained and showed in the LCD. The calculation using the diameter of the ring is doing to determining the diameter of circular aperture which used in this research. A mechanic tool that has been made is quite good, the test with a circular aperture which have a diameter of 50 get 59 microns as a result. Relative error of this research was small, only 0.9%.

Key words: circular aperture, diffraction, photodiode, DC motors, rotary encoder, microcontroller, ADC.

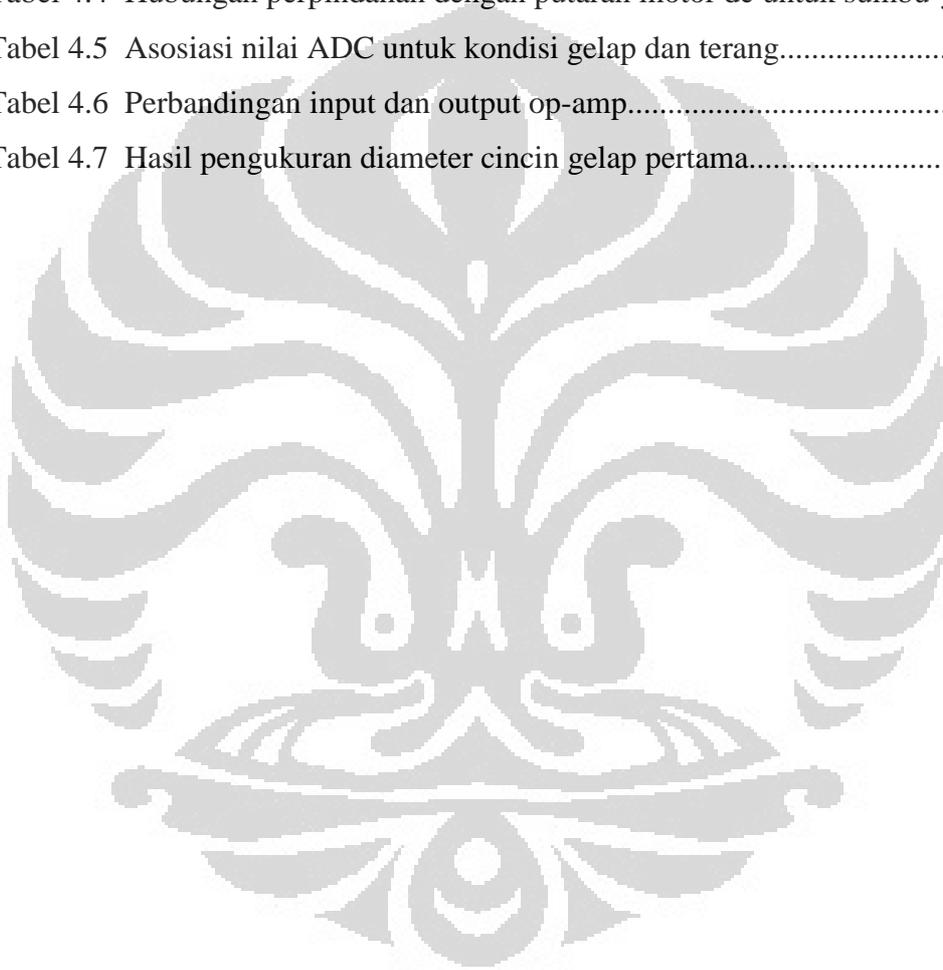
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Prinsip Kerja Sistem.....	3
1.5 Metode Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TEORI DASAR	5
2.1 Difraksi	5
2.2 Laser	8
2.3 Sensor Cahaya	12
2.4 Motor DC	14
2.4.1 Pengertian Motor DC	14
2.4.2 Prinsip Dasar Kerja Motor DC	15
2.5 Power Supply	17
2.6 Operasional Amplifier	17
2.6 Mikrokontroler	18
2.7.1 Fitur ATmega8535	19

2.7.2 Konfigurasi Pin ATmega8535	19
2.7.3 Peta Memory ATmega8535	24
2.7.4 Status Register	24
BAB 3 PERANCANGAN ALAT	26
3.1 Perangkat Keras (Hardware)	26
3.1.1 Perancangan Sensor Cahaya	28
3.1.2 Perancangan Sistem Minimum ATmega 8535 serta LCD ..	29
3.1.2.1 Sistem Minimum ATmega 8535	29
3.1.2.2 LCD	29
3.1.3 Perancangan Driver Motor DC	31
3.1.4 Perancangan Motor DC dengan Encoder	33
3.1.5 Perancangan Mekanik	34
3.1.6 Perancangan Operasional Amplifier	35
3.2 Perangkat Lunak (Software)	36
3.2.1 Alur Program	37
BAB 4 ANALISIS HASIL PENELITIAN	39
4.1 Analisis Data Kalibrasi ADC	39
4.2 Analisis Data Kalibrasi Putaran Motor DC	42
4.3 Analisis Kalibrasi Sensor Cahaya Fotodioda.....	46
4.4 Analisis Kalibrasi Operasional Amplifier.....	47
4.5 Pengukuran Diameter Cincin Pola Difraksi Untuk Menentukan Diameter Celah Berbasis Mikrokontroler.....	48
BAB 5 PENUTUP	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53
DAFTAR REFERENSI	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai n untuk orde pada difraksi.....	7
Tabel 3.1 Tipe data BASCOM.....	37
Tabel 4.1 Hubungan antara tegangan dengan nilai ADC pada mikrokontroler..	36
Tabel 4.2 Keterangan <i>motor</i> DC yang digunakan.....	42
Tabel 4.3 Hubungan perpindahan dengan putaran motor dc untuk sumbu-x.....	43
Tabel 4.4 Hubungan perpindahan dengan putaran motor dc untuk sumbu-y.....	45
Tabel 4.5 Asosiasi nilai ADC untuk kondisi gelap dan terang.....	46
Tabel 4.6 Perbandingan input dan output op-amp.....	47
Tabel 4.7 Hasil pengukuran diameter cincin gelap pertama.....	49



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Skematik alat penghasil pola Difraksi Fresnel.....	2
Gambar 2.1	Fenomena difraksi berdasarkan prinsip Huygens.....	5
Gambar 2.2	Pola cincin gelap terang hasil pola difraksi.....	6
Gambar 2.3	Hubungan lebar celah dengan diameter cincin hasil difraksi	7
Gambar 2.4	Ilustrasi sederhana sebuah atom.....	9
Gambar 2.5	Eksitasi elektron ke tingkat energi yang lebih tinggi.....	9
Gambar 2.6	Kembalinya elektron ke kondisi awal disertai emisi cahaya.....	10
Gambar 2.7	Teknologi Laser.....	11
Gambar 2.8	Simbol fotodiode.....	13
Gambar 2.9	Fotodiode.....	14
Gambar 2.10	Motor DC sederhana.....	15
Gambar 2.11	Medan magnet yang membawa arus mengelilingi konduktor....	15
Gambar 2.12	Medan magnet U yang membawa arus mengelilingi konduktor..	16
Gambar 2.13	Reaksi garis fluks.....	16
Gambar 2.14	Simbol penguat operasional	17
Gambar 2.15	Non-inverting amplifier.....	18
Gambar 2.16	Konfigurasi Pin ATmega8535.....	18
Gambar 2.17	Kaki-kaki pada ATMEGA 8535.....	21
Gambar 3.1	Blok diagram sistem pengukuran	26
Gambar 3.2	Sistem detektor pola difraksi untuk menentukan lebar celah.....	27
Gambar 3.3	Rangkaian sensor cahaya fotodiode.....	28
Gambar 3.4	LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>).....	30
Gambar 3.5	Rancangan Rangkaian LCD.....	31
Gambar 3.6	Bentuk Driver Motor Tipe L298.....	31
Gambar 3.7	Perancangan <i>Driver motor DC</i>	32
Gambar 3.8	Pin Kaki Driver Motor Tipe L298.....	33
Gambar 3.9	Blok penyusun <i>rotary encoder</i>	34
Gambar 3.10	Sketsa sistem detektor pola difraksi untuk menentukan lebar celah berbasis mikrokontroler.....	34

Gambar 3.11 Sketsa motor yang bergerak sepanjang sumbu-y dan tempat meletakkan sensor.....	32
Gambar 3.12 Skematik LF356 dan konfigurasi pin.....	36
Gambar 3.13 <i>Flowchart</i> program detector pola difraksi.....	38
Gambar 4.1. Grafik hubungan tegangan input dengan nilai ADC.....	41
Gambar 4.2 Grafik perbandingan tegangan input dengan tegangan yang terukur.....	41
Gambar 4.3 Grafik hubungan jarak dengan counter motor DC sumbu-x.....	44
Gambar 4.4 Grafik hubungan jarak dengan counter motor DC sumbu-y.....	46
Gambar 4.5 Grafik perbandingan input dan output Op-Amp.....	48
Gambar 4.6 Grafik hubungan jarak celah ke sensor dengan diameter cincin gelap.....	50
Gambar 4.7 Grafik hubungan X (jarak celah-sensor) dengan r (jari-jari cincin gelap pertama).....	51

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada kehidupan sehari-hari, manusia dan makhluk hidup lainnya selalu tidak pernah lepas dari cahaya. Cahaya memiliki kegunaan atau fungsi tersendiri bagi masing-masing makhluk hidup di belahan dunia. Cahaya merupakan energi berbentuk gelombang elektromagnetik yang kasat mata dengan panjang gelombang sekitar 380-750 nm. Pada bidang ilmu sains khususnya fisika, cahaya dikatakan sebagai radiasi elektromagnetik, baik dengan panjang gelombang kasat mata atau tidak.

Cahaya pun dapat sebagai paket partikel yang disebut foton. Ada suatu perbedaan apabila cahaya dikatakan bersifat sebagai gelombang (elektromagnetik) dan cahaya dikatakan bersifat sebagai partikel (foton), yaitu ketika cahaya bersifat sebagai gelombang yakni dengan dapat memunculkan peristiwa difraksi dan interferensi. Peristiwa difraksi dan interferensi akan menghasilkan suatu pola terang dan pola gelap pada layar. Selain itu., dari pola tersebut dapat menghasilkan suatu nilai distribusi intensitas cahaya.

Difraksi merupakan suatu gejala alam yang sering ditemui dalam kehidupan sehari-hari dan menjadi kajian dalam fisika terutama pada pokok bahasan optik. Ketika cahaya mengenai sebuah penghalang dalam lintasannya maka penghalang akan menghalangi cahaya dan cenderung menyebabkan pembentukan sebuah bayangan pada daerah dibelakang penghalang. Jika pada penghalang dibuat lubang (dibuat celah-celah sempit) maka cahaya akan melalui lubang tersebut dan menghasilkan pola gelap-terang (pola difraksi). Peristiwa memancarnya cahaya melalui celah sempit ini dinamakan difraksi.

Difraksi terjadi dengan kuat bila lebar celah tak banyak berbeda dengan panjang gelombang. Difraksi terjadi pada semua gelombang contohnya gelombang pada permukaan air, gelombang bumi, cahaya, gelombang mikro, dan sebagainya. Karena gelombang bunyi mempunyai panjang gelombang antara 2 cm

dan 20 m, yaitu kira-kira sama dengan ukuran benda yang ada di sekitar kita, maka gelombang bunyi terdifraksi dengan kuat.

Difraksi pada gelombang cahaya oleh celah sempit, dapat diamati dengan mudah bila digunakan cahaya dengan sinar-sinar yang sejajar dan kuat, misalnya sinar laser, dan digunakan celah sempit kira-kira sepersepuluh milimeter, kemudian cahaya yang keluar dari celah ditangkap dengan layar pada jarak 5 m dari celah. Difraksi seperti ini disebut difraksi Fraunhofer atau difraksi medan jauh. Bila jarak antara sumber dan celah, celah dan layar, atau keduanya tak terlalu besar maka difraksi seperti ini disebut difraksi Fresnel, diambil dan nama Augustin Jaan Fresnel, yang pertama kali membahasnya secara kuantitatif pada 1818.

Pola-pola hasil difraksi yang terjadi akan menghasilkan pola lingkaran gelap terang apabila digunakan sinar monokromatik, contohnya laser. Dari pola-pola ini dengan perhitungan rumus dapat diketahui berbagai macam hal mengenai fenomena ini misalnya diameter celah atau panjang gelombang sinar yang digunakan.

Mengingat hal ini maka penulis membuat suatu sistem untuk mendeteksi pola-pola difraksi Fresnel. Sistem yang dirancang menggunakan prinsip sederhana namun berbasis mikrokontroler sehingga memudahkan pengamat untuk mendeteksi pola-pola difraksi secara elektronik.

1.2 Batasan Masalah

Pada penelitian ini dilakukan pendeteksian pola cincin gelap terang yang dihasilkan oleh berkas sinar laser yang melalui sebuah celah sempit sirkular. Selanjutnya penelitian ini hanya akan mengukur diameter pola cincin gelap pertama, yang lalu hasilnya akan dimasukkan ke dalam perhitungan untuk mendapatkan ukuran dari diameter celah yang digunakan pada penelitian ini. Intensitas dari sumber cahaya yang digunakan tidak dimasukkan ke dalam bagian dari data yang akan diolah dan diamati dalam penelitian ini.

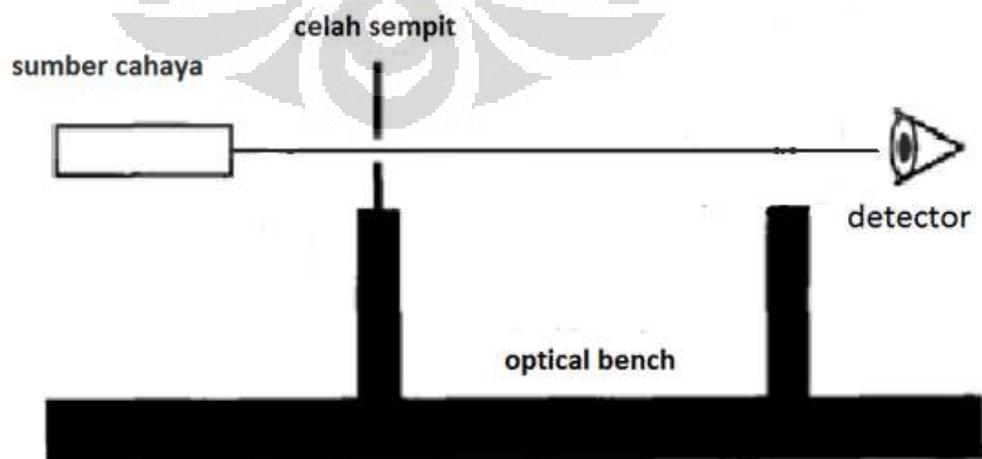
1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan mengetahui diameter celah sempit yang digunakan dalam penelitian ini dengan menerapkan pengetahuan dasar ilmu fisika dan pengetahuan tentang elektronika. Dengan penelitian ini diharapkan dapat mempermudah proses pengukuran sebuah celah yang berukuran sangat kecil yang tentunya tidak dapat diukur secara manual dengan metode pengukuran yang konvensional.

1.4 Prinsip Kerja Sistem

Penelitian ini menggunakan alat mekanik untuk mendeteksi pola-pola difraksi yang terbentuk. Alat mekanik tersebut diletakkan di sepanjang jalur cahaya dan juga di sepanjang dinding atau layar yang akan menangkap pola-pola difraksi yang terjadi. Sensor cahaya sebagai detector diposisikan pada perangkat mekanik ini. Alat mekanik ini akan dikendalikan oleh mikrokontroler untuk mengatur pergerakannya pada dua sumbu untuk mendeteksi pola cincin gelap terang yang tercipta.

Penelitian ini juga menggunakan beberapa komponen untuk menghasilkan pola difraksi yang diinginkan. Komponen tersebut diantaranya adalah sebuah celah sempit, sumber cahaya dan *optical bench*. Celah sempit diletakkan diantara sumber cahaya dan detektor pada jarak tertentu. Untuk mengatur jarak antara komponen-komponen tersebut maka digunakan *optical bench*.



Gambar.1.1 Skematik alat penghasil pola Difraksi Fresnel

1.5 Metode Penelitian

Tahapan-tahapan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Studi tentang fenomena difraksi Fresnel.
2. Studi tentang alat mekanik yang akan dirancang.
3. Desain rancangan alat dan simulasi mikrokontroller,
4. Pembuatan alat mekanik.
5. Pengambilan data dan pengujian.
6. Pembahasan dan analisis.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi terdiri atas lima bab yang secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bab 1 Pendahuluan
Bab ini memuat tentang latar belakang dari penelitian, tujuan, metode yang digunakan, dan juga pembatasan masalah pada penelitian yang dilakukan.
2. Bab 2 Teori Dasar
Bab ini memuat secara garis besar teori dasar yang berhubungan dengan penelitian.
3. Bab 3 Perancangan Alat
Bab ini memuat penggunaan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang mendukung aplikasi pada system detektor pola difraksi untuk menentukan lebar celah sempit berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535.
4. Bab 4 Analisis dan Pembahasan
Bab ini berisi penjelasan mengenai hasil penelitian sensor fotodiode yang digunakan dan juga analisis sistem menentukan diameter celah sempit berbasis mikrokontroler.
5. Bab 5 Penutup
Bab ini berisi tentang kesimpulan penelitian yang telah dilakukan, serta saran yang berguna untuk proses pengembangan selanjutnya.

BAB 2

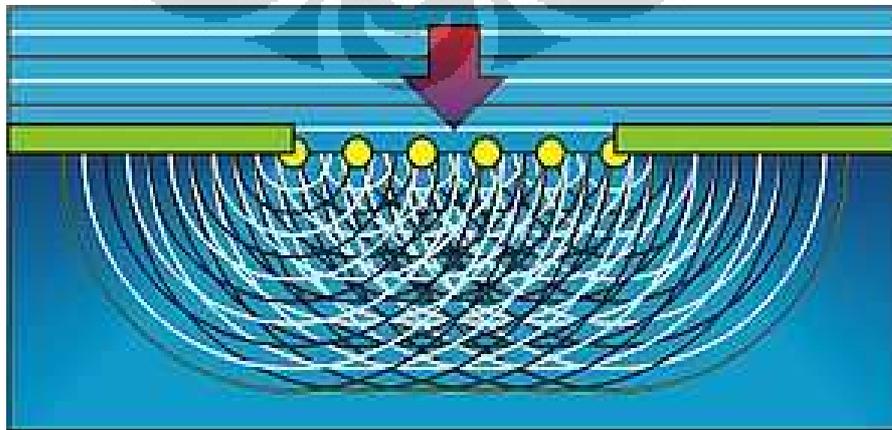
TEORI DASAR

2.1. DIFRAKSI

Difraksi merupakan peristiwa pelenturan atau pembelokan cahaya bila mengenai suatu penghalang, misalnya tepi sebuah celah sempit, kawat atau rintangan lain yang bertepi tajam.[1] Supaya terjadi difraksi cahaya, maka celah sempit itu harus seorde dengan panjang gelombang cahaya. Semakin kecil lebar celah maka penyebaran gelombang akan semakin besar begitu juga sebaliknya. Ada dua macam difraksi yang terkenal yaitu difraksi Fraunhofer dan difraksi Fresnel. Percobaan Fresnel (*near-field diffraction*) disederhanakan oleh Fraunhofer sehingga dikenal dengan difraksi Fraunhofer (*far-field diffraction*).

Difraksi Fraunhofer memiliki ciri yaitu bahwa sinar-sinar yang datang sejajar dan pola difraksi diamati pada jarak yang cukup jauh sehingga secara efektif sinar yang diterima adalah sinar-sinar terdifraksi sejajar.[2] Inilah yang membedakan difraksi Fraunhofer dan difraksi Fresnel. Pada difraksi Fresnel antara sumber cahaya dan layar terletak pada jarak yang cukup dekat.

Arah rambat gelombang pada fenomena difraksi mengalami pembelokan, karena sesuai dengan prinsip Huygens, yang menyatakan bahwa dalam proses perambatan gelombang bebas, semua titik pada muka gelombang merupakan sumber titik baru dan akan merambatkan gelombang sekunder sferis ke segala arah.[3] Gelombang sekunder mempunyai frekuensi yang sama dengan gelombang



Gambar 2.1 Fenomena difraksi berdasarkan prinsip Huygens [9]

primernya. Muka gelombang baru merupakan garis singgung dari lingkaran gelombang-gelombang sekunder tersebut, serta arah gelombang tegak lurus dengan muka gelombang.[1]

Pola gelombang yang terbentuk mempunyai daerah yang berbentuk lingkaran terang dengan pusat lingkaran terletak pada garis tegak lurus melalui pusat lubang. Di sekeliling lingkaran terang ini terdapat juga pola cincin-cincin gelap dan terang. Daerah terang pusat ini atau yang biasa disebut maksimum utama memiliki hampir 84% energi yang diteruskan lubang tersebut. Lalu cincin terang pertama atau maksimum kedua hanya memiliki 7% energy yang diteruskan lubang tersebut.[1] Jika amplitudo-amplitudo dan fase-fase yang berurutan pada daerah layar menunjukkan bahwa maksimum dan minimum yang berurutan dalam arah θ dengan sumbu utama, maka didapatkan perumusan bahwa

$$D \sin \theta = n \lambda \quad (2.1)$$

Dengan n tidak lagi merupakan bilangan bulat namun bilangan pecahan yaitu

Maksimum terjadi pada: $n = 0; 1,64; 2,67; 3,69; 4,72$

Minimum terjadi pada: $n = 1,22; 2,23; 3,24; 4,24; 5,24$



Gambar 2.2 Pola cincin gelap terang hasil pola difraksi. [8]

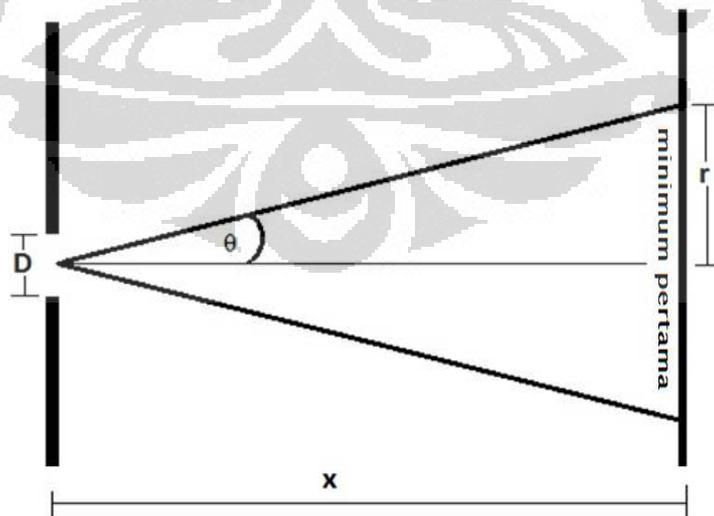
Tabel 2.1 Nilai n untuk orde pada difraksi

pola	n	intensitas relative
maksimum utama	0	1
minimum ke-1	1,22	0
maksimum ke-2	1,64	0,0175
minimum ke-2	2,23	0
maksimum ke-3	2,67	0,0042
minimum ke-3	3,24	0
maksimum ke-4	3,69	0,0016
minimum ke-4	4,24	0
maksimum ke-5	4,72	0,0008
minimum ke-5	5,24	0

Bila diperhatikan gambar 2.3 di bawah ini terdapat hubungan antara jari-jari pola minimum pertama (r) dengan jarak celah ke layar (x). Dengan $D \sin \theta = n \lambda$, $\sin \theta \cong \tan \theta = \frac{r}{x}$, maka $D \frac{r}{x} = 1,22 \lambda$.

$$D = \frac{x \cdot 1,22 \lambda}{r} \quad (2.2)$$

Dengan persamaan ini maka diameter dari lebar celah sempit dapat diketahui dengan mengukur diameter pola cincin gelap terang yang tercipta dan jarak layar ke celah sempit..



Gambar 2.3 Hubungan lebar celah dengan diameter cincin hasil difraksi. [6]

2.2. LASER

Untuk dapat menghasilkan pola difraksi gelap terang yang mudah diamati maka diperlukan sumber cahaya monokromatis yang koheren. Sebab bila digunakan cahaya polikromatis sebagai sumber cahaya maka pola difraksi yang dihasilkan tidak akan berupa pola gelap terang. Monokromatis adalah sifat yang terjadi akibat kesamaan frekuensi sedangkan koherensi adalah sifat yang terjadi akibat kesamaan fase. Oleh karena itu digunakanlah LASER yang memang memenuhi syarat sebagai sumber cahaya yang bersifat monokromatis dan koheren. LASER merupakan singkatan dari Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (penguatan cahaya dengan stimulasi emisi radiasi). [18]

Jadi syarat terbentuknya laser adalah sumber cahaya yang monokromatis dan koheren. Namun kenyataannya laser tidaklah monokromatik murni ataupun koheren murni. Meskipun demikian, ketika mengkarakterisasikan sistem laser yang sebenarnya, secara umum diasumsikan bahwa sinar laser pada awalnya adalah terfase, dan inkoherensi laser timbul karena sifat monokromatis yang tidak bagus dari sumber. Jadi sebenarnya koherensi dan monokromatis secara umum digunakan untuk mengukur parameter yang sama.

Untuk mengetahui laser lebih lanjut mengenai laser, perhatikan persamaan berikut:

$$h f = E_2 - E_1 \quad (2.3)$$

h = Konstanta Plank

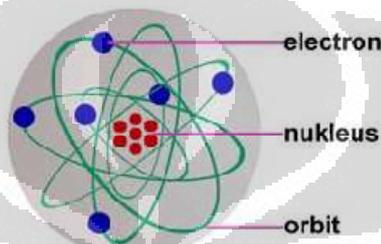
f = frekuensi

E_1 = tingkat energi 1

E_2 = tingkat energi 2

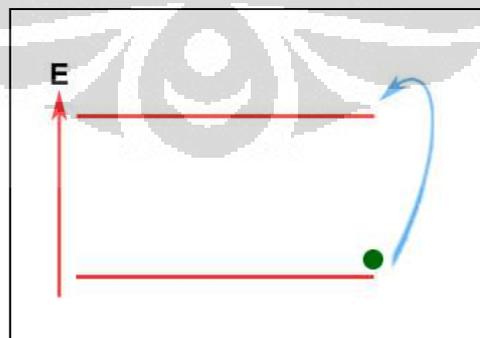
Sebuah atom terdiri dari inti atom yang disebut nukleus (berisi proton dan neutron), dan awan elektron (Gambar 2.4). Elektron-elektron ini selalu berputar mengelilingi inti atom pada orbit-orbit tertentu, sesuai dengan tingkat energinya. Jika elektron secara spontan berpindah level energi, berubah dari suatu keadaan menjadi keadaan lain, elektron tersebut memancarkan foton dengan energi sebesar

persamaan diatas. Proses ini disebut emisi spontan. Transisi dari suatu keadaan ke keadaan lainnya bisa dihalangi, dalam hal ini adalah fotonnya. Dengan kata lain, energi foton $h\nu$ dapat menghalangi transfer elektron dari keadaan 1 ke keadaan 2 menghasilkan foton lainnya dengan energi $hf = E_1 - E_2$. Ini disebut pemancaran terangsang (stimulated emission), yaitu proses yang menghasilkan dua foton berenergi hf . Lebih jauh, kedua foton ini akan memiliki fase yang sama. Jadi, laser yang ideal terbentuk dari suatu kumpulan foton berfrekuensi yang tepat sama dan semua foton tersebut memiliki fase yang sama. [16]



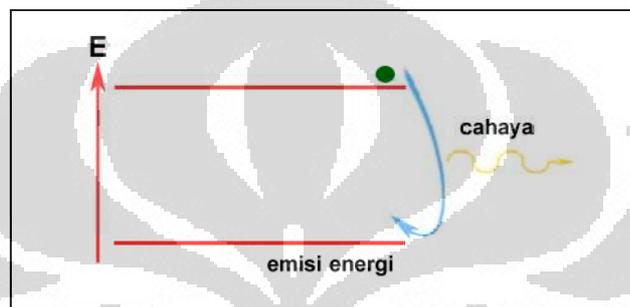
Gambar 2.4 Ilustrasi sederhana sebuah atom [16]

Orbit elektron yang memiliki tingkat energi paling rendah adalah yang paling dekat dengan inti. Jadi, semakin jauh elektron dari inti, semakin tinggi pula tingkat energinya. Ini artinya, kalau kita memberikan energi pada atom (misalnya dalam bentuk energi panas, energi listrik, atau energi cahaya) maka elektron yang berada di tingkat energi dasar (*ground-state energy level*) dapat tereksitasi (pindah) ke orbit yang tingkat energinya lebih tinggi.



Gambar 2.5 Eksitasi elektron ke tingkat energi yang lebih tinggi [16]

Elektron yang sudah pindah ke tingkat energi yang lebih tinggi ini (*excited electron*) berada dalam keadaan tidak stabil. Elektron ini selalu berusaha untuk kembali ke keadaan awalnya dengan cara melepaskan kelebihan energi tersebut. Energi yang dilepaskan berbentuk foton (energi cahaya) yang memiliki panjang gelombang tertentu (warna tertentu) sesuai dengan tingkat energinya. Ini yang disebut radiasi atom. Pada lampu senter ataupun lampu neon biasa, cahaya yang dihasilkan menuju ke segala arah dan memiliki bermacam panjang gelombang dan frekuensi (*incoherent light*). Hasilnya adalah cahaya yang sangat lemah. [16]



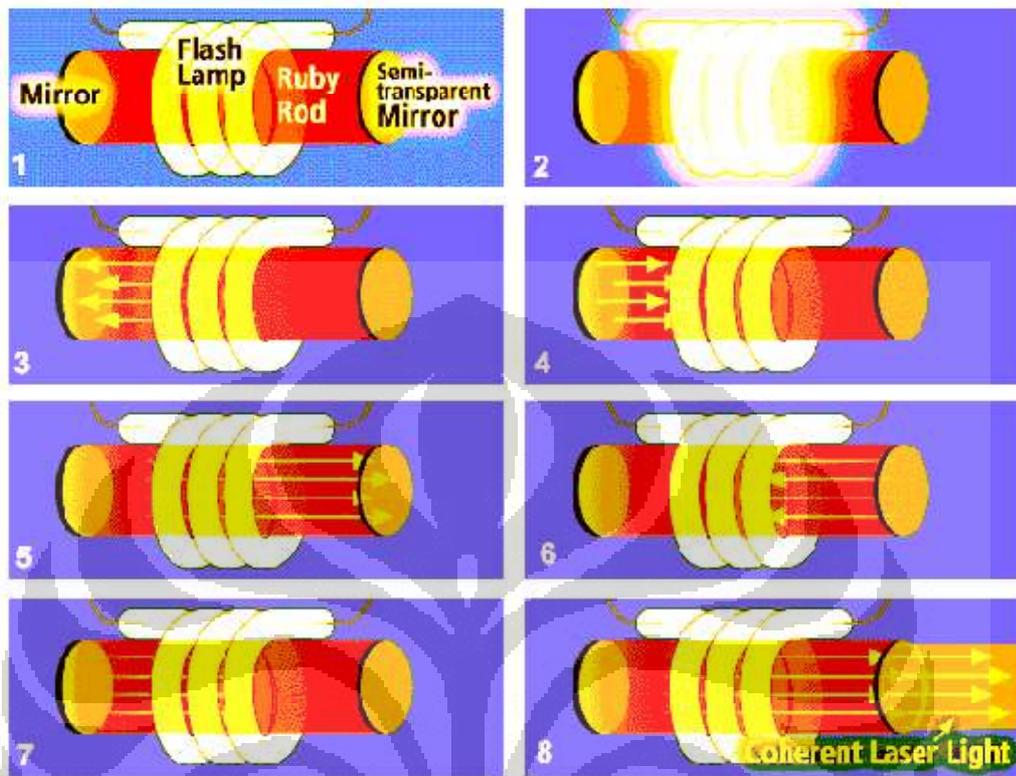
Gambar 2.6 Kembalinya elektron ke kondisi awal disertai emisi cahaya. [16]

Pada teknologi laser, cahaya yang dihasilkan mempunyai karakteristik tersendiri: yaitu monokromatik (satu panjang gelombang yang spesifik), koheren, dan menuju satu arah yang sama sehingga cahayanya menjadi sangat kuat, terkonsentrasi, dan terkoordinir dengan baik.

Dengan menggunakan bantuan cermin, pada Gambar 2.7 kita melihat dua buah cermin yang diletakkan di kedua ujung batu ruby. Salah satu cermin dibuat *half-silvered* (hanya memantulkan sebagian cahaya; sementara cahaya yang tidak dipantulkan dapat menerobos keluar). Ruby diberi stimulasi energi (disinari dengan cahaya) sehingga beberapa elektronnya tereksitasi. Kemudian elektron yang tereksitasi ini berusaha kembali ke tingkat energi awal dengan melepaskan cahaya (foton).[18]

Cahaya ini memantul-mantul pada permukaan cermin dan menyinari elektron-elektron 'tetangga'nya sehingga menyebabkan tereksitasinya para electron 'tetangga' tersebut. Elektron-elektron ini kemudian juga mengemisikan cahaya untuk kembali ke keadaan normalnya. Begitu seterusnya seperti reaksi berantai. Sebagian cahaya berhasil menerobos keluar dari *half-silvered mirror*.

Sinar ini merupakan sinar yang monokromatik, koheren, dan berfasa tunggal (*single phase*). Sinar inilah yang kita kenal sebagai sinar laser.



Gambar 2.7 Teknologi Laser. [18]

Ada bermacam media yang dapat digunakan untuk menghasilkan sinar laser, misalnya *solid state laser* (menggunakan bahan padat sebagai medianya, contoh: batu ruby), dan *gas laser* (misalnya gas helium, neon, CO₂). Kekuatan laser sangat bervariasi, bergantung pada panjang gelombang yang dihasilkannya.

Sebagai perbandingan, panjang gelombang yang dihasilkan *ruby laser* adalah 694nm ($6,94 \times 10^{-7}$ m), sedangkan panjang gelombang yang dihasilkan gas CO₂ adalah 10.600 nm ($1,06 \times 10^{-5}$ m). Batu ruby (CrAlO₃) menghasilkan sinar laser berwarna merah, sedangkan gas CO₂ menghasilkan sinar pada daerah inframerah dan gelombang mikro (*microwave*). [18] Radiasi inframerah berbentuk panas sehingga laser yang dihasilkan mampu melelehkan benda apa pun yang terkena sinarnya, bahkan bisa digunakan untuk memotong baja.

Kebanyakan laser dirancang dengan tiga elemen penting, media tambahan (*gain media*), sumber pemompa (*pumping source*), dan lubang resonansi (*resonant cavity*). Gain media adalah keadaan energi yang berperan dalam

Universitas Indonesia

perangsangan pancaran, pumping source menyediakan energi untuk melengkapi keadaan-keadaan sehingga perangsangan keadaan dapat terjadi, dan resonant cavity menyediakan jalur untuk foton.

Sinar laser yang berwarna-warni dihasilkan dari medium yang memiliki panjang gelombang berbeda-beda. Biasanya laser yang berwarna-warni ini tidak berbahaya karena berada pada intensitas yang relatif kecil. Warna-warni indah laser ini dimanfaatkan untuk mempermanis pertunjukan musik maupun acara-acara besar seperti perayaan menyambut tahun baru. Operasi-operasi kesehatan dan kecantikan juga memanfaatkan kedahsyatan sinar laser ini karena mampu 'menembak' tepat pada target. Dalam dunia sehari-hari kita juga bisa menemukan laser yang digunakan untuk *barcode scanning* di supermarket, *laser printer*, *CD (compact disc) player*, dan yang paling umum adalah *laser pointer* yang digunakan saat presentasi.

2.3. Sensor Cahaya

Terdapat banyak peranti yang dapat digunakan sebagai sensor cahaya antara lain fotoresistor, fotodiode, dan fototransistor. Berdasarkan panjang gelombangnya sensor cahaya diklasifikasikan menjadi sensor inframerah, cahaya tampak dan ultraviolet. Sensor cahaya mempunyai banyak kegunaan pada sistem otomasi. Beberapa contohnya antara lain deteksi kertas pada printer, penentuan banyaknya lampu yang dibutuhkan suatu ruangan, dan penentuan nyala lampu blitz pada kamera dan masih banyak lagi.

Sensor cahaya yang digunakan untuk penelitian ini adalah fotodiode. Fotodiode adalah jenis diode yang berfungsi mendeteksi cahaya. Fotodiode merupakan sensor cahaya semikonduktor yang dapat mengubah besaran cahaya menjadi besaran listrik. Fotodiode merupakan sebuah diode dengan sambungan p-n yang dipengaruhi cahaya dalam kerjanya. Cahaya yang dapat dideteksi oleh fotodiode ini mulai dari cahaya infra merah, cahaya tampak, ultra ungu sampai dengan sinar-X. Aplikasi fotodiode mulai dari penghitung kendaraan di jalan umum secara otomatis, pengukur cahaya pada kamera serta beberapa peralatan di bidang medis.[22]



Gambar 2.8 Simbol fotodiode [22]

Prinsip kerja dari fotodiode jika sebuah sambungan-pn dibias maju dan diberikan cahaya padanya maka pertambahan arus sangat kecil sedangkan jika sambungan pn dibias mundur arus akan bertambah cukup besar. Cahaya yang dikenakan pada fotodiode akan mengakibatkan terjadinya pergeseran foton yang akan menghasilkan pasangan electron-hole di kedua sisi dari sambungan. Ketika elektron-elektron yang dihasilkan itu masuk ke pita konduksi maka elektron-elektron itu akan mengalir ke arah positif sumber tegangan sedangkan hole yang dihasilkan mengalir ke arah negatif sumber tegangan sehingga arus akan mengalir di dalam rangkaian. Besarnya pasangan elektron ataupun hole yang dihasilkan tergantung dari besarnya intensitas cahaya yang dikenakan pada fotodiode.[21]

Fotodiode dapat dioperasikan dalam 2 mode yang berbeda:

1. Mode fotovoltaiik : seperti solar sel, penyerapan pada fotodiode menghasilkan tegangan yang dapat diukur. Bagaimanapun, tegangan yang dihasilkan dari tenaga cahaya ini sedikit tidak linier, dan range perubahannya sangat kecil.
2. Mode fotokonduktivitas : disini, fotodiode diaplikasikan sebagai tegangan revers (tegangan balik) dari sebuah diode (yaitu tegangan pada arah tersebut pada diode tidak akan menghantarkan tanpa terkena cahaya) dan pengukuran menghasilkan arus foto. (hal ini juga bagus untuk mengaplikasikan tegangan mendekati nol).

Ketergantungan arus foto pada kekuatan cahaya dapat sangat linier .

Karakteristik bahan fotodiode:

1. Silikon (Si) : arus lemah saat gelap, kecepatan tinggi, sensitivitas yang bagus antara 400 nm sampai 1000 nm (terbaik antara 800 sampai 900 nm).
2. Germanium (Ge): arus tinggi saat gelap, kecepatan lambat, sensitivitas baik antara 600 nm sampai 1800 nm (terbaik 1400 sampai 1500 nm).
3. Indium Gallium Arsenida (InGaAs): mahal, arus kecil saat gelap, kecepatan tinggi sensitivitas baik pada jarak 800 sampai 1700nm (terbaik antara 1300 sampai 1600nm).

Universitas Indonesia



Gambar 2.9 Fotodioda. [21]

2.4. Motor DC

2.4.1. Pengertian Motor DC

Motor DC (*Direct Current*) adalah peralatan elektromagnetik dasar yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik yang desain awalnya diperkenalkan oleh Michael Faraday lebih dari seabad yang lalu. 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 DC dikendalikan dengan menentukan arah dan kecepatan putarnya. Arah putaran motor DC adalah searah dengan arah putaran jarum jam (*Clock Wise/CW*) atau berlawanan arah dengan arah putaran jarum jam (*Counter Clock Wise/CCW*), yang bergantung dari hubungan kutub yang diberikan pada motor DC. Kecepatan putar motor DC diatur dengan besarnya arus yang diberikan. [5]

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 fase 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 bias berputar bebas di antara kutub-kutub magnet permanen.

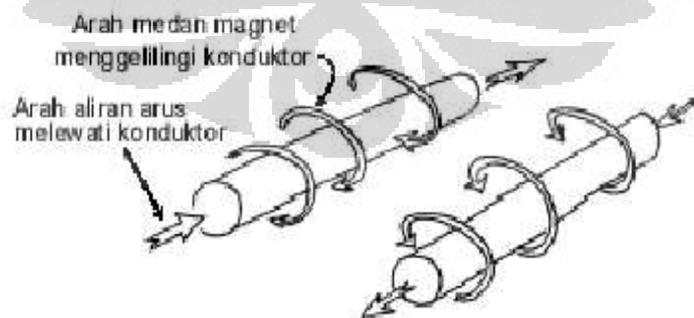


Gambar 2.10 Motor DC sederhana. [11]

Motor DC banyak digunakan sebagai penggerak dalam berbagai peralatan, baik kecil maupun besar, lambat maupun cepat. Ia juga banyak dipakai karena dapat disesuaikan untuk secara ideal menerima pulsa digital untuk kendali kecepatan. Cara pengendalian motor DC ini dapat menggunakan metode PWM, ataupun dengan metode pengendalian delay pada pulsanya. Pemilihan cara pengendalian akan tergantung dari kebutuhan terhadap gerakan motor DC itu sendiri.

2.4.2. Prinsip Dasar Kerja Motor DC.

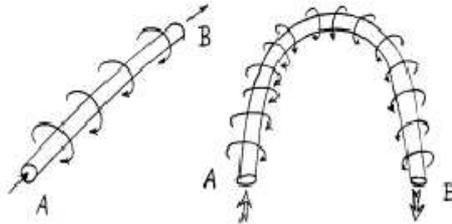
Jika arus lewat pada suatu konduktor, timbul medan magnet di sekitar konduktor. Arah medan magnet ditentukan oleh arah aliran arus pada konduktor.



Gambar 2.11. Medan magnet yang membawa arus mengelilingi konduktor .[10]

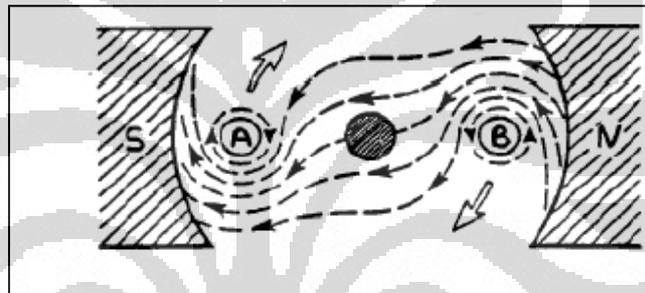
Aturan Genggaman Tangan Kanan bisa dipakai untuk menentukan arah garis fluks di sekitar konduktor. Genggam konduktor dengan tangan kanan dengan

jempol mengarah pada arah aliran arus, maka jari-jari anda akan menunjukkan arah garis fluks. Gambar 2.12 menunjukkan medan magnet yang terbentuk di sekitar konduktor berubah arah karena bentuk U. [10]



Gambar 2.12. Medan magnet U yang membawa arus mengelilingi konduktor. [10]

Jika konduktor berbentuk U (angker dinamo) diletakkan di antara kutub utara dan selatan yang kuat medan magnet konduktor akan berinteraksi dengan medan magnet kutub. Lihat gambar 2.13.



Gambar 2.13. Reaksi garis fluks. [10]

Lingkaran bertanda A dan B merupakan ujung konduktor yang dilengkungkan (*looped conductor*). Arus mengalir masuk melalui ujung A dan keluar melalui ujung B. Medan konduktor A yang searah jarum jam akan menambah medan pada kutub dan menimbulkan medan yang kuat di bawah konduktor. Konduktor akan berusaha bergerak ke atas untuk keluar dari medan kuat ini. Medan konduktor B yang berlawanan arah jarum jam akan menambah medan pada kutub dan menimbulkan medan yang kuat di atas konduktor. Konduktor akan berusaha untuk bergerak turun agar keluar dari medan yang kuat tersebut. Gaya-gaya tersebut akan membuat angker dinamo berputar searah jarum jam. [10]

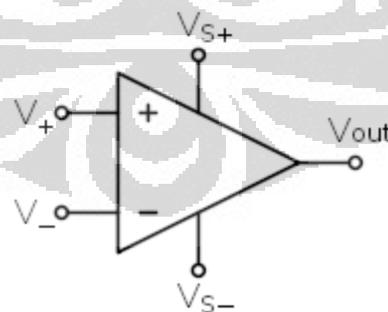
2.5. Power Supply

Perangkat elektronika mestinya dicatu oleh suplai arus searah DC (*direct current*) yang stabil agar dapat bekerja dengan baik. Baterai atau accu adalah sumber catu daya DC yang paling baik. Namun untuk aplikasi yang membutuhkan catu daya lebih besar, sumber dari baterai tidak cukup. Sumber catu daya yang besar adalah sumber bolak-balik AC (*alternating current*) dari pembangkit tenaga listrik. Untuk itu diperlukan suatu perangkat catu daya yang dapat mengubah arus AC menjadi DC.

2.6. Operasional Amplifier

Operasional amplifier atau biasa disebut penguat amplifier merupakan suatu komponen elektronika berupa Integrated Circuit (IC) yang terdiri atas differensial amplifier, common emitter amplifier push pull-up amplifier. Pada bagian output op-amp biasanya dikendalikan dengan umpan balik negatif (*negative feedback*) yang memiliki gain atau penguatan yang besar. [13] Penguat operasional yang ideal memiliki karakteristik sebagai berikut:

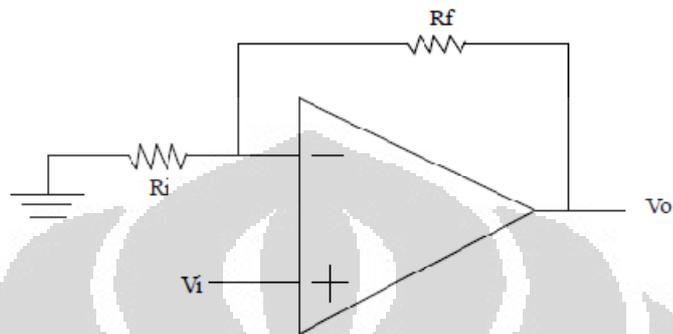
1. Gain yang tidak terbatas.
2. Impedansi input yang tidak terbatas.
3. Impedansi output nol.
4. Bandwidth yang tidak terbatas.
5. Tegangan offset nol.



Gambar 2.14. Simbol penguat operasional. [13]

Ada beberapa tipe operasional amplifier diantaranya adalah non-inverting amplifier, inverting amplifier, komparator, buffer, differensial amplifier,

integrator, differensiator, substractor dan penguat penjumlah (adder). Pada penelitian ini digunakan non-inverting amplifier. Ciri dari rangkaian non-inverting amplifier ini adalah tegangan masukannya yang berasal dari input (+) non-inverting dan adanya resistor *feedback* (R_f) yang terhubung dengan input inverting (-). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat seperti gambar di bawah ini.



Gambar 2.15. Non-inverting amplifier. [12]

Output tegangan dari penguat ini akan selalu positif, bila nilai masukan dari inputnya juga positif. Dengan kata lain tegangan input dan output akan selalu memiliki fase yang sama. Inilah yang menjadi pembeda antara Inverting amplifier dan Non-inverting amplifier. Besar gain yang dihasilkan oleh penguat ini ditentukan dengan nilai dari resistor R_i dan R_f . [13] Rumus untuk non-inverting amplifier adalah sebagai berikut:

$$V_o = \frac{R_f + R_i}{R_i} V_i \quad (2.3)$$

2.7. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah IC yang dapat diprogram berulang kali, baik ditulis atau dihapus. Biasanya digunakan untuk pengontrolan otomatis maupun manual pada perangkat elektronika. Beberapa tahun terakhir, mikrokontroler sangat banyak digunakan terutama dalam pengontrolan robot. Seiring perkembangan elektronika, mikrokontroler dibuat semakin kompak dengan bahasa pemrograman yang juga ikut berubah. Salah satunya adalah mikrokontroler AVR (*Alf and Vegard's Risc processor*) ATmega8535 yang menggunakan teknologi RISC (*Reduce Instruction Set Computing*) 8 Bit, sehingga semua instruksi dikemas

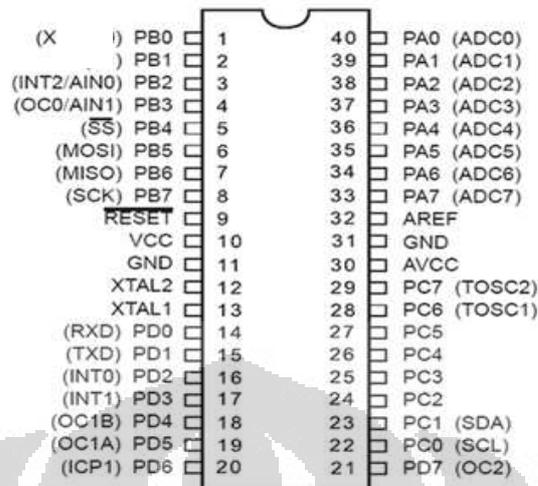
dalam kode 16-bit (*16-bits word*) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam satu siklus instruksi *clock*. [4] Ini sangat membedakan sekali dengan instruksi MCS-51 (berarsitektur CISC) yang membutuhkan siklus 12 *clock*. RISC adalah *Reduced Instruction Set Computing* sedangkan CISC adalah *Complex Instruction Set Computing*.

AVR dikelompokkan kedalam 4 kelas, yaitu ATtiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATmega, dan keluarga AT86RFxx. Dari kesemua kelas yang membedakan satu sama lain adalah ukuran *onboard memori*, *on-board peripheral* dan fungsinya. Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan mereka bisa dikatakan hampir sama.

2.7.1 . Fitur ATmega8535

- Sistem processor 8 bit berbasis *RISC* dengan kecepatan maksimal 16 MHz.
- Ukuran memory *flash* 8KB, *SRAM* sebesar 512 byte, *EEPROM* sebesar 512 byte.
- ADC internal dengan resolusi 10 bit sebanyak 8 channel
- Port komunikasi serial USART dengan kecepatan maksimal 2.5 Mbps
- Mode Sleep untuk penghematan penggunaan daya listrik
- Saluran IO sebanyak 32 buah, yaitu Port A, Port B, Port C dan Port D
- Tiga buah timer / counter
- 32 register
- *Watchdog Timer* dengan oscilator internal
- Sumber Interrupt internal dan eksternal
- Port SPI (*Serial Pheriperal Interface*)
- Komparator analog

2.7.2. Konfigurasi Pin ATmega8535



Gambar 2.16 Konfigurasi Pin ATmega8535

- VCC merupakan Pin yang berfungsi sebagai pin masukan catudaya
- GND merupakan Pin *Ground*
- Port A (PA0...PA7) merupakan pin I/O dan pin masukan ADC
- Port B (PB0...PB7) merupakan pin I/O dan pin yang mempunyai fungsi khusus yaitu Timer/Counter, komparator Analog dan SPI
- Port C (PC0...PC7) merupakan port I/O dan pin yang mempunyai fungsi khusus, yaitu komparator analog dan Timer Oscillator
- Port D (PD0...PD7) merupakan port I/O dan pin fungsi khusus yaitu komparator analog dan interrupt eksternal serta komunikasi serial
- RESET merupakan pin yang digunakan untuk mereset mikrokontroler
- XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan *clock* eksternal
- AVCC merupakan pin masukan untuk tegangan ADC
- AREF merupakan pin masukan tegangan referensi untuk ADC

AVR menjalankan sebuah instruksi tunggal dalam satu siklus dan memiliki struktur I/O yang cukup lengkap sehingga penggunaan komponen eksternal dapat dikurangi. Mikrokontroler AVR didesain menggunakan arsitektur *Harvard*, di mana ruang dan jalur bus bagi memori program dipisahkan dengan memori data. [19] Memori program diakses dengan *single-level pipelining*, di

mana ketika sebuah instruksi dijalankan, instruksi lain berikutnya akan di-*prefetch* dari memori program.

Dalam I/O lines terdapat empat port, yaitu Port A, Port B, Port C, dan Port D yang masing-masing mempunyai 8 pin I/O.

Deskripsi masing-masing port

- Port A (PA7-PA0) merupakan port yang digunakan sebagai input ADC (Analog to Digital Converter). Fungsi khusus PORTA pada seri AVR ATMEGA8535 telah dilengkapi 8 saluran ADC internal dengan fidelitas 10 bit. Dalam mode operasinya, ADC dapat dikonfigurasi baik secara *single ended input* maupun *differential input*. Selain itu, ADC ATMEGA 8535 memiliki konfigurasi pewaktuan, tegangan referensi, mode operasi, dan kemampuan filter derau yang sangat fleksibel, sehingga mudah disesuaikan dengan kebutuhan ADC itu sendiri. Jika ADC tidak digunakan maka port A merupakan 8-bit port I/O dua arah.
- Port B (PB7-PB0) merupakan 8-bit port I/O dua arah. Pada PortB terdapat internal Pull-up resistor. Ketika pin di portB disetting low “0” maka arus akan mengalir jika resistor pull-up internal diaktifkan. PortB memiliki beberapa fungsi atau fitur khusus yang dapat digunakan. Fitur-fitur tersebut diantaranya adalah:
 1. MOSI, MISO, SCK berguna sebagai inputan downloader ISP.
 2. T0/T1 sebagai inputan timer atau counter external.
 3. AIN0 dan AIN1 sebagai inputan komparator, AIN0 sebagai inputan positif (+) sedangkan AIN1 sebagai inputan (-).

Sebagai fungsi tambahan pada Port B:

PB.0 T0 (Timer/Counter0 External Counter Input) XCK (USART External Clock Input/Output)

PB.1 T1 (Timer/Counter1 External Counter Input)

PB.2 AIN0 (Analog Comparator Positive Input) INT2 (External Interrupt 2 Input)

PB.3 AIN1 (Analog Comparator Negative Input) OC0 (Timer/Counter0 Output Compare Match Output)

Universitas Indonesia

- PB.4 SS (SPI Slave Select Input)
- PB.5 MOSI (SPI Bus Master Output/Slave Input)
- PB.6 MISO (SPI Bus Master Input/Slave Output)
- PB.7 SCK (SPI Bus Serial Clock)

- Port C (PC7-PC0) memiliki fungsi diantaranya adalah sebagai berikut:
 1. SCL dan SDA merupakan pin yang dapat berfungsi sebagai mengatur interface serial 2 jalur.
 2. TCK merupakan pin yang dapat berfungsi sebagai operasi sinkronisasi dari JTAG ke TCK. Jika pin ini digunakan seperti fungsi periferil tersebut maka pin ini tidak dapat berfungsi sebagai I/O.
 3. TMS merupakan pin yang dapat berfungsi sebagai pengontrol navigasi mesin TAP. Jika pin ini digunakan seperti fungsi periferil tersebut maka pin ini tidak dapat berfungsi sebagai I/O.
 4. TD0 merupakan pin yang dapat berfungsi sebagai output data serial dari data register. Jika pin ini digunakan seperti fungsi periferil tersebut maka pin ini tidak dapat berfungsi sebagai I/O.
 5. TD1 merupakan pin yang dapat berfungsi sebagai input data serial ke register atau data register. Jika pin ini digunakan seperti fungsi periferil tersebut maka pin ini tidak dapat berfungsi sebagai I/O.
 6. TOSC1 dan TOSC2 jika disambungkan dengan kristal dan bit ASR serta bit ASSR diset "1" (high) untuk mengaktifkan asynchronous clocking dari Timer/Counter2 maka pin ini dapat digunakan sebagai inputan penguat ampliflier osilator. Dalam keadaan ini pin tidak dapat berfungsi sebagai I/O.

Sebagai fungsi tambahan:

- PC.0 SCL (Two-wire Serial Bus Clock Line)
- PC.1 SDA (Two-wire Serial Bus Data Input/Output Line)
- PC.2 TCK (JTAG Test Clock)
- PC.3 TMS (JTAG Test Mode Select)
- PC.4 TDO (JTAG Test Data Out)

Universitas Indonesia

- PC.5 TDI (JTAG Test Data In)
- PC.6 TOSC1 (Timer Oscillator Pin 1)
- PC.7 TOSC2 (Timer Oscillator Pin 2)

- Port D (PD7-PD0) merupakan 8-bit port I/O dua arah. Pada PortD terdapat internal Pull-up resistor. Ketika pin di portD disetting low “0” maka arus akan mengalir jika resistor pull-up internal diaktifkan. RESET merupakan pin jika diberikan inputan low “0” maka program yang telah dibuat akan kembali dari awal. Fungsi khusus dari PORTD diantaranya adalah:
 1. RXD dan TXD merupakan pin yang digunakan untuk komunikasi serial.
 2. INT0 dan INT1 merupakan pin yang digunakan sebagai inputan interupsi eksternal 0 dan inputan interupsi eksternal 1.
 3. OC1A dan OC1B merupakan output untuk PWM mode fungsi timer dan OC1A juga berfungsi sebagai output eksternal dari pembanding timer/counter A serta OC1B juga berfungsi sebagai output eksternal dari pembanding timer/counter B.
 4. ICP1 merupakan pin yang dapat berfungsi sebagai penampung input timer/ counter 1.
 5. OC2 merupakan pin yang dapat berfungsi sebagai output untuk PWM mode fungsi timer dan OC2 juga berfungsi sebagai output eksternal dari pembanding timer/counter.

Sebagai fungsi tambahan:

- PD.0 RXD (USART Input Pin)
- PD.1 TXD (USART Output Pin)
- PD.2 INT0 (External Interrupt 0 Input)
- PD.3 INT1 (External Interrupt 1 Input)
- PD.4 OC1B (Timer/Counter1 Output Compare B Match Output)
- PD.5 OC1A (Timer/Counter1 Output Compare A Match Output)
- PD.6 ICP1 (Timer/Counter1 Input Capture Pin)
- PD.7 OC2 (Timer/Counter2 Output Compare Match Output)

2.7.3. Memory ATmega8535

ATmega8535 memiliki ruang pengalamatan memori data dan memori program yang terpisah. Memori data terbagi menjadi 3 bagian yaitu : 32 buah register umum, 64 buah register I/O, dan 512 byte SRAM internal. Register untuk keperluan umum menempati space data pada alamat terbawah, yaitu \$00 sampai \$1F. Register khusus untuk menangani I/O dan kontrol mikrokontroler menempati 64 alamat berikutnya, yaitu mulai dari \$20 sampai \$5F. Register tersebut merupakan register yang khusus digunakan untuk mengatur fungsi terhadap berbagai peripheral mikrokontroler, seperti kontrol register, *timer/counter*, fungsi fungsi I/O, dan sebagainya. Alamat memori berikutnya digunakan untuk SRAM 512 byte, yaitu pada lokasi \$60 sampai dengan \$25F. [15]

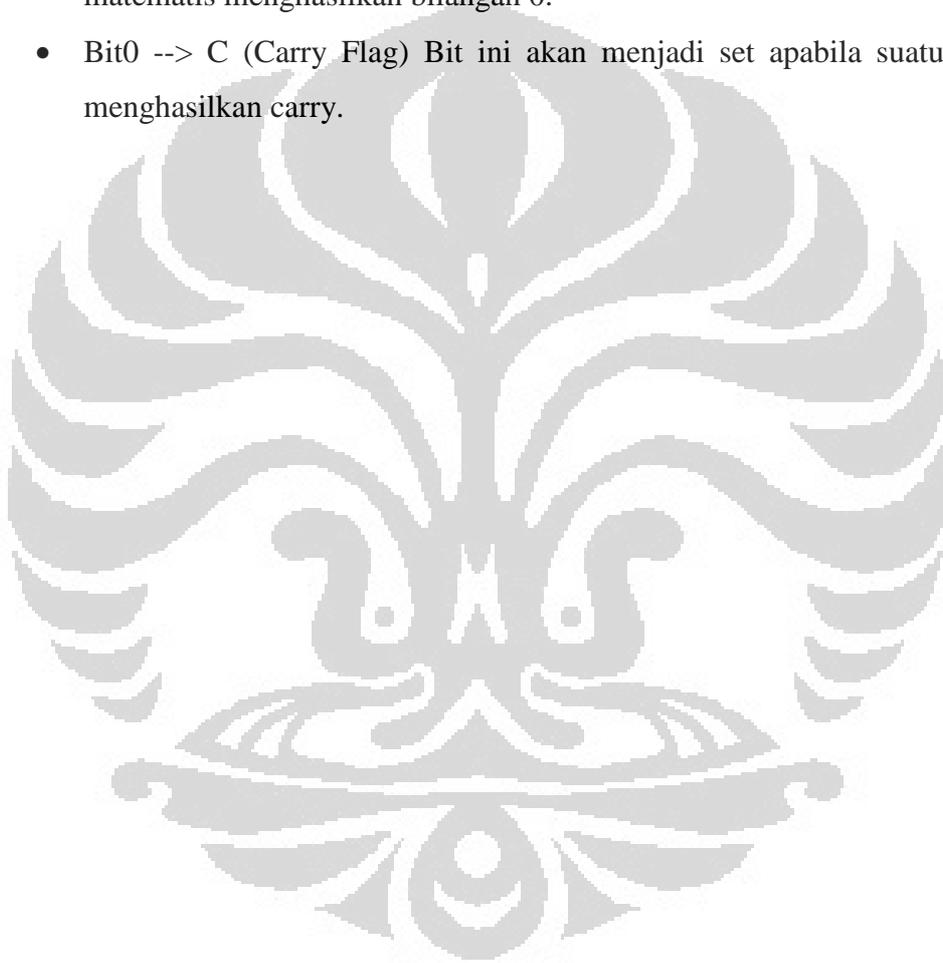
Memori program yang terletak pada Flash Perom tersusun dalam word atau 2 byte karena setiap instruksi memiliki lebar 16-bit atau 32bit. AVR ATmega8535 memiliki 4KByte x 16 Bit Flash Perom dengan alamat mulai dari \$000 sampai \$FFF. AVR tersebut memiliki 12 bit Program Counter (PC) sehingga mampu mengalami isi Flash. Selain itu AVR ATmega8535 juga memiliki memori data berupa EEPROM 8-bit sebanyak 512 byte. Alamat EEPROM dimulai dari \$000 sampai \$1FF.

2.7.4. Status Register

Status register adalah register berisi status yang dihasilkan pada setiap operasi yang dilakukan ketika suatu instruksi dieksekusi. SREG merupakan bagian dari inti CPU mikrokontroler.

- Bit7 --> I (Global Interrupt Enable), Bit harus di Set untuk mengenable semua jenis interupsi.
- Bit6 --> T (Bit Copy Storage), Instruksi BLD dan BST menggunakan bit T sebagai sumber atau tujuan dalam operasi bit. Suatu bit dalam sebuah register GPR dapat disalin ke bit T menggunakan instruksi BST, dan sebaliknya bit T dapat disalin kembali kesuatu bit dalam register GPR dengan menggunakan instruksi BLD.
- Bi5 --> H (Half Cary Flag)

- Bit4 --> S (Sign Bit) merupakan hasil operasi EOR antara flag -N (negatif) dan flag V (komplemen dua overflow).
- Bit3 --> V (Two's Component Overflow Flag) Bit ini berfungsi untuk mendukung operasi matematis.
- Bit2 --> N (Negative Flag) Flag N akan menjadi Set, jika suatu operasi matematis menghasilkan bilangan negatif.
- Bit1 --> Z (Zero Flag) Bit ini akan menjadi Set apabila hasil operasi matematis menghasilkan bilangan 0.
- Bit0 --> C (Carry Flag) Bit ini akan menjadi set apabila suatu operasi menghasilkan carry.

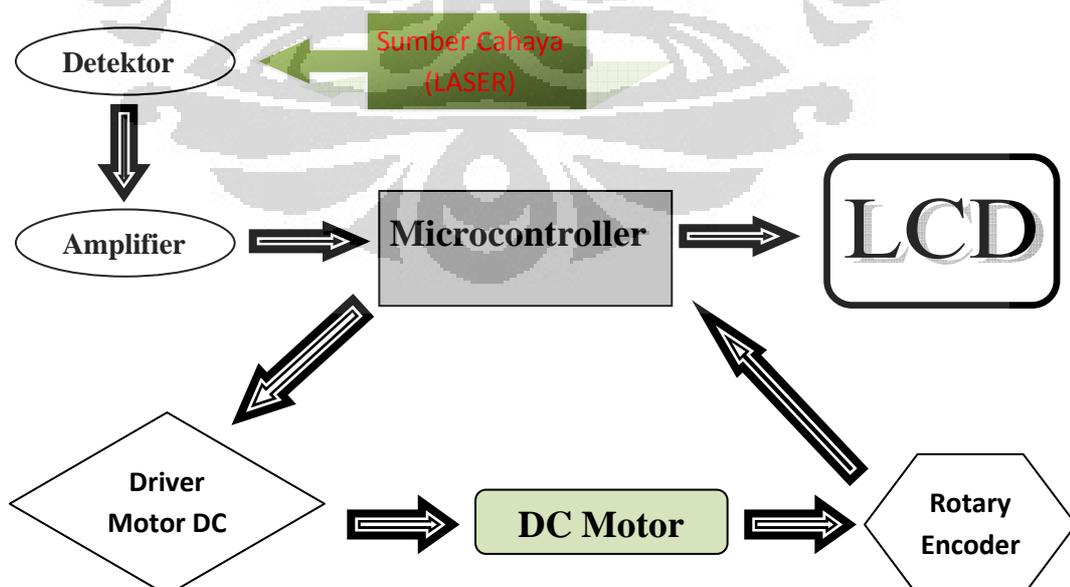


BAB 3 PERANCANGAN ALAT

Bab ini akan menjelaskan mengenai konstruksi perancangan perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*) yang akan mendukung sistem detektor pola difraksi untuk menentukan diameter celah berbasis mikrokontroler. Bagaimana sistem konstruksi mekanik pengukuran dibuat akan dijelaskan pada bagian perancangan *hardware*. Pada bagian itu pula akan dijelaskan fungsi dari setiap bagian yang dibuat serta gambar disain alat yang akan dibuat. Pada perancangan *software* nanti akan menginformasikan bagaimana bentuk dan alur program yang digunakan untuk membantu dalam proses pendeteksian pola difraksi yang tercipta.

3.1. Perangkat Keras (Hardware)

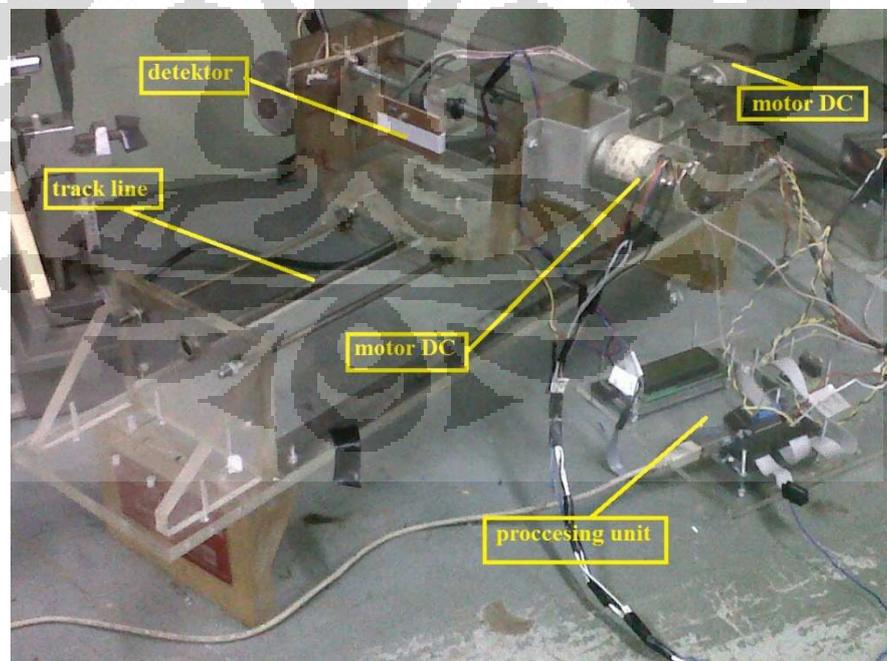
Bagian ini akan menjelaskan komponen-komponen penyusun perangkat keras (*hardware*) beserta fungsi dan cara kerjanya hingga dapat menunjang terciptanya suatu sistem detektor pola difraksi untuk menentukan diameter celah berbasis mikrokontroler. Sistem ini terhubung dengan rangkaian elektronik agar dapat mendukung semua proses yang terjadi dalam penelitian ini. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada blok diagram di bawah ini.



Gambar 3.1. Blok diagram sistem pengukuran.

Dari gambar di atas dapat dilihat perangkat-perangkat penyusun sistem yang digunakan dalam penelitian ini. Tiap perangkat penyusun memiliki fungsi penunjang yang berbeda-beda, penjelasan masing-masing perangkat diatas akan dijabarkan pada subbab selanjutnya. Untuk sumber cahaya, system ini menggunakan laser diode warna hijau dengan panjang gelombang 532 nm. Sinar laser tersebut akan ditembakkan melewati sebuah celah melingkar (sirkular) sempit dengan diameter 50 mikron. Posisi dari laser dan celah sempit harus diatur sedemikian rupa hingga sejajar dan menghasilkan pola cincin gelap terang.

Selanjutnya mikrokontroler akan mengaktifkan motor dc. Perlu diketahui sebelumnya bahwa sistem ini memiliki dua buah motor dc, motor dc tersebut diposisikan tegak lurus dengan tujuan agar dapat memobilisasi sensor cahaya (detektor) untuk bergerak pada sumbu x dan sumbu y. untuk lebih jelasnya hal tersebut dapat dilihat pada gambar 3.2 di bawah ini. Motor dc yang pertama diaktifkan adalah motor dc yang berposisi di bawah yang akan menggerakkan detektor sejajar dengan sumbu x. Selama pergeseran putaran motor dc yang dihasilkan rotary encoder juga dibaca oleh mikrokontroler untuk selanjutnya dikonversi menjadi satuan jarak pada LCD.



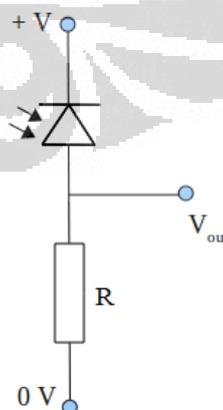
Gambar 3.2. Sistem detektor pola difraksi untuk menentukan lebar celah

Motor dc kedua, yang berposisi di atas dan berfungsi mengatur pergeseran detektor sejajar dengan sumbu-y, baru akan diaktifkan setelah motor dc pertama berhenti beroperasi. Pada proses ini mikrokontroler tidak hanya membaca pulsa yang dihasilkan oleh rotary encoder namun juga intensitas cahaya yang tertangkap oleh detector. Hal tersebut berguna untuk menentukan jarak dari pola difraksi yang terdeteksi. Selanjutnya jarak tersebut akan ditampilkan pada LCD.

3.1.1. Perancangan Sensor Cahaya

Pada penelitian ini sensor cahaya yang digunakan adalah sensor dari jenis fotodiode. Fotodiode disini digunakan sebagai komponen pendeteksi ada tidaknya cahaya. Fotodiode mempunyai resistansi yang rendah pada kondisi *forward bias*, kita dapat memanfaatkan photo diode ini pada kondisi *reverse bias* dimana resistansi dari fotodiode akan turun seiring dengan intensitas cahaya yang masuk.

Dengan memanfaatkan kondisi tersebut, maka dibuatlah sebuah rangkaian sensor cahaya menggunakan fotodiode seperti pada gambar 3.3 di bawah ini. Bila diperhatikan maka akan diketahui bahwa rangkaian ini memanfaatkan teori rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*). Jika fotodiode tidak terkena cahaya, hambatan fotodiode sangat besar sekali. Sesuai dengan fungsi resistor sebagai pembagi tegangan maka V_{out} akan bernilai kecil mendekati level low (0) bila dibandingkan dengan R. Kondisi ini akan berkebalikkan pada saat fotodiode menerima intensitas cahaya yang lebih besar yaitu V_{out} mendekati level high (V_{cc}).



Gambar 3.3. Rangkaian sensor cahaya fotodiode

3.1.2. Perancangan Sistem Minimum ATMEGA 8535 serta LCD

3.1.2.1. Sistem Minimum ATmega 8535

Sistem minimum mikrokontroler ATmega8535 berfungsi sebagai media komunikasi atau bisa disebut interface dengan unit IO (input/output) dan peralatan lainnya seperti LCD. Sistem minimum ini dilengkapi dengan USB programmer, sehingga untuk memasukkan program ke dalam mikrokontroler melalui programming software dapat melalui kabel USB yang dihubungkan dengan PC.

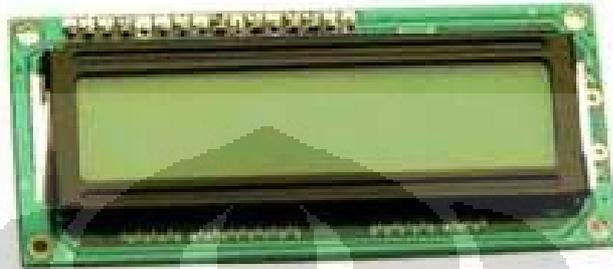
Port ATmega8535 yang terdiri dari empat *port* yaitu *port A*, *port B*, *port C*, dan *port D*, dapat dengan mudah kita gunakan karena pada minimum sistemnya sudah terdapat *header male* yang memudahkan kita untuk menghubungkannya dengan rangkaian lain. Setiap *port* pada minimum sistemnya, selain *port IO* untuk menghubungkan dengan mikrokontroler, terdapat juga *port ground* dan *Vcc* yang dapat kita gunakan sebagai sumber tegangan.

Dalam rangkaian sistem detektor pola difraksi berbasis mikrokontroler ini hampir semua *port* pada minimum sistem ATmega8535 digunakan. Untuk mengambil data ADC yang digunakan untuk membaca sensor cahaya, penulis membacanya melalui *port ADC1 (portA.1)*. Sedangkan untuk membaca perubahan jarak yang dalam hal ini diindikasikan sebagai banyaknya putaran motor DC, penulis menggunakan *timer 0* dan *timer 1* yang ada pada *portB.0* dan *portB.1*. Kemudian untuk menampilkan hasil pengolahan data mikrokontroler, digunakan *portC* untuk dihubungkan pada LCD yang dapat menampilkan hasil akhir dari sistem pengatur fokus lensa.

3.1.2.2. LCD (*Liquid Crystal Display*)

Peran LCD (*Liquid Crystal Display*) sebagai output digital sangat penting apabila kita menggunakan sebuah sistem berbasis mikrokontroler. LCD pada sistem ini berfungsi untuk menampilkan nilai ADC yang dihasilkan sensor serta perubahan posisi yang dialami oleh detektor secara digital. LCD ini juga dapat digunakan untuk menampilkan teks pembuka, atau menampilkan menu pada aplikasi mikrokontroler. Tampilan pada LCD ini diatur seluruhnya oleh

mikrokontroler. Mikrokontroler mengirim data-data yang merupakan karakter yang akan ditampilkan pada LCD. LCD yang digunakan pada penelitian ini adalah LCD M1632. M1632 merupakan modul LCD matrix dengan konfigurasi 16 karakter dan 2 baris dengan setiap karakternya dibentuk oleh baris pixel dan 5 kolom pixel (1 baris pixel terakhir adalah kursor).



Gambar 3.4. LCD (*Liquid Crystal Display*)

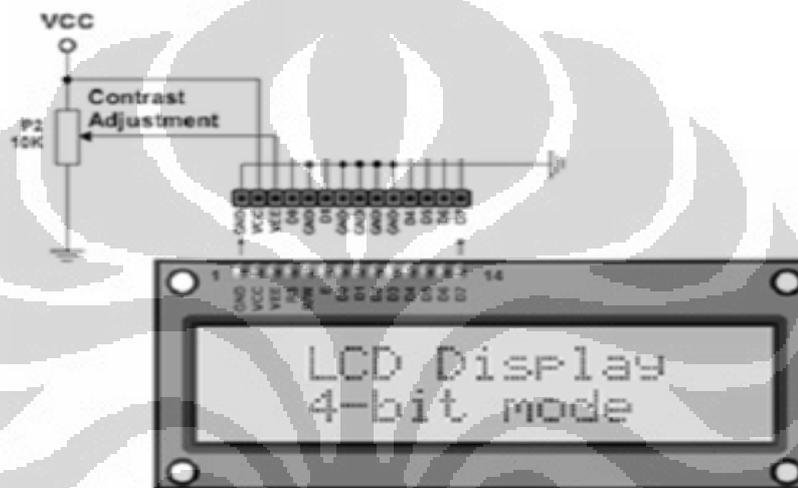
Didalam modul M1632 sudah tersedia HD44780 yang dikeluarkan oleh Hitachi, Hyundai dan modul-modul M1632 lainnya. HD44780 sebetulnya merupakan mikrokontroler dirancang khusus untuk mengendalikan LCD dan mempunyai kemampuan untuk mengatur proses *scanning* pada layar LCD yang terbentuk oleh 16 COM dan 40 SEG sehingga mikrokontroler/perangkat yang mengakses modul LCD ini tidak perlu lagi mengatur *scanning* pada layar LCD. Mikrokontroler hanya mengirim data-data yang merupakan karakter yang akan ditampilkan pada LCD atau perintah yang mengatur proses tampilan pada LCD saja.

Adapun konfigurasi dan deskripsi dari pin-pin LCD M1632 antara lain:

1. Pin 1 dihubungkan ke Gnd.
2. Pin 2 dihubungkan ke Vcc +5V.
3. Pin 3 dihubungkan ke bagian tengah potensiometer 10KOhm sebagai pengatur kontras.
4. Pin 4 untuk memberitahukan LCD bahwa sinyal yang dikirim adalah data, jika Pin 4 ini diset ke logika 1 (high, +5V), atau memberitahukan bahwa sinyal yang dikirim adalah perintah jika pin ini diset ke logika.
5. Pin 5 digunakan untuk mengatur fungsi LCD. Jika di set ke logika 1 (high, +5V) maka LCD berfungsi untuk menerima data (membaca data).

Dan fungsi untuk mengeluarkan data, jika pin ini di set ke logika 0 (low, 0V). Namun kebanyakan aplikasi hanya digunakan untuk menerima data, sehingga pin 5 ini selalu dihubungkan ke Gnd.

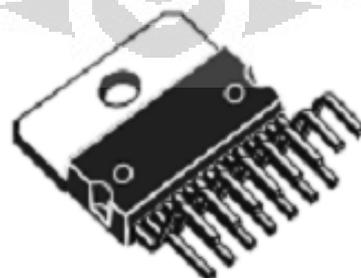
6. Pin 6 adalah terminal enable. Berlogika 1 setiap kali pengiriman atau pembaca data.
7. Pin 7 – Pin 14 adalah data 8 bit data bus (Aplikasi ini menggunakan 4 bit MSB saja, sehingga pin data yang digunakan hanya Pin 11 – Pin 14).
8. Pin 15 dan Pin 16 adalah tegangan untuk menyalakan lampu LCD.



Gambar 3.5. Rancangan Rangkaian LCD

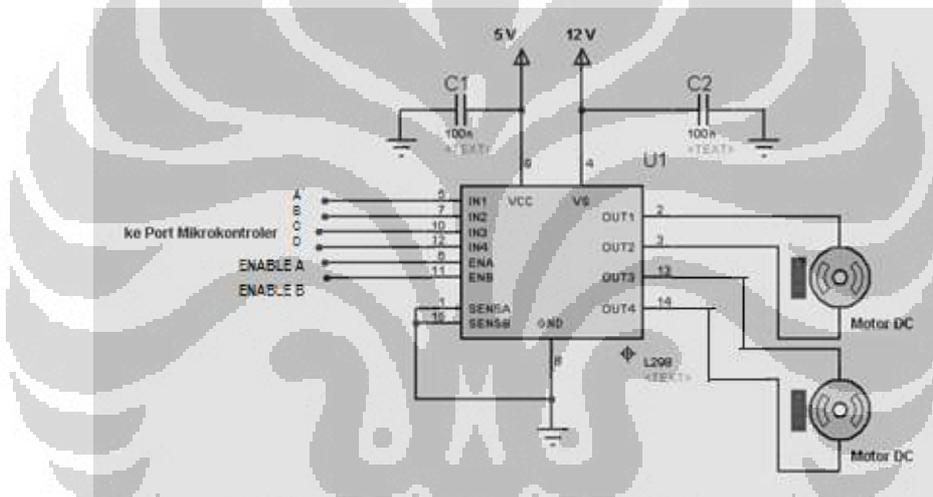
3.1.3. Perancangan Driver Motor DC

Rangkaian driver motor berfungsi untuk mengendalikan dan menggerakkan motor dengan input yang berasal dari mikrokontroler. Jika tidak menggunakan rangkaian driver ini maka input yang berasal dari mikrokontroler tidak akan mampu memutar motor dikarenakan terlalu kecil arusnya.



Gambar 3.6 Bentuk Driver Motor Tipe L298

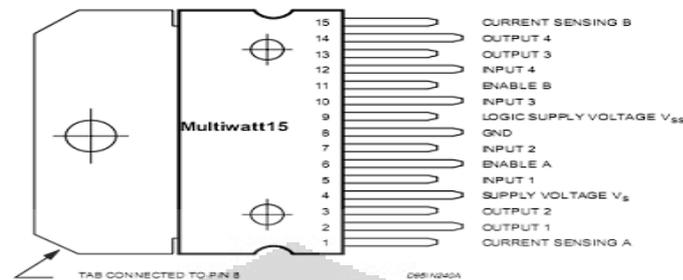
Rangkaian driver motor yang digunakan disini adalah IC L298. Driver tipe ini memiliki beberapa kelebihan yaitu memiliki tegangan maksimum hingga 46 V, total arus yang dapat mengalir di dalamnya mencapai hingga 4 A, saturasinya rendah dan tahan terhadap suhu tinggi. Namun keunggulan utama dari driver ini adalah kemampuannya untuk dapat menggerakkan dua motor sekaligus karena terdapat 4 buah input dan 2 buah enable input. Sistem pada penelitian ini menggunakan empat buah input, empat buah output dan dua buah enable input yang dimiliki oleh driver tersebut untuk menggerakkan motor sumbu-x dan motor sumbu-y. Sebuah motor DC memerlukan masing-masing dua buah input dan dua buah output untuk menentukan arah putarannya serta sebuah enable input untuk menghidupkan atau mematikan motor.



Gambar 3.7. Perancangan *Driver motor DC*

Pada bagian input dari driver yang dihubungkan dengan mikrokontroler untuk mengatur arah putaran motor akan memberikan logika 0 (low) atau 1 (high) pada kaki input tersebut. Sedangkan enable input akan memberikan logika 1 (high) untuk menghidupkan motor dan logika 0 (low) untuk mematikan motor. Untuk motor yang bergerak pada sumbu-x enable input-nya dihubungkan dengan PORTD.4. Sementara dua input lain yang akan mengatur arah putarannya dihubungkan dengan PORTD.0 dan PORTD.1 mikrokontroler. Sedangkan untuk motor yang bergerak di sepanjang sumbu-y, enable input-nya dihubungkan

dengan PORTD.5. Sementara dua input yang mengatur arah putarannya dihubungkan dengan PORTD.2 dan PORTD.3 mikrokontroler. Berikut ini penggambaran kaki-kaki pin dari driver motor tipe L298 :



Gambar 3.8 Pin Kaki Driver Motor Tipe L298

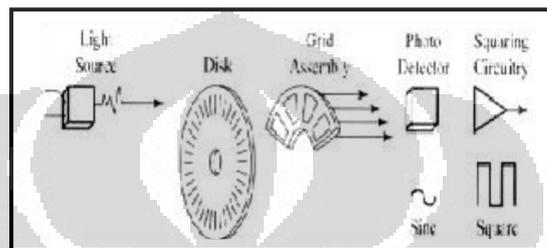
3.1.4. Perancangan Motor DC *with Rotary Encoder*

Motor dc yang digunakan pada sistem ini sudah dilengkapi dengan *rotary encoder*. Pada sistem ini, sensor OPT101 yang dalam hal ini berfungsi sebagai layar untuk menangkap pola hasil difraksi, digerakkan oleh *motor DC* untuk kemudian mengukur diameter pola cincin gelap. Untuk membaca perubahan jarak tersebut, maka digunakanlah *rotary encoder* untuk mengetahui putaran *motor DC* yang nantinya akan di konversi menjadi perubahan jarak.

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

Rotary encoder tersusun dari suatu piringan tipis yang memiliki lubang-lubang pada bagian lingkaran piringan. LED ditempatkan pada salah satu sisi piringan sehingga cahaya akan menuju ke piringan. Di sisi yang lain suatu fototransistor diletakkan sehingga fototransistor ini dapat mendeteksi cahaya dari LED yang berseberangan. Piringan tipis tadi dikopel dengan poros motor, atau divais berputar lainnya yang ingin kita ketahui posisinya, sehingga ketika motor berputar piringan juga akan ikut berputar.

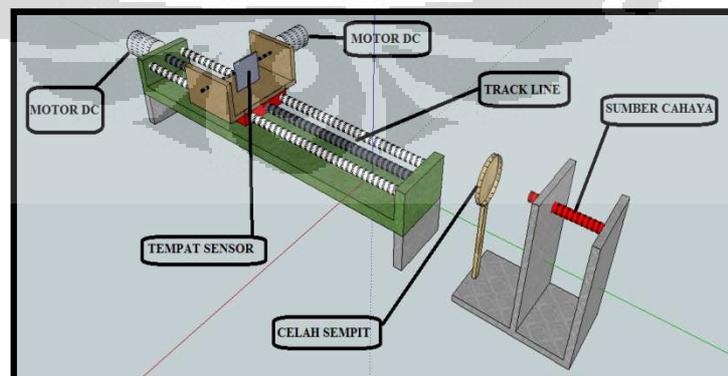
Apabila posisi piringan mengakibatkan cahaya dari LED dapat mencapai fototransistor melalui lubang-lubang yang ada, maka fototransistor akan mengalami saturasi dan akan menghasilkan suatu pulsa gelombang persegi. Gambar 3.9 menunjukkan bagan skematik sederhana dari *rotary encoder*. Semakin banyak deretan pulsa yang dihasilkan pada satu putaran menentukan akurasi *rotary encoder* tersebut, akibatnya semakin banyak jumlah lubang yang dapat dibuat pada piringan menentukan akurasi *rotary encoder* tersebut.



Gambar 3.9. Blok penyusun *rotary encoder*.

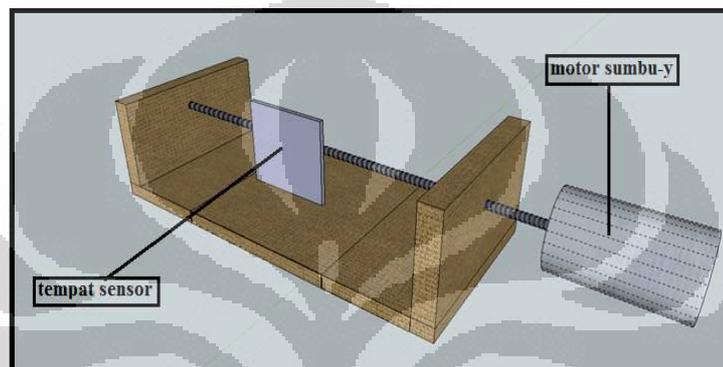
3.1.5. Perancangan Mekanik

Penelitian ini membutuhkan sebuah konstruksi mekanik yang dapat menunjang pergerakan detector secara dua dimensi untuk mengukur dua variable yang diperlukan dalam penelitian ini. Yang pertama adalah jarak antara celah dengan posisi detector sepanjang sumbu-x dan yang kedua adalah diameter pola cincin hasil difraksi yang melintang sepanjang sumbu-y. Oleh sebab itu penulis merancang sebuah mekanik yang dapat menggerakkan detektor tersebut sesuai seperti yang dijelaskan di atas.



Gambar 3.10. Sketsa sistem detektor pola difraksi untuk menentukan lebar celah berbasis mikrokontroler.

Maka dari itu dibuatlah suatu konstruksi mekanik dimana nantinya sensor akan dapat bergerak maju mundur dan kiri kanan. Untuk menggerakkan dan memindahkan sensor tersebut digunakan batang ulir serta motor DC. Pada batang ulir tersebut akan diletakkan tempat untuk sensornya yang telah di drat. Bila batang ulir tersebut berputar maka sensor akan berpindah sesuai dengan arah putaran dari batang ulir. Batang ulir tersebut terhubung langsung dengan motor DC pada bagian ujungnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.10 dan 3.11.

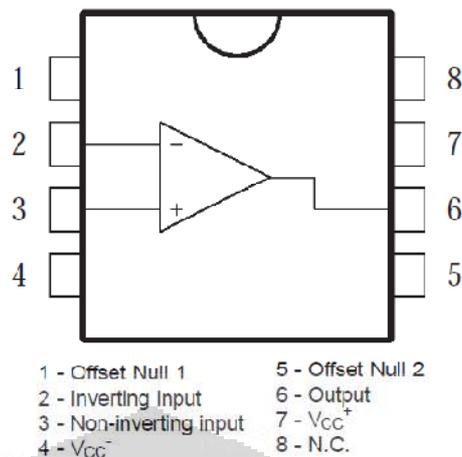


Gambar 3.11. Sketsa motor yang bergerak sepanjang sumbu-y dan tempat meletakkan sensor

3.1.6. Perancangan Operasional Amplifier

Penelitian ini membutuhkan sebuah penguat agar sinyal keluaran dari detektor yang bernilai sangat kecil dapat terbaca oleh mikrokontroler. Selain itu penguat operasional yang digunakan harus memiliki output yang sefase dengan inputnya, dimana input dari op-amp ini yaitu output dari sensor fotodiode memiliki fase yang bernilai positif. Dengan pertimbangan tersebut maka digunakan lah non-inverting amplifier untuk penelitian ini.

Selanjutnya penelitian ini memilih menggunakan LF356 yang mana didalamnya sudah terdapat sebuah operasional amplifier. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat seperti gambar di 3.12.



3.12. Skematik LF356 dan konfigurasi pin

Penelitian ini membutuhkan penguat sebesar 40. Untuk mengaturnya maka digunakan potensiometer dalam rangkaian operasional amplifier ini agar lebih mudah mengatur besar penguatan yang diinginkan. Potensiometer pertama yang bernilai lebih besar dihubungkan dengan kaki 2 dan kaki 6. Sementara potensiometer yang bernilai lebih kecil disambungkan dengan kaki 2.

3.2. Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak (software) memiliki peranan penting dalam system ini. Perangkat lunak digunakan sebagai media akses untuk perintah-perintah yang akan dilakukan oleh mikrokontroler. Untuk merealisasikan hal tersebut maka diperlukan sebuah bahasa pemrograman. Dan dalam sistem ini kita menggunakan BASCOM-AVR sebagai bahasa pemrograman.

BASCOM-AVR adalah program BASIC Compiler berbasis Windows untuk mikrokontroler keluarga AVR seperti ATmega, dan yang lainnya. BASCOM-AVR merupakan program dengan bahasa tingkat tinggi BASIC yang dikembangkan dan dikeluarkan oleh MCS Elektronika. Dalam program BASCOM, karakter dasarnya terdiri atas karakter alfabeta (A-Z dan az), karakter numerik (0-9), dan karakter special seperti (' * , + . ; \ < = > + % : / "). Setiap variabel dalam BASCOM memiliki tipe data yang menunjukkan daya tampungnya. Hal ini berhubungan dengan penggunaan memori mikrokontroler. Berikut ini adalah tipe data pada BASCOM berikut keterangannya :

Tabel 3.1 Tipe data BASCOM

Tipe Data	Ukuran (byte)	Range
Bit	1/8	-
Byte	1	0 – 255
Integer	2	-32,768 - +32,767
Word	2	0 – 65535
Long	4	-214783648 - +2147483647
Single	4	-
String	hingga 254 byte	-

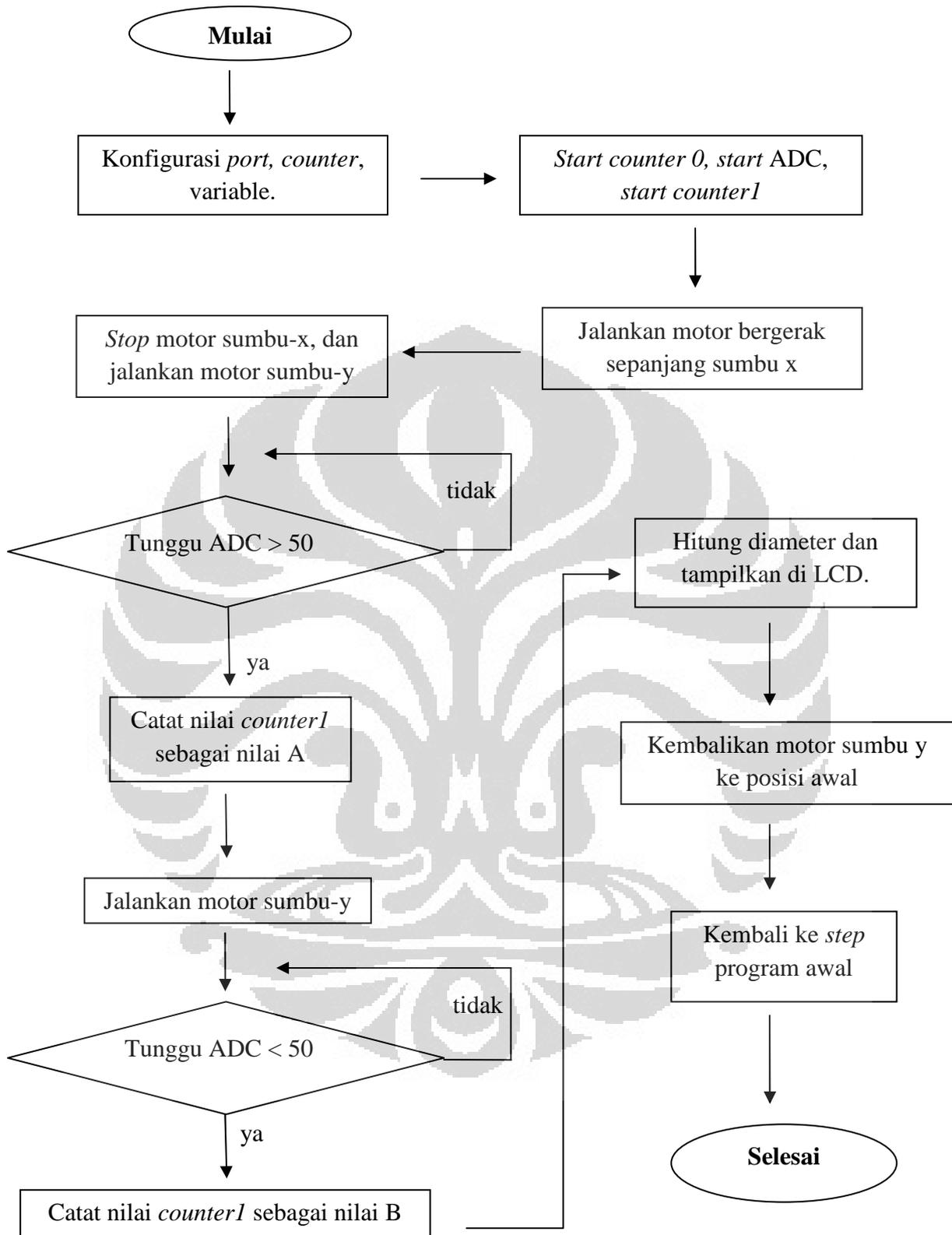
Dengan BASCOM ini maka akan dirancang sebuah program yang akan dieksekusi oleh mikrokontroler ATmega8535 untuk mendapatkan jarak diameter pola gelap cincin pertama yang dihasilkan oleh celah sempit. Ada dua program utama untuk sistem ini yaitu program pembacaan hasil intensitas cahaya dari sensor yang menggunakan ADC serta program untuk menggerakkan motor DC pada dua sumbu yaitu sumbu x dan y untuk menggeser posisi detektor. Kedua program tersebut digabungkan menjadi satu kesatuan sehingga akan didapat suatu pemrograman otomatis untuk mendeteksi lebar cincin gelap pertama pola difraksi sebuah celah sempit.

3.2.1 Alur Program

Alur program pada system detector pola difraksi ini memiliki beberapa *step* diantaranya adalah :

1. Konfigurasi port-port yang digunakan dan variable yang digunakan.
2. Konfigurasi pin LCD dan counter0 dan counter1
3. Konversi ADC 10 bit.
4. Jalankan motor sumbu-x.
5. Hitung perubahan posisi sensor dari counter dan tampilkan di LCD.
6. Matikan motor sumbu-x dan jalankan motor sumbu-y.
7. Start ADC.
8. Deteksi diameter cincin dan tampilkan di LCD.

Secara umum *flowchart* programnya adalah seperti gambar 3.13.



Gambar 3.13. Flowchart program detector pola difraksi.

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab 4 ini akan membahas mengenai beberapa pengujian, kalibrasi dan analisa pada sistem pengukuran yang telah dibuat. Pengujian dan kalibrasi ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan sistem yang akan dibuat serta memberikan bukti bahwa sistem yang telah dibuat ini sudah memenuhi standard yang digunakan dalam suatu sistem pengukuran internasional. Alat yang akan diuji adalah sistem ADC yang terdapat pada mikrokontroler, sistem *rotary encoder*, sensor cahaya fotodioda dan motor DC yang terpasang pada sistem guna mengukur perubahan posisi yang menjadi parameter dalam sistem pengukuran ini

4.1. Analisis Kalibrasi Data ADC

Percobaan dilakukan dengan melakukan kalibrasi ADC pada mikrokontroler ATMEGA 8535. Untuk mendapatkan fasilitas ADC (Analog to Digital Converter) pada mikrokontroler ATmega8535 ini maka kita dapat menggunakan PORT.A dari mikrokontroller ini. PORT.A ini memiliki 8 pin, dari 0 sampai 7, yang kesemuanya dapat digunakan sebagai input ADC.

Pada sistem ini kita menggunakan Port ADC.1 pada mikrokontroler sebagai input ADC. Port ADC.1 ini lalu dihubungkan pada sebuah pembagi tegangan potensiometer yang dihubungkan pada sumber tegangan 0 - 4.98 Volt. Kenaikan nilai tegangan yang diberikan pada input ADC akan menaikkan jumlah ADC yang dibaca oleh mikrokontroler. Hasil nilai ADC yang terbaca oleh mikrokontroller kemudian dikonversi menjadi nilai tegangan kembali untuk selanjutnya ditampilkan melalui LCD. Jadi LCD menampilkan nilai perubahan ADC serta nilai tegangan hasil konversi dari nilai ADC secara sekaligus pada waktu yang bersamaan. LCD yang digunakan pada sistem ini berukuran 16x2. Baris pertama dari LCD menampilkan nilai ADC yang terbaca mikrokontroller, sementara baris kedua menampilkan nilai tegangan hasil konversi. Selain dihubungkan pada mikrokontroler, output dari potensiometer juga dihubungkan ke Multimeter Digital. Hal itu dilakukan untuk membandingkan nilai tegangan hasil

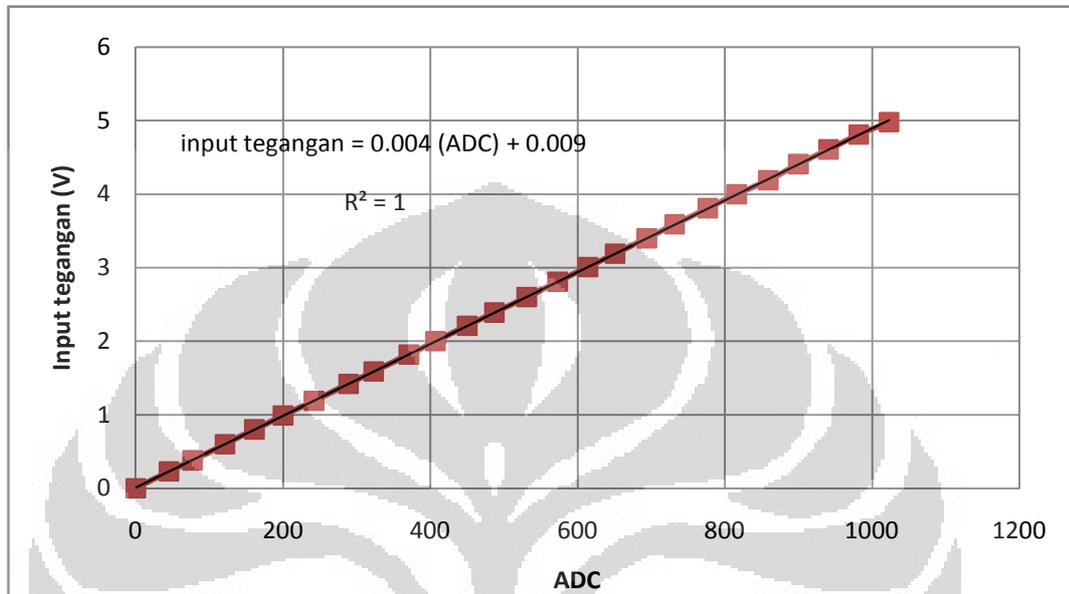
konversi ADC dengan nilai tegangan hasil pengukuran dengan Multimeter Digital. Hubungan antara tegangan dan ADC dapat dilihat pada table 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1. Hubungan antara tegangan dengan nilai ADC pada mikrokontroler.

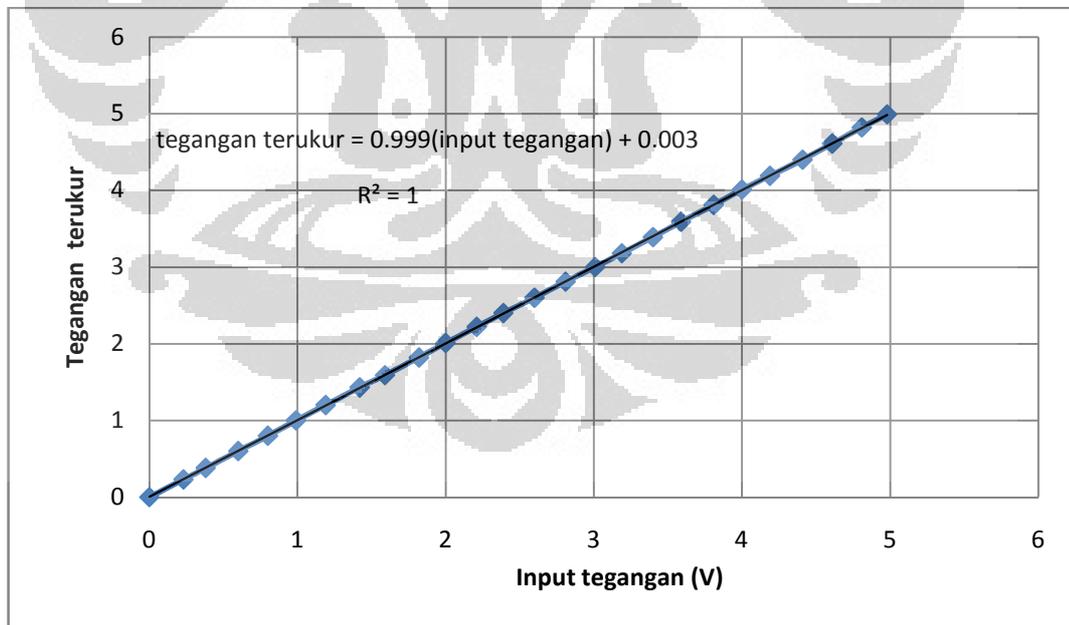
Input tegangan (V)	ADC	Tegangan terukur (V)
0	0	0
0.23	45	0.23
0.38	77	0.38
0.6	121	0.6
0.8	161	0.8
0.99	200	1
1.19	242	1.2
1.42	289	1.43
1.59	323	1.59
1.82	371	1.82
2	407	2.01
2.21	450	2.22
2.39	487	2.4
2.6	531	2.6
2.81	573	2.81
3.01	614	3
3.19	651	3.18
3.4	694	3.39
3.59	732	3.59
3.81	777	3.81
4	816	4.01
4.19	859	4.19
4.41	900	4.4
4.61	941	4.61
4.81	982	4.82
4.98	1023	4.99

Mikrokontroler ATmega8535 memiliki konfigurasi ADC 10 bit. Dengan demikian maka nilai ADC maksimal yang akan ditampilkan LCD adalah bernilai 2^{10} , atau sama dengan 1023. Ketepatan nilai ADC dari mikrokontroler sangat

penting pada penelitian ini sebab nilai ADC tersebut selanjutnya digunakan untuk merepresentasikan nilai-nilai intensitas cahaya yang terukur oleh detektor. Nilai-nilai ADC ini lah yang akan merepresentasikan intensitas cahaya dari pola cincin gelap terang yang terbentuk dari hasil fenomena difraksi.



Gambar 4.1. Grafik hubungan tegangan *input* dengan nilai ADC.



Gambar 4.2 Grafik perbandingan tegangan input dengan tegangan yang terukur.

Dari data ADC yang didapatkan dari proses kalibrasi tersebut, dapat terlihat pada grafik bahwa hubungan antara tegangan dan ADC adalah linier. Hal

ini menunjukkan bahwa ADC yang terdapat pada mikrokontroler ATmega8535 masih berfungsi dengan baik untuk mengukur beda potensial dari sensor yang akan digunakan.

4.2. Analisis Data Kalibrasi Putaran Motor DC

Percobaan kalibrasi putaran motor DC pada penelitian ini dilakukan dua kali, yaitu untuk motor yang bergerak pada sumbu-x dan motor yang bergerak pada sumbu-y. Percobaan ini dilakukan dengan memutar rotor motor DC secara manual dengan tangan hingga bergerak pada jarak tertentu sambil diamati jumlah counter yang dihasilkan *rotary encoder*. *Rotary encoder* sudah terhubung dengan sistem mikrokontroler untuk menghitung jumlah counter yang dihasilkannya. Sistem mikrokontroler ini akan menampilkan nilai perubahan posisi yang dihasilkan oleh putaran motor DC tersebut secara digital pada LCD. Sebagai titik acuan perubahan posisi digunakan sensor yang sudah terpasang pada besi ulir yang juga terhubung dengan motor DC.

Percobaan kalibrasi ini dimaksudkan untuk mengetahui berapa jumlah counter yang dihasilkan oleh *rotary encoder* untuk menggerakkan sensor sampai jarak tertentu. Hal tersebut dipengaruhi dua hal yaitu jumlah pulsa yang dibutuhkan motor untuk melakukan satu putaran dan ukuran serta bentuk besi ulir yang digunakan. Dari *datasheet* motor DC yang digunakan untuk percobaan ini diketahui bahwa motor DC yang digunakan pada percobaan ini membutuhkan 116 pulsa untuk melakukan satu putaran.

Tabel 4.2. Keterangan *motor* DC yang digunakan.

Tegangan Input	5 – 12 Volt
Arus	55 – 60 mA
Putaran	116 / putaran

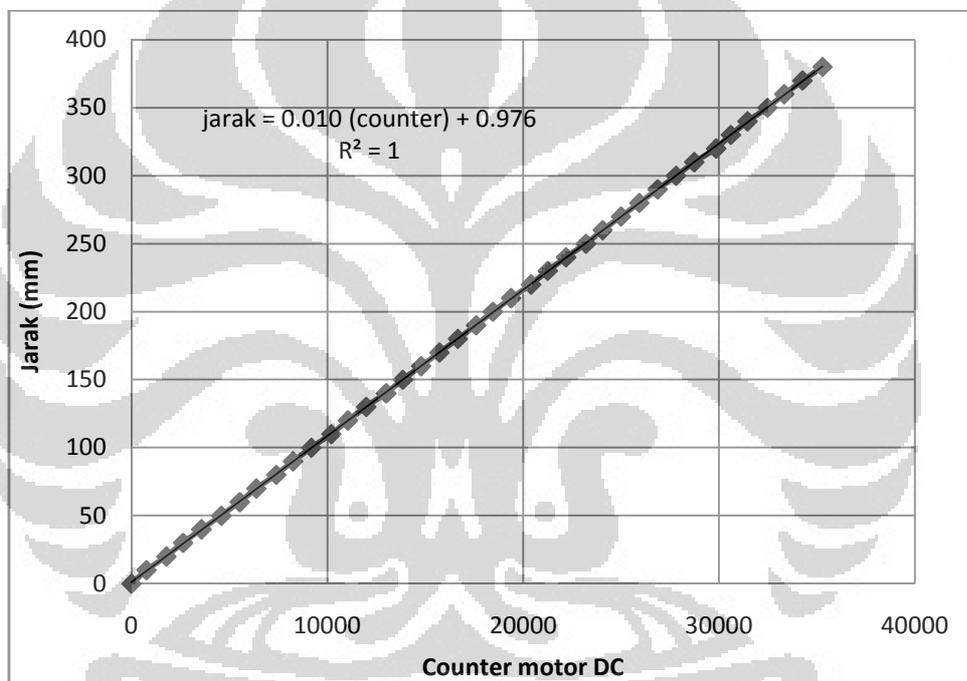
Untuk mengkalibrasi motor DC ini digunakan bantuan penggaris untuk mengamati besar perpindahan sensor yang dihasilkan motor DC. Selanjutnya kita tinggal membandingkan besar perubahan yang ditampilkan LCD secara digital dengan hasil pengukuran dengan menggunakan bantuan penggaris. Lalu untuk mengetahui hubungan antara putaran motor dengan perpindahan sensor, maka

dilakukan kalibrasi yang datanya dapat dilihat pada tabel 4.3 untuk motor DC yang bergerak pada sumbu-x dan tabel 4.4 untuk motor DC yang bergerak pada sumbu-y di bawah ini.

Tabel 4.3. Hubungan perpindahan dengan putaran motor dc untuk sumbu-x.

jarak (mm)	counter	jarak terukur (mm)
0	0	0
10	765	10.1
20	1785	19.8
30	2635	29.9
40	3570	39.5
50	4590	49.5
60	5525	59.7
70	6375	69.9
80	7395	79.8
90	8245	89.5
100	9180	99.5
110	10200	109.5
120	11050	119.6
130	11985	129.6
140	13005	139.5
150	13855	149.6
160	14790	159.4
170	15725	169.5
180	16660	179.5
190	17595	189.6
200	18445	199.7
210	19380	209.8
220	20400	220
230	21250	230
240	22185	240
250	23205	249.9
260	24055	259.9
270	24990	269.9
280	25925	280.1

290	26860	290.2
300	27795	299.9
310	28730	310.1
320	29845	320
330	30600	329.8
340	31450	339.8
350	32470	349.9
360	33320	360
370	34255	369.9
380	35275	379.9



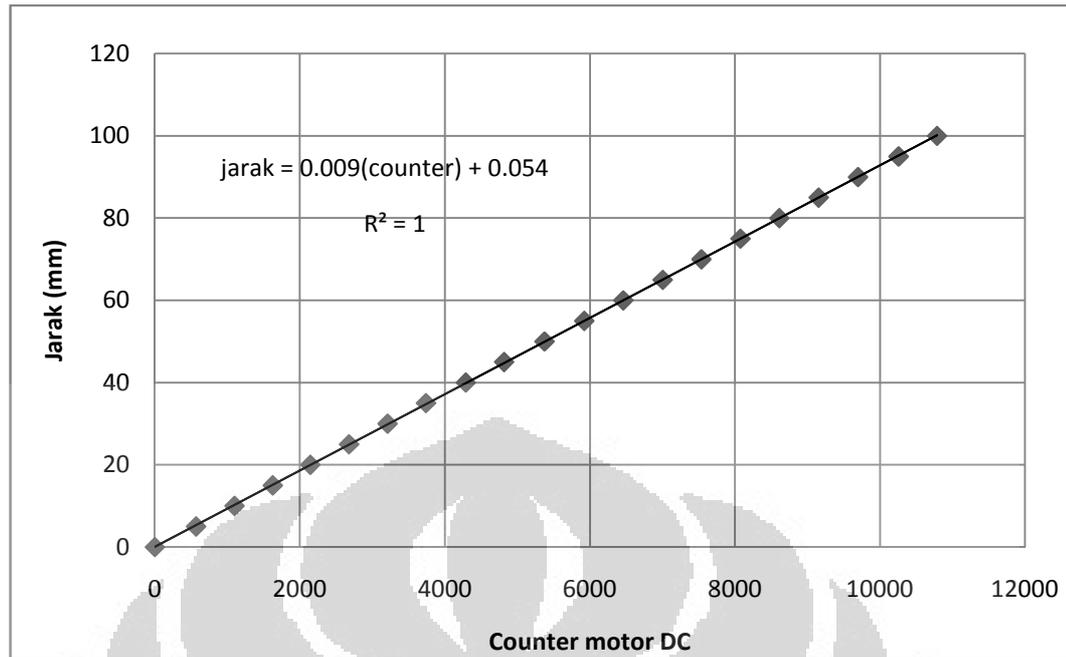
Gambar 4.3. Grafik hubungan jarak dengan counter motor DC sumbu-x

Bila dikalkulasi lebih lanjut maka didapatkan bahwa untuk melakukan perpindahan sebesar 1 milimeter pada sumbu-x ini sama dengan perubahan nilai *rotary encoder* motor DC sebesar 93. Persamaan yang didapat dari gambar 4.3 akan digunakan untuk mengkonversi nilai yang dihasilkan *rotary encoder* dari motor sumbu-x menjadi satuan jarak.

Tabel 4.4. Hubungan perpindahan dengan putaran motor dc untuk sumbu-y.

jarak (mm)	counter	jarak terukur (mm)
0	0	0
5	567	5
10	1098	10.1
15	1625	15.1
20	2143	20.1
25	2678	25.1
30	3210	30.1
35	3739	35.2
40	4287	40.2
45	4817	45.5
50	5374	50.6
55	5922	55.6
60	6460	60.7
65	7004	65.8
70	7538	70.8
75	8076	75.8
80	8613	80.8
85	9155	85.8
90	9698	90.8
95	10257	95.8
100	10787	100.8

Bila dikalkulasi lebih lanjut maka didapatkan bahwa untuk melakukan perpindahan sebesar 1 milimeter pada sumbu-y ini sama dengan perubahan nilai rotary encoder motor DC sebesar 108. Persamaan yang didapat dari gambar 4.4 akan digunakan untuk mengkonversi nilai yang dihasilkan *rotary encoder* dari motor sumbu-y menjadi satuan jarak.



Gambar 4.4. Grafik hubungan jarak dengan counter motor DC sumbu-y

4.3. Analisis Kalibrasi Sensor Cahaya Fotodioda

Proses kalibrasi untuk sensor fotodioda pada sistem ini terbilang cukup sederhana. Hal tersebut dikarenakan pada sistem ini fotodioda tersebut hanya difungsikan untuk mendeteksi dua keadaan yang sangat jauh berbeda yaitu kondisi gelap dan terang. Namun karena intensitas cahaya akan semakin rendah dengan semakin jauhnya jarak antara celah dengan sensor, maka dibutuhkan rangkaian penguat amplifier untuk memperkuat sinyal keluaran dari fotodioda. Pada saat fotodioda berada dalam keadaan gelap total dimana tidak ada cahaya sama sekali yang terdeteksi olehnya, output fotodioda didapati memiliki nilai ADC sebesar 0. Hal tersebut menunjukkan sensor yang digunakan pada penelitian ini tidak memiliki nilai offset. Lalu dari hasil pengkalibrasian pola gelap terang pada penelitian ini didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 4.5. Asosiasi nilai ADC untuk kondisi gelap dan terang

Kondisi	Nilai ADC
Gelap	0 - 50
Terang	> 50

Data tersebut menunjukkan bahwa pada saat fotodioda mendeteksi pola gelap didapati memiliki nilai ADC sebesar 0 hingga 50. Hal tersebut dapat terjadi

disebabkan karena pola gelap yang tercipta tidak benar-benar dalam kondisi gelap mutlak atau dengan kata lain masih ada sedikit pengaruh intensitas cahaya dari luar. Sedangkan untuk kondisi terang dimana fotodiode mendeteksi intensitas cahaya dari laser didapati memiliki nilai ADC di atas 50 hingga 1023. Hal tersebut membuat nilai 50 dijadikan batas untuk menentukan batas pola gelap dan terang yang terjadi dari pola difraksi yang dihasilkan pada penelitian ini.

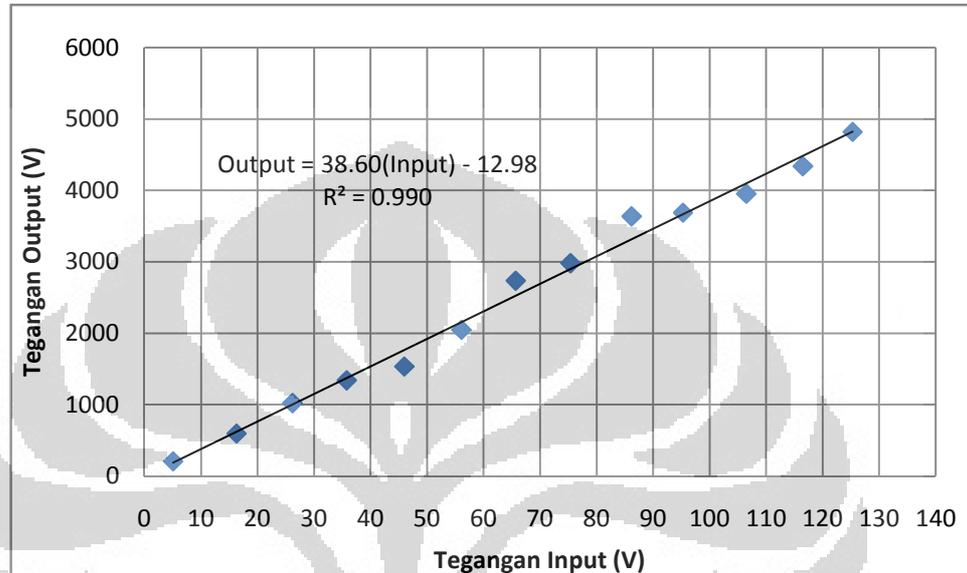
4.4. Analisis Kalibrasi Operasional Amplifier

Pada penelitian ini digunakan operasional amplifier dengan jenis non-inverting. Alasan mengapa operasional ini yang dipilih adalah karena sinyal output dari sensor yang mana merupakan sinyal masukan untuk operasional amplifier ini memiliki fase positif. Dan apabila penelitian ini menggunakan inverting amplifier maka output dari op-amp ini akan memiliki fase negatif tidak seperti output dari non-inverting amplifier. Hal lain yang menjadi pertimbangan mengapa non-inverting amplifier yang dipilih adalah karena ADC dari mikrokontroler ATmega8535 hanya dapat menerima output yang bernilai positif. Penelitian ini membutuhkan operasional amplifier dengan penguatan sebesar kira-kira 40. Dari data kalibrasi yang diperoleh didapatkan hasil seperti di bawah ini.

Tabel 4.6 Perbandingan input dan output op-amp

V input (mV)	V output (mV)	Gain
5.1	205	40.20
16.3	593	36.38
26.2	1021	38.97
35.8	1339	37.40
46	1532	33.30
56.1	2048	36.51
65.7	2735	41.63
75.4	2981	39.54
86.2	3637	42.19
95.3	3688	38.70
106.5	3954	37.13
116.5	4340	37.25
125.3	4820	38.47
Gain rata-rata		38.28

Dari data yang diperoleh dapat dilihat ternyata besar penguatan rata-rata yang didapat dari operasional amplifier ini hanya sebesar 38,28. Namun dengan penguatan sebesar ini sudah cukup untuk memperkuat sinyal dari sensor cahaya agar dapat terbaca oleh mikrokontroler. Untuk perbandingan nilai input dan output dari rangkaian penguat ini dapat dilihat pada grafik 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan input dan output Op-Amp

4.5. Pengukuran Diameter Cincin Pola Difraksi Untuk Menentukan Diameter Celah Berbasis Mikrokontroler

Sistem ini menempatkan posisi awal detektor pada jarak 200 mm dari celah. Kemudian detektor akan bergerak mundur sejauh kira-kira 10 mm untuk tiap variasi pengambilan data. Pada tiap variasi jarak celah ke detektor tersebut dilakukan pengambilan data sebanyak tiga kali. Detektor melakukan pengambilan data dengan pedoman bahwa mikrokontroler akan mencatat counter yang dihasilkan motor DC yang bergerak sepanjang sumbu-y pada saat detektor menangkap cahaya. Atau dengan kata lain mikrokontroler akan mulai mencatat nilai counter dari motor DC apabila ADC yang terbaca oleh mikrokontroler tersebut sudah melewati batas yang ditentukan pada *script* program BASCOM yang dibuat pada penelitian ini.

Selanjutnya nilai counter tersebut langsung diubah menjadi satuan jarak oleh mikrokontroler dan ditampilkan pada LCD. Pengambilan data pada

penelitian ini dilakukan sampai pada jarak 325,9 mm dari celah. Hal tersebut dilakukan sebab setelah melewati jarak tersebut detektor sudah tidak dapat membedakan antara kondisi batas gelap dan terang dari cincin hasil difraksi.

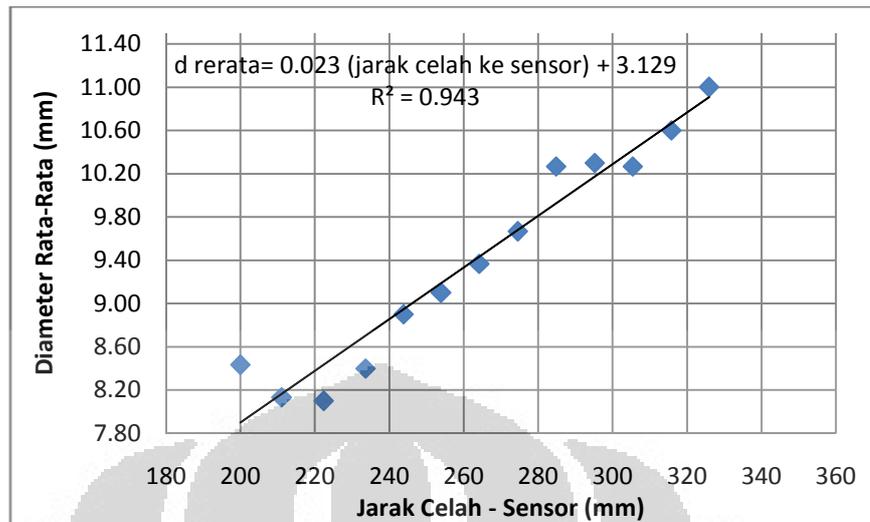
Penelitian ini menggunakan fotodiode sebagai detektor. Fotodiode yang terkena berkas cahaya akan mengubah intensitas cahaya tersebut menjadi besaran tegangan. Perubahan tegangan pada sensor menandakan perubahan tingkat intensitas cahaya yang diterimanya.

Nilai tegangan yang dihasilkan oleh fotodiode tergolong sangat kecil sehingga dibutuhkan amplifiser untuk meperkuat sinyal tersebut agar dapat terbaca oleh sistem ADC pada mikrokontroler. Penelitian ini menggunakan penguat operasional non-inverting. Sistem ini berhasil mengukur diameter dari pola gelap pertama yang dihasilkan oleh fenomena difraksi dari sebuah celah sirkular. Hasil pengukuran dari sistem ini dapat dilihat pada Tabel 4.4. di bawah ini.

Tabel 4.7. Hasil pengukuran diameter cincin gelap pertama

jarak celah - sensor (mm)	perpindahan (mm)	diameter cincin pusat (mm)			d rata-rata (mm)
		1	2	3	
200	0	8.3	8.7	8.3	8.43
211.1	11.1	8.3	8	8.1	8.13
222.4	11.3	8.1	7.9	8.3	8.10
233.6	11.2	8.2	8.5	8.5	8.40
243.8	10.2	8.8	8.8	9.1	8.90
253.9	10.1	9.2	9	9.1	9.10
264.2	10.3	9.4	9.1	9.6	9.37
274.5	10.3	9.3	10.1	9.6	9.67
284.8	10.3	10.4	10.2	10.2	10.27
295.2	10.4	10.4	10.3	10.2	10.30
305.4	10.2	10.2	10.4	10.2	10.27
315.8	10.4	10.5	10.5	10.8	10.60
325.9	10.1	11	10.6	11.4	11.00

Dari tabel dapat dilihat bahwa secara umum diameter dari cincin akan semakin membesar bila jarak antara celah dengan detektor semakin besar. Atau dengan kata lain jarak celah ke detektor berbanding lurus dengan diameter dari cincin hasil difraksi celah sirkular tersebut. Untuk lebih jelasnya hubungan tersebut dapat dilihat pada grafik 4.4. di bawah ini.



Gambar 4.6 Grafik hubungan jarak celah ke sensor dengan diameter cincin gelap

Selanjutnya dari data yang didapat tersebut perlu diolah lagi untuk mendapatkan diameter lebar celah sirkular yang menjadi tujuan dalam penelitian ini. Berdasarkan perumusan diketahui bahwa $D \sin \theta = n \lambda$ dimana $\sin \theta$ dapat dianggap sama dengan jarak celah ke detektor dibagi dengan jari-jari cincin yang dihasilkan. $D \sin \theta = n \lambda$, $\sin \theta \cong \tan \theta = \frac{r}{x}$, untuk pola gelap pertama maka $n = 1,22$. Maka $D \frac{r}{x} = 1,22 \lambda$ atau $D = \frac{x \cdot 1,22 \lambda}{r}$ dengan r adalah jari-jari cincin, x adalah jarak celah ke detektor dan D adalah diameter celah sirkular yang digunakan. Sedangkan untuk nilai λ , karena sumber cahaya yang digunakan pada penelitian ini adalah laser hijau maka panjang gelombang sumber cahaya pada penelitian ini adalah sebesar 532 nm.

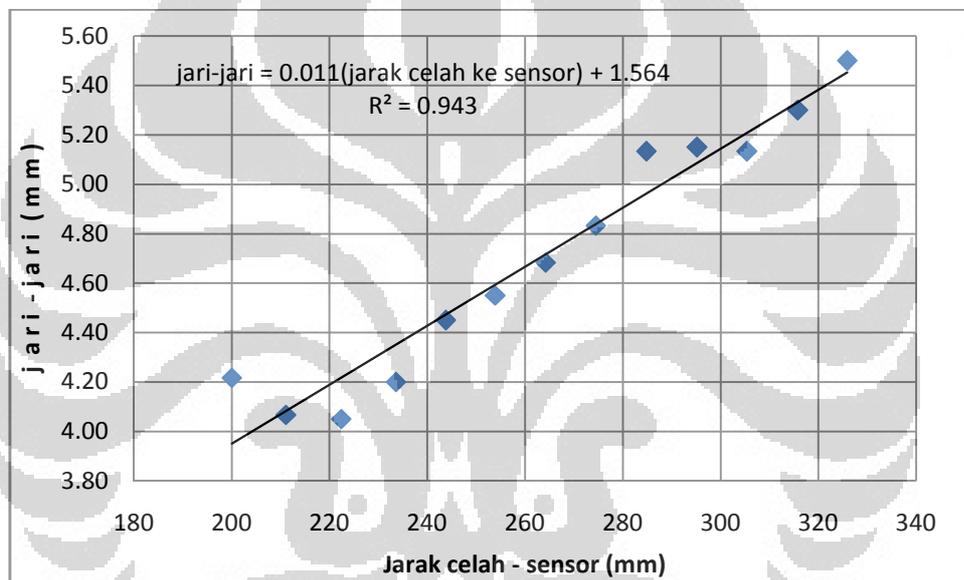
Untuk mengolah data yang didapatkan ini serta mencari kesalahan relatif dari system ini maka digunakan metode *least square* untuk mengolahnya. Pada metode ini akan mengikuti persamaan garis linier $y = mx + a$ dimana r akan digunakan sebagai y dan X yang merupakan jarak antara celah dengan sensor sebagai x . Sedangkan $\frac{n\lambda}{D}$ digunakan sebagai m (gradien) atau kemiringan. Jadi nanti akan didapatkan nilai D adalah $\frac{n\lambda}{m}$ atau sama dengan 1,22 dikali panjang gelombang yang digunakan dibagi dengan nilai gradien dari grafik yang dihasilkan nanti.

$$r = \frac{n\lambda}{D} \cdot X$$

$$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$$

$$y = m \quad x + a$$

Karena pada proses pengambilan data yang didapat adalah diameter dari cincin sedangkan yang dibutuhkan adalah jari-jari maka sebelumnya perlu membagi nilai-nilai diameter tersebut sehingga didapatkan nilai jari-jari dari cincin yang dibutuhkan.



Gambar 4.7. Grafik hubungan X (jarak celah-sensor) dengan r (jari-jari cincin gelap pertama)

Dari grafik diatas didapatkan bahwa nilai m atau gradien dari persamaan garis hasil pengolahan data dengan metode *least square* adalah sebesar 0,011. Dengan begitu maka nilai diameter dari celah sirkular adalah:

$$D = \frac{n\lambda}{m} = \frac{1,22 \cdot (532 \times 10^{-6})}{0,011} = 0,059 \text{ mm}$$

Dari hasil pengolahan data dengan menggunakan metode *least square* didapatkan juga nilai kesalahan relatif pada penelitian ini. Besar kesalahan relatif pada penelitian ini adalah 0,9 %. Dengan begitu penelitian ini mendapatkan ukuran diameter dari celah sirkular yang digunakan adalah sebesar:

$$D = 0,059 \pm 0.00053 \text{ mm}$$

Dari literatur diketahui bahwa diameter celah sirkular yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 50 mikron atau sama dengan 0,050 mm. Selanjutnya kita dapat menghitung besar nilai kesalahan literatur dari system ini yaitu sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Kesalahan Literatur} &= \left| \frac{0,059 - 0,050}{0,050} \right| \times 100\% \\ &= 18 \% \end{aligned}$$

Kesalahan sebesar ini dapat terjadi disebabkan oleh banyak aspek misalnya diantaranya adalah tidak konstannya intensitas dari sumber cahaya yang digunakan. Penelitian ini menggunakan laser hijau sebagai sumber cahaya. Laser ini menggunakan tenaga baterai sebagai sumber tegangannya. Hal tersebut menyebabkan intensitas yang dihasilkannya tidak konstan secara kontinyu melainkan cenderung menurun apabila tenaga baterai sudah mulai melemah. Selain itu faktor kesalahan paralaks pada saat proses pengkalibrasian juga dapat menjadi aspek penyebab kesalahan yang terjadi pada penelitian ini.

Fluktuatifnya nilai ADC yang terbaca oleh mikrokontroler juga dapat menyebabkan terjadinya kesalahan pada penelitian ini. Penempatan antara sumber cahaya, celah dan juga detektor harus benar-benar terletak pada satu garis yang lurus dan juga pada sumbu utama karena jika tidak terletak pada satu garis maka sangat mungkin untuk terjadi kesalahan pada saat proses pengukuran diameter cincin. Sensor harus benar-benar terletak pada titik diameter dari pola cincin yang tercipta. Selain itu, sensor yang digunakan juga harus mempunyai tingkat sensitifitas dan kelinearitasan yang tinggi untuk mendapatkan hasil dengan nilai error yang kecil.

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Fasilitas ADC (Analog to Digital Converter) 10 bit yang tersedia pada mikrokontroler ATmega8535 berfungsi dengan baik dengan range tegangan 0 hingga 4,98 V.
2. Perpindahan sebesar 1 milimeter pada sumbu-x sama dengan perubahan nilai rotary encoder motor DC yang bergerak pada sumbu tersebut sebesar 93. Sedangkan perpindahan sebesar 1 milimeter pada sumbu-y sama dengan perubahan nilai rotary encoder motor DC yang bergerak pada sumbu tersebut sebesar 108.
3. Bentuk besi ulir yang digunakan dapat mempengaruhi hubungan antara jarak dan counter dari motor DC.
4. Pola cincin gelap terang yang diasosiasikan dengan perbedaan nilai ADC, dimana pada kondisi gelap ADC memiliki nilai di bawah 50 dan nilai ADC diatas 50 untuk kondisi terang, dapat terdeteksi dengan baik pada rentang jarak 200 hingga 325,9 mm dari celah.
5. Semakin jauh jarak celah dengan detector maka semakin besar diameter cincin yang dihasilkan.

5.2. Saran

1. Studi lebih lanjut diperlukan agar alat yang dirancang dapat mendeteksi tidak hanya cincin utama namun juga cincin-cincin terluar.
2. Menggunakan sensor yang lebih peka terhadap intensitas cahaya yang sangat kecil.
3. Menggunakan penguat operasional yang lebih stabil.
4. Menggunakan mikrokontroler dengan resolusi ADC yang lebih besar.
5. Mendesain alat agar lebih kecil lagi dan dapat dipindahkan kemana saja (portable).

DAFTAR ACUAN

- (1) Aby Saroyo, Ganijanti. (1981). Gelombang dan Optik. Jakarta: Jurusan Fisika Universitas Indonesia.
- (2) Jenkins, Francis A., & White, Harvey E. *Fundamental of Optics*. 1981. New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- (3) Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2010). *Fundamentals of Physics Extended*. New York: John Willey & Sons.
- (4) Barret, S. F., & Pack, D. J. (2008). *Atmel AVR Microcontroller Primer: Programming and Interfacing*. Laramie and Colorado: Morgan & Claypool Publisher.
- (5) Zuhail, Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. Jakarta: Gramedia, 1988
- (6) <http://aplikasi-difraksi-Fraunhofer-blog.html> (23 februari 2012 pukul 18:00)
- (7) http://artikel_detail/difraksi-35400.html (23 februari 2012 pukul 18:00)
- (8) http://Difraksi_Cahaya_Fisika_Memang_Asyik.html (23 februari 2012 pukul 18:00)
- (9) <http://www.scribd.com/doc/95731167/Difraksi-celah-dan-grid-ganda.html> (10 Juni 2012, pukul 14.44).
- (10) <http://konversi.wordpress.com/2008/09/01/motor-arus-searah-dc-bagaimana-bekerjanya/> (23 februari 2012 pukul 18:00)
- (11) <http://duniaelektronika.blogspot.com/2008/04/mesin-arus-searah.html> (23 februari 2012 pukul 18:00)
- (12) <http://digilib.petra.ac.id> [8 Maret 2012]
- (13) <http://belajar-elektronika.com> [8 Maret 2012]
- (14) <http://tokorobot.com/rotary-encoder.html> [9 maret 2012]
- (15) <http://npx21.blog.uns.ac.id/2010/07/17/atmega8535/> [9 Maret 2012]
- (16) http://www.hvwtech.com/products_view.asp?ProductID=343 (8 Mei 2012, pukul 13.48 WIB)
- (17) <http://elektro-kontrol.blogspot.com> (8 Mei 2012. Pukul 13.46 WIB.)

- (18) <http://fahmizaleeits.wordpress.com> (8 Mei 2012, pukul 13.42 WIB.)
- (19) <http://www.atmel.com/atmel/acrobat/doc2502.pdf>
- (20) <http://all-thewin.blogspot.com/2011/02/mengukur-kecepatan-dengan-rotary.html> (7 Mei 2012, pukul 12.49 WIB).
- (21) lab.binus.ac.id/pk/fileforum/sensortranduser.doc (8 Mei 2012, pukul 14.20 WIB).
- (22) http://punyanurfitriani.blogspot.com/2010/09/led-dan-fotodioda_133.html (12 Mei 2012, pukul 13.09)

