



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ALAT UKUR PANJANG GELOMBANG CAHAYA TAMPAK  
DENGAN METODE KISI DIFRAKSI**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Science**

**NUR ILHAM ISKANDAR**

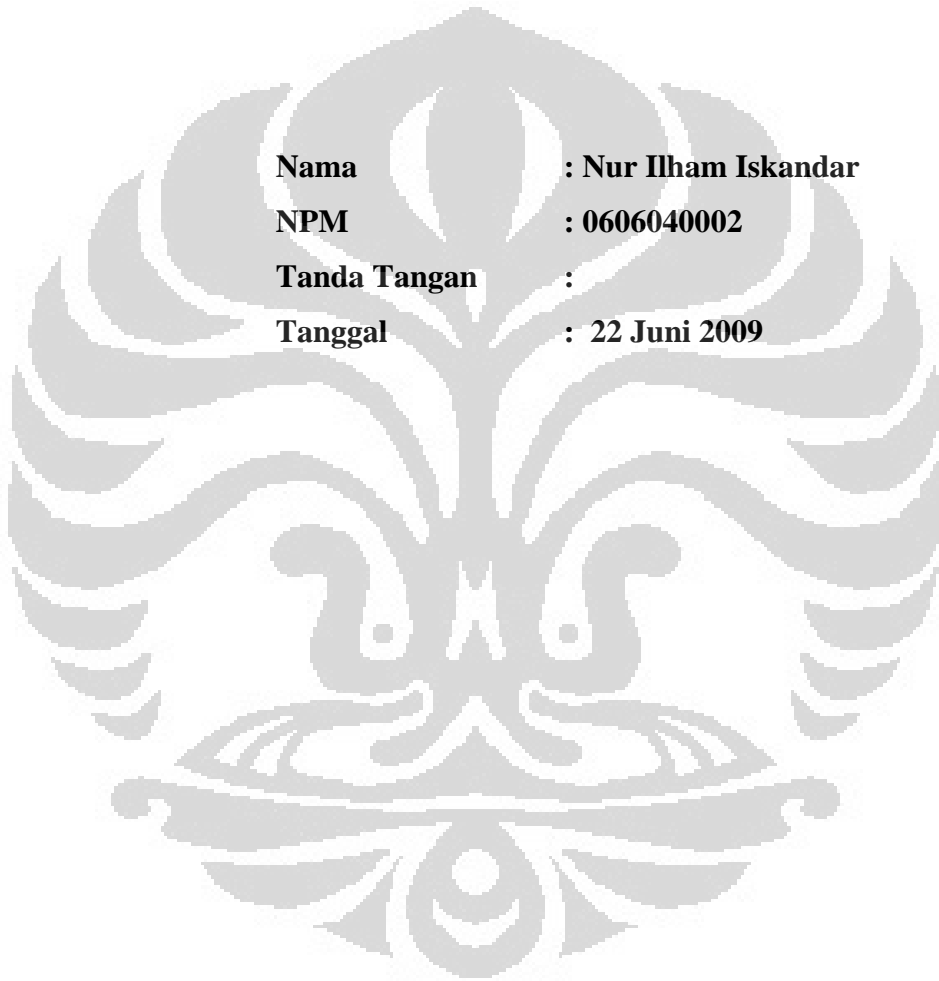
**0606040002**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI FISIKA  
KEKHUSUSAN INSTRUMENTASI  
DEPOK  
MEI 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Nur Ilham Iskandar**  
**NPM : 0606040002**  
**Tanda Tangan :**  
**Tanggal : 22 Juni 2009**



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Nur Ilham Iskandar  
NPM : 0606040002  
Program Studi : Fisika  
Judul Skripsi : Alat Ukur Panjang Gelombang Cahaya Tampak  
dengan Metode Kisi Difraksi

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Prawito ( )  
Penguji : Dr. rer. nat. Martarizal ( )  
Penguji : Lingga Hermanto, MSi ( )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal Juni 2009

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada ALLAH SWT, 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 Jurusan Instrumentasi Pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai 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:

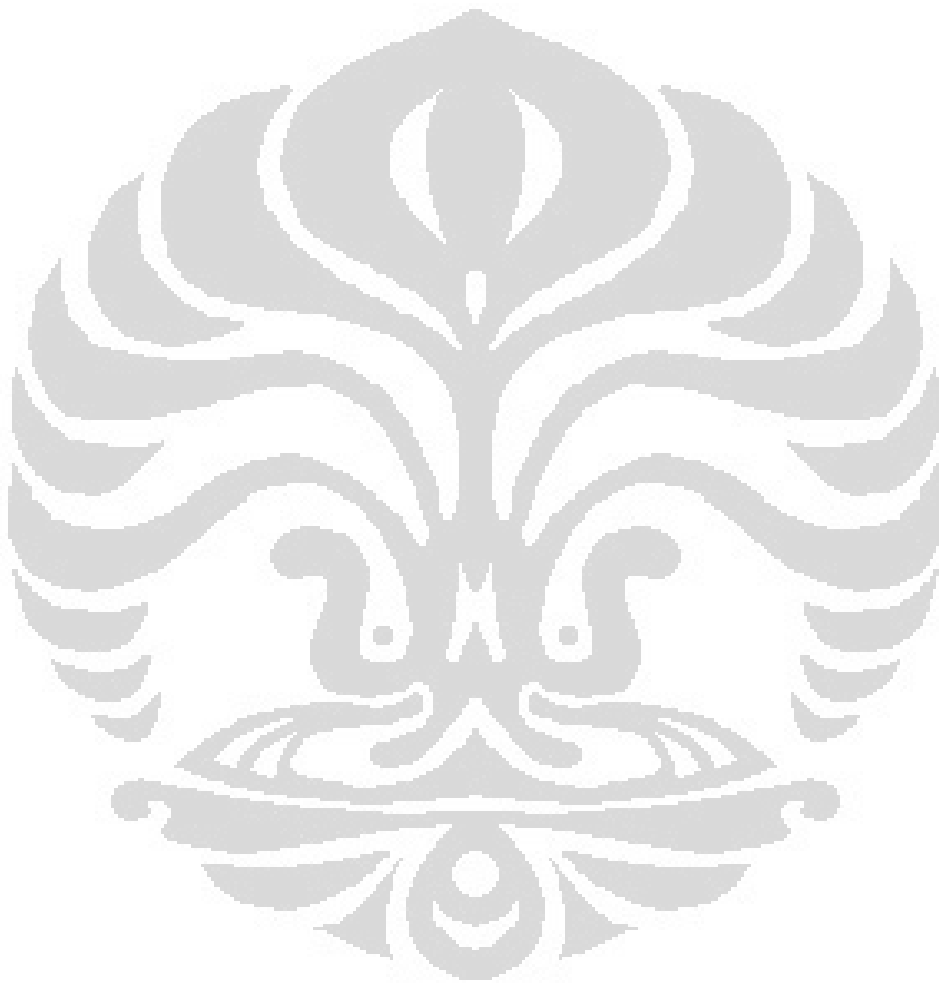
1. Nabi Muhammad SAW.
2. Dr. Prawito selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membantu proses pengerjaan skripsi ini.
3. Kedua orang tuaku, Drs. Iskandar Ali dan Hj. Debora Sarira yang telah banyak mendoakan dan memberi dukungan moril dan materi.
4. Kakakku Surya Perdana, SH dan Silva serta adikku-adikku, Raja Inal Ali dan Etika Eka Nur Putri, yang telah banyak memberikan semangat pada saat penyusunan skripsi.
5. Seluruh rekan-rekan alumni IPB angkatan 40 yang telah banyak membantu.
6. Rekan-rekan ekstensi fisika 06 atas kebersamaan yang selama ini tercipta, dan bantuan-bantuan yang telah diberikan kepada penulis.
7. Rekan-rekan "PONDOKAN ETA dan LALITA" yang telah banyak di sibukkan oleh penulis.
8. Serta semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, saya ucapkan terimakasih.

Mohon maaf jika dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan-kekurangan yang harus diperbaiki. Akhir kata, saya berharap ALLAH SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam

proses pengerjaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu khususnya dalam bidang fisika.

Depok , 5 Mei 2009

(Penulis)



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

---

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

Nama : Nur Ilham Iskandar  
NPM : 0606040002  
Program Studi : Fisika  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis karya : Skripsi

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

**ALAT UKUR PANJANG GELOMBANG CAHAYA TAMPAK DENGAN  
METODE KISI DIFRAKSI**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 21 Juni 2009

Yang menyatakan

(Nur Ilham Iskandar)

## ABSTRAK

Nama : Nur Ilham Iskandar

Program Studi : Fisika

Judul : Alat Ukur Panjang Gelombang Cahaya Tampak dengan Metode Kisi Difraksi

Skripsi ini membahas tentang alat untuk mengukur panjang gelombang cahaya tampak dengan metode kisi difraksi. Alat ini bekerja dengan cara membaca warna yang dihasilkan oleh cahaya yang telah melewati kisi. Warna yang dibaca digunakan untuk menentukan orde dari warna. Pengukuran panjang gelombang dilakukan dengan mengukur jarak kisi dengan sensor, kemudian jarak titik nol dengan orde warna yang dideteksi oleh sensor. Data yang didapatkan akan diolah oleh mikrokontroler dan langsung ditampilkan ke LCD.

Kata kunci

Kisi Difraksi, Mikrokontroler, Panjang Gelombang Cahaya

## ABSTARCT

Name : Nur Ilham Iskandar

Study Program: Physics

Title : Light Wavelength Measurement System Based on  
GratingDiffraction

This paper discusses about tool to measure Light Wavelength Based on Grating Diffraction. This tool is working by read the colour that already passes grating. Each color can determine colour orde. Wavelength measurement is done with measure grille distance with censor, then zero point distance with colour orde that detected by censor. Data that is gotten will calculate by microcontroller and will display direct to LCD.

Key word:

Diffraction Grating, Microcontroller, Light Wavelenght



## DAFTAR ISI

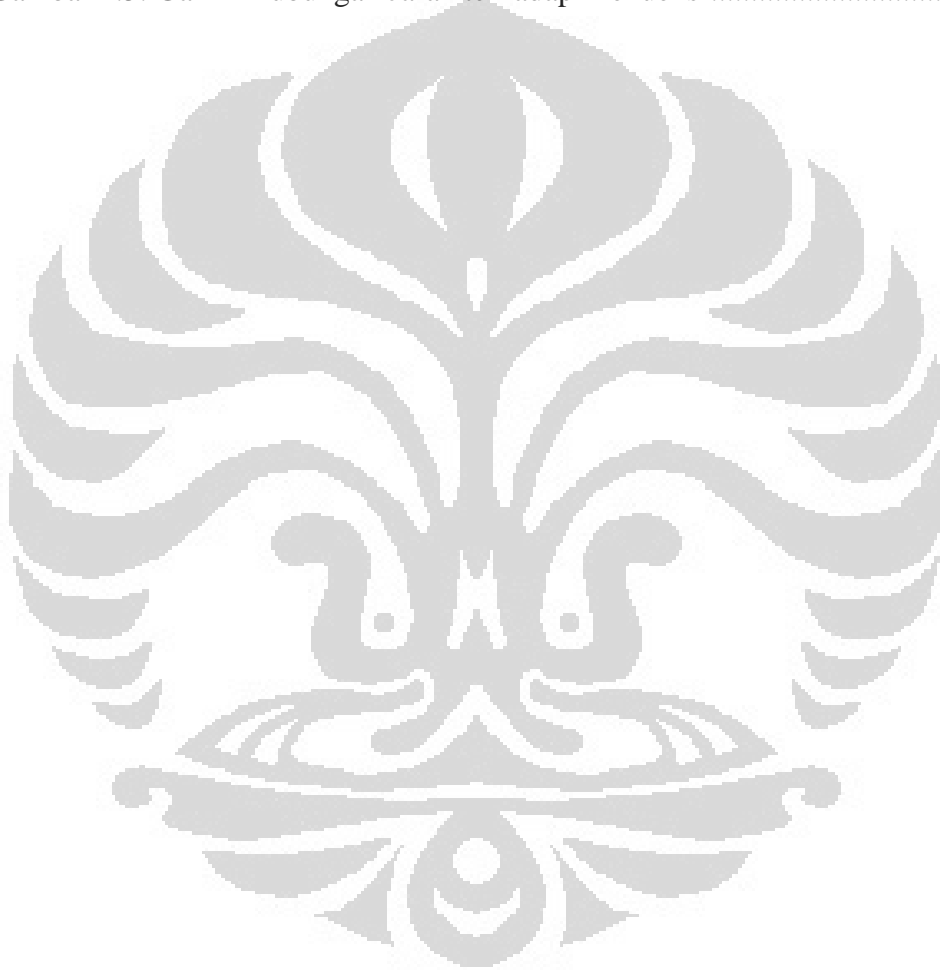
	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
<b>1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	1
1.4 Deskripsi Singkat .....	2
1.5 Metode Penulisan .....	3
<b>2. TEORI DASAR.....</b>	<b>4</b>
2.1 Cahaya.....	4
2.1.1 Warna dan Panjang Gelombang.....	4
2.2 Difraksi.....	5
2.3 Kisi Difraksi .....	7
2.3.1 Pola Distribusi Cahaya.....	7
2.4 Sensor TCS230.....	9
2.5 LED Luxeon .....	10
2.6 Motor DC .....	11
2.6.1 Prinsip Kerja Motor DC .....	11
2.6.2 Membalik Arah Putaran Motor DC.....	13

2.6.3 Cara Mempercepat Putaran Motor DC.....	14
2.7 <i>Incremental Encoder</i> .....	15
2.8 Mikrokontroler AVR ATMEGA 8535.....	17
<b>3. PERANCANGAN DAN CARA KERJA SISTEM .....</b>	<b>19</b>
3.1 Blok Diagram .....	19
3.2 Konstruksi Mekanik .....	20
3.3 Perancangan Hardware.....	22
3.3.1 Perancangan Rangkaian Sensor Warna TCS230 .....	22
3.3.2 Perancangan AVR ATMEGA 8535 .....	24
3.3.3 Perancangan Rangkaian Driver Motor .....	26
3.4 Perancangan Software .....	30
<b>4. HASIL PERCOBAAN DAN ANALISA .....</b>	<b>35</b>
4.1 Pengujian Perpindahan.....	35
4.2 Pengujian Sensor .....	39
4.3 Pengujian Sistem .....	44
<b>5. ANALISA DAN KESIMPULAN.....</b>	<b>50</b>
5.1 Analisa .....	50
5.1.1 Analisa Mekanik .....	50
5.1.2 Analisa Data .....	50
5.2 Kesimpulan .....	51
5.3 Saran .....	52
<b>DAFTAR ACUAN.....</b>	<b>53</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Skematik Kisi Difraksi .....	2
Gambar 2.1. Pola Terang Gelap .....	6
Gambar 2.2. Kisi Difraksi .....	7
Gambar 2.3. Pola Kisi Difraksi Dua Celah .....	8
Gambar 2.4. Pola Kisi Difraksi dengan Celah Banyak .....	9
Gambar 2.5. Sensor Warna TCS230 .....	9
Gambar 2.6. Blok Diagram Sensor TCS230 .....	10
Gambar 2.7. Led Luxeon .....	11
Gambar 2.8. Kaidah Tangan Kanan .....	12
Gambar 2.9. Posisi Awal Gerakan Motor .....	13
Gambar 2.10. Dasar Pengaturan Arah Putaran Motor. ....	13
Gambar 2.11. Pengaturan Putaran Arah Motor Menggunakan Saklar .....	14
Gambar 2.12. <i>Optical Rotary Encoder</i> .....	15
Gambar 2.13. <i>Incremental Optical Encoder</i> .....	16
Gambar 2.14. Konfigurasi <i>Photo Sensor</i> .....	16
Gambar 2.15. ATmega 8535 .....	17
Gambar 3.1. Blok Diagram .....	19
Gambar 3.2. Konstruksi Mekanik .....	21
Gambar 3.3. Komponen Mekanik .....	21
Gambar 3.4. Rangkaian Sensor TCS230 dengan LED .....	22
Gambar 3.5. Rangkaian Sensor TCS230 tanpa LED. ....	23
Gambar 3.6. Rangkaian Sistem Minimum ATmega 8535 .....	24
Gambar 3.7. Rangkaian Driver Motor .....	26
Gambar 3.8. IC L298 <i>Driver Motor</i> .....	27
Gambar 3.9. Blok Diagram IC L298 .....	27
Gambar 3.10. Fungsi Dari Setiap Pin .....	28
Gambar 3.11. Logika Pensaklaran IC L298 .....	28
Gambar 3.12. Ilustrati Cara Kerja <i>Driver Motor</i> .....	29
Gambar 3.13. <i>Flow Chart</i> Program Utama .....	30
Gambar 3.14. Sub Program <i>Scan</i> .....	31
Gambar 3.15. Sub Program <i>Database</i> Berdasarkan Jarak .....	32

Gambar 3.16. Sub Program Hitung.....	32
Gambar 3.17. Program <i>Interrupt</i> Balik.....	34
Gambar 3.17. Program <i>Interrupt Overflow Timer0</i> .....	34
Gambar 4.1 .Grafik Jumlah Putaran terhadap Jumlah Pulsa.....	36
Gambar 4.2. Grafik Jumlah Putaran terhadap Jarak Perpindahan .....	38
Gambar 4.3. Grafik Illuminasi terhadap Jarak .....	42
Gambar 4.4. Grafik Perbandingan E dan $1/r^2$ .....	42
Gambar 4.5. Grafik Hubungan Jarak terhadap Frekuensi.....	43



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Pilihan Skala Frekuensi dan Filter .....	10
Tabel 2.2. Karakteristik optik dari Led Luxeon .....	11
Tabel 3.1. Logika Pengaktifan Filter.....	23
Tabel 3.2. Logika IC L298.....	29
Tabel 4.1. Data Jumlah Putaran dan Jumlah Pulsa .....	35
Tabel 4.2. Data Jumlah Putaran dan Jarak Perpindahan .....	37
Tabel 4.3. Frekuensi Sensor TCS230 pada Jarak $\pm 80$ cm.....	40
Tabel 4.4. Data Intensitas dan Jarak .....	41
Tabel 4.5. Data Hasil Percobaan untuk Warna Biru .....	44
Tabel 4.6. Perhitungan Standar Deviasi untuk Warna Biru .....	45
Tabel 4.7. Data Percobaan untuk Warna Hijau.....	46
Tabel 4.8. Perhitungan Standar Deviasi untuk Warna Hijau .....	46
Tabel 4.9. Data Percobaan untuk Warna Merah .....	47
Tabel 4.10. Perhitungan Standar Deviasi untuk Warna Merah.....	48
Tabel 4.11. Hasil Perhitungan Standar Deviasi untuk jarak $\pm 80$ , $\pm 70$ dan $\pm 60$ cm.....	48
Tabel 4.12. Kesalahan Relatif untuk setiap Pengukuran.....	49

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat, maka kebutuhan akan teknologi canggih dan mempermudah manusia dalam melakukan aktifitasnya akan semakin berkembang. Selain itu teknologi yang lebih canggih memberikan kemudahan dalam pengoperasiannya.

Dalam bidang ilmu pengetahuan khususnya fisika banyak alat ukur yang digunakan untuk mengukur suatu besaran fisika, contohnya adalah kisi difraksi, alat ini digunakan untuk mengukur panjang gelombang cahaya tampak berdasarkan warna yang dihasilkan. Seperti yang kita ketahui bahwa untuk mengukur panjang gelombang suatu cahaya tampak masih banyak orang yang menggunakan metode manual, namun cara ini kadang kurang efektif. Oleh sebab itu perlu adanya alat yang dapat mengatasi hal tersebut, sehingga data yang dihasilkan lebih akurat, salah satu contohnya adalah menggunakan sensor TCS230.

### 1.2 Tujuan Penelitian

Membuat alat ukur panjang gelombang cahaya tampak dengan menggunakan metode kisi difraksi.

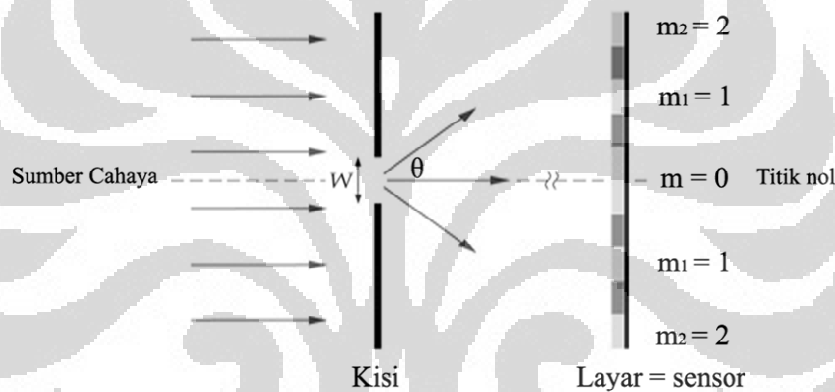
### 1.3 Batasan Masalah

Pembahasan skripsi ini hanya terbatas pada pembuatan konstruksi mekanik, *hardware* dan *software* yang mendukung terhadap sistem alat ukur panjang gelombang cahaya tampak dengan metode kisi difraksi.

### 1.4 Deskripsi Singkat

Untuk mengukur panjang gelombang cahaya tampak, terdapat beberapa metode yang bisa digunakan, salah satunya adalah dengan menggunakan kisi difraksi celah banyak (*Multi Slit*). Kisi difraksi berfungsi untuk membelokkan cahaya yang mengenainya sehingga terjadi pola terang gelap.

Pola terang terdiri dari kombinasi beberapa warna. Untuk mendapatkan nilai panjang gelombangnya maka harus diketahui jarak antara kisi dan layar atau sensor, kemudian jarak pola terang atau orde ( $m$ ) ke titik nol. Titik nol merupakan titik sumber cahaya, seperti yang bisa dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 1.1. Skematik Kisi Difraksi

“Telah diolah kembali”

Dengan mengetahui jarak kisi ke layar dan jarak  $m_0$  ke  $m_1$  maka panjang gelombangnya bisa dihitung dengan menggunakan rumus

$$d \sin \theta = m\lambda, \quad m = 0,1,2,3, \dots \quad (1.1)$$

pengukuran jarak antara kisi dan sensor akan dilakukan dengan menggunakan dua batang ulir. Pada batang ulir ini terdapat sebuah mur yang terbuat dari *acrylic* yang berfungsi sebagai tempat kisi dan sensor yang dapat bergerak maju, mundur, kiri dan kanan. Kedua batang ulir ini akan menggunakan masing-masing satu motor DC sebagai penggeraknya. Motor DC akan menggerakkan sensor kekiri dan kekanan, sedangkan kisi akan bergerak maju dan mundur. Sensor akan membaca warna dan mengirimkan data tersebut ke mikrokontroler untuk diolah.

## 1.5 Metode Penulisan

### a. Studi Literatur

Metode ini digunakan oleh penulis untuk memperoleh informasi yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan dengan mengacu kepada buku-buku, *datasheet*, makalah, *Internet* dan lain-lain

### b. Perancangan Alat

Penulis melakukan perancangan alat berupa mekanik, *hardware* dan *softawre* berdasarkan informasi yang didapat dari studi literatur.

### c. Pembuatan Alat

Pembuatan alat dilakukan berdasarkan rancangan yang telah dibuat dan sesuai dengan yang diinginkan.

### d. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan menguji setiap komponen yang menyusun sistem, seperti rangkaian sensor, *driver motor*, serta rangkaian lain dan komponen pendukung.

### e. Pembuatan Program

Pembuatan program dilakukan dengan menggunakan *software* BASCOM AVR 1.11.9.0.

### f. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan setelah semua komponen telah diuji secara keseluruhan sebagai satu sistem yang utuh, kemudian data yang didapatkan diolah dan dianalisa.

### g. Penulisan Laporan Penelitian

Dari pengambilan dan analisis data maka dapat dibuat suatu kesimpulan dan saran yang bermanfaat di penelitian berikutnya.



## **BAB 2**

### **TEORI DASAR**

Dalam bab ini akan dibahas mengenai teori yang mendasari dilakukannya penelitian ini. Adapun teori-teori tersebut antara lain :

#### **2.1 Cahaya**

Menurut teori gelombang, cahaya merupakan gelombang yang menyebar dari suatu sumber seperti riak yang menyebar pada permukaan air jika dijatuhkan batu kepermukaannya. Energi yang dibawa cahaya menurut analogi ini terdistribusi secara kontinu keseluruh pola gelombang. Cahaya dapat merambat dalam ruang hampa dengan kecepatan  $3 \times 10^8$  m/s (1).

Menurut teori kuantum, cahaya menyebar dari sumbernya sebagai sederetan konsentrasi energi yang terlokalisasi, masing-masing cukup kecil sehingga dapat diserap oleh sebuah elektron. Sifat-sifat cahaya adalah sebagai berikut :

1. Dapat mengalami pemantulan (refleksi)
2. Dapat mengalami pembiasan (refraksi)
3. Dapat mengalami pelenturan (difraksi)
4. Dapat dijumlahkan (interferensi)
5. Dapat diuraikan (dispersi)
6. Dapat diserap arah getarnya (polarisasi)
7. Bersifat sebagai gelombang dan partikel.

##### **2.1.1 Warna dan Panjang Gelombang**

Panjang gelombang yang berbeda-beda diinterpretasikan oleh otak manusia sebagai warna, dengan merah adalah panjang gelombang terpanjang (frekuensi paling rendah) hingga ke ungu dengan panjang gelombang terpendek (frekuensi paling tinggi). Cahaya dengan frekuensi di bawah 400 nm dan di atas

700 nm tidak dapat dilihat manusia. Cahaya disebut sebagai sinar ultraviolet pada batas frekuensi tinggi dan inframerah (IR atau *infrared*) pada batas frekuensi rendah. Walaupun manusia tidak dapat melihat sinar inframerah kulit manusia dapat merasakannya dalam bentuk panas. Ada juga kamera yang dapat menangkap sinar Inframerah dan mengubahnya menjadi sinar tampak. Kamera seperti ini disebut "*night vision camera*" (2).

## 2.2 Difraksi

Jika suatu permukaan gelombang tiba pada suatu celah sempit (lebarnya lebih kecil dari panjang gelombang), maka gelombang ini akan mengalami lenturan sehingga terjadi pembelokkan disekitar celah tersebut. Peristiwa ini dikenal dengan difraksi.

Adapun jenis-jenis pola difraksi adalah sebagai berikut :

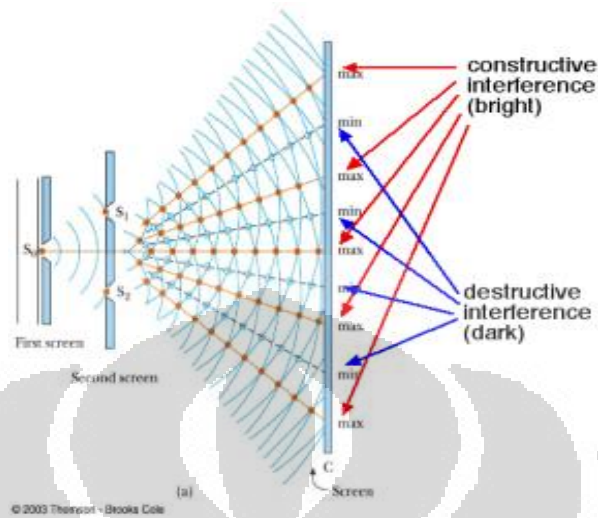
- a. Difraksi Fraunhofer adalah pola difraksi yang diamati di titik-titik dimana sinar dari lubang atau rintangan hampir sejajar
- b. Difraksi Fresnel adalah pola difraksi dimana sumber cahaya dan/atau layar terletak pada jarak tertentu (dekat) dari celah difraksi.

Jenis difraksi yang digunakan oleh penulis adalah jenis difraksi dengan pola celah banyak (*Multi Slit*).

Ketika terjadi penyebaran gelombang setelah melewati kisi maka gelombang ini menempuh jarak yang sama hingga mencapai satu fase, saat satu gelombang tiba pada saat yang sama dengan puncak gelombang yang lain, maka amplitudo dari kedua gelombang bergabung untuk membentuk amplitudo yang lebih besar, hal ini dinamakan **interferensi konstruktif** (terbentuk saat terdapat titik terang pada layar dan pada saat dua berkas gelombang berbeda jarak sebesar satu panjang gelombang atau kelipatan bilangan bulat lainnya dari panjang gelombang yang bertemu).

Sedangkan **interferensi destruktif** adalah saat amplitudo gelombang cahaya bertemu setelah menempuh jarak setengah kali panjang gelombang yang lain, saat amplitudo kedua gelombang tiba dengan keadaan fase gelombang yang

berlawanan saat mencapai layar, maka terbentuklah gabungan gelombang yang menghasilkan amplitudo gelombang yang sama dengan nol.



Gambar 2.1. Pola Terang Gelap

Untuk menentukan dengan tepat garis-garis terang yang jatuh pada layar, maka digunakan kisi dengan jarak  $d$  (jarak celah) sangat sempit dibandingkan dengan panjang gelombang cahaya itu sendiri. Berkas-berkas sinar dari setiap celah akan paralel (sejajar) dengan sudut deviasi,  $\theta$  merupakan sudut yang dibentuk sinar paralel terhadap arah horisontal. Jarak antara dua celah sempit terhadap arah pergeseran sinar paralel bernilai  $\lambda$  saat terbentuk pola garis terang (interferensi konstruktif), dan bernilai  $\frac{1}{2} \lambda$  saat terbentuk pola garis-garis gelap (interferensi destruktif). Jarak tersebut besarnya adalah,

$$d \sin \theta \tag{2.1}$$

Dengan rumus diatas maka muncul garis terang. Garis terang atau pola terang merupakan interferensi konstruktif yang memiliki persamaan sebagai berikut.

$$d \sin \theta = m\lambda \text{ dengan nilai } m = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, n \tag{2.2}$$

Nilai  $m$  merupakan nilai orde atau pinggiran interferensi, jika orde 1 ( $m=1$ ) maka hal ini menunjukkan nilai pola terang pertama, sedangkan interferensi destruktif pada celah majemuk atau banyak terjadi disaat ,

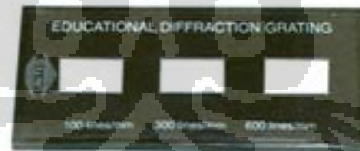
$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \text{ dengan nilai } m = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, n \quad (2.3)$$

## 2.3 Kisi Difraksi

Alat yang bermanfaat untuk mengukur panjang gelombang cahaya adalah kisi difraksi, yang terdiri atas sejumlah besar garis atau celah sejajar yang berjarak sama pada permukaan datar. Kisi demikian dapat dibuat dengan memotong alu-alur yang berjarak sama pada kaca atau pelat logam dengan mesin penggaris presisi. Ada dua jenis kisi difraksi yaitu :

- a. Kisi Transmisi (*Transmission Grating*) adalah suatu kisi dengan celah yang memungkinkan cahaya dapat melewatinya.
- b. Kisi Refleksi (*Reflection Grating*) adalah suatu kisi dengan celah yang memantulkan cahaya.

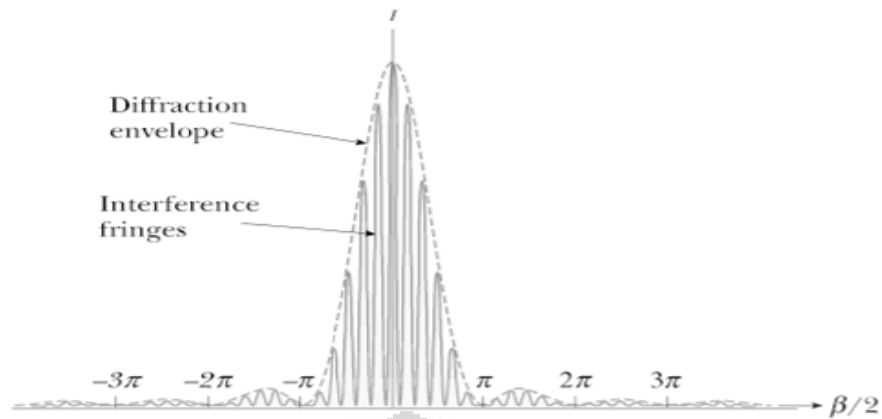
Kisi umumnya memiliki goresan yang bervariasi misalnya 5000 goresan per centimeter, sehingga jarak diantara kedua celah sangat sempit. Lenturan atau difraksi cahaya akan terjadi apabila nilai atau lebar celah lebih kecil daripada panjang gelombang cahaya yang akan melewatinya (3).



Gambar 2.2. Kisi Difraksi

### 2.3.1 Pola Distribusi Cahaya oleh Kisi

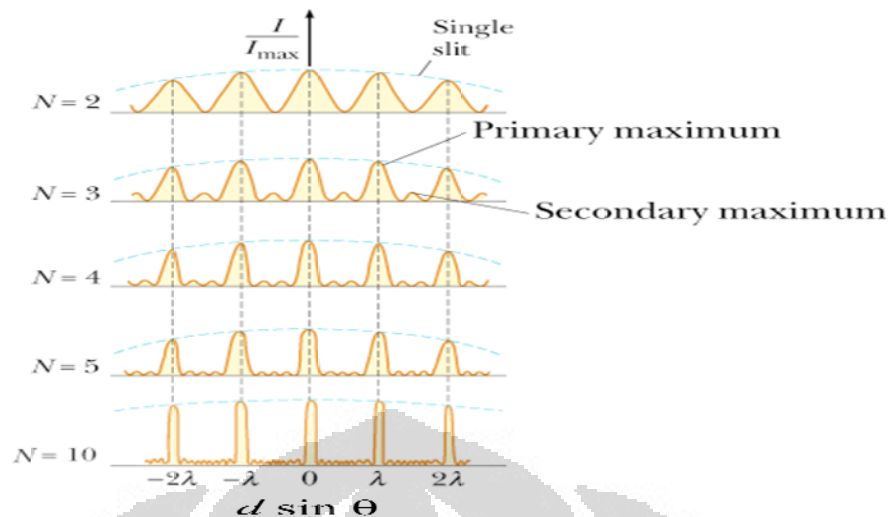
Pola distribusi cahaya oleh kisi dapat dilihat pada gambar dibawah,



Gambar 2.3. Pola Kisi Difraksi Dua Celah

Jika suatu kisi transmisi disinari dari belakang, tiap celah bertindak sebagai suatu sumber cahaya yang koheren, pola cahaya yang diamati pada layar dihasilkan dari kombinasi interferensi dan difraksi. Tiap celah menghasilkan difraksi, dan berkas difraksi ini berinterferensi dengan yang lain untuk menghasilkan pola akhir seperti yang terlihat pada gambar diatas. Sedangkan jika jumlah celah diperbanyak terdapat beberapa hal penting yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut :

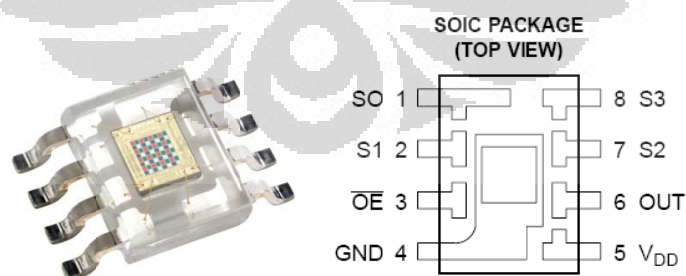
- a. Posisi angular dari maksimum utama (*primary maximum*) untuk  $N$  yang berbeda adalah sama.
- b. Jumlah maksimum sekunder antara dua maksimum primer meningkat dengan  $N$  dan sama dengan  $N-2$ .
- c. Intensitas maksimum sekunder melemah dibandingkan maksimum primer.
- d. Lebar maksimum primer berkurang dengan naiknya  $N$



Gambar 2.4. Pola Difraksi dengan Celah Banyak

## 2.4 Sensor TCS230

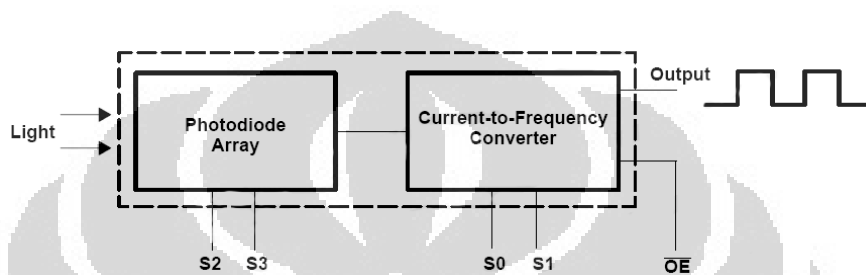
Sensor TCS230 merupakan sensor warna yang mengukur tiga besaran warna primer yaitu merah, hijau dan biru, warna-warna primer tersebut merupakan penyusun dari beberapa warna sekunder. Sensor TCS230 merupakan kombinasi *silicon photodiodes* dan sebuah *current to frequency converter* yang berfungsi untuk mengkonversi cahaya yang datang menjadi frekuensi. Output dari sensor ini sudah dalam bentuk digital yaitu gelombang kotak (*Square Wave*).



Gambar 2.5. Sensor Warna TCS230

*Full scale output* bisa diatur oleh salah satu dari tiga *preset values* melalui dua input pin yaitu pin 1 ( $S_0$ ) dan pin 2 ( $S_1$ ) pada kaki IC TCS230. Input digital

dan output digital dapat langsung diteruskan ke sebuah *microcontroller* atau sirkuit logika lainnya. *Light to frequency converter* membaca input dari  $8 \times 8$  Photodiode. 16 photodiode memiliki filter biru, merah, hijau dan *clear* (tanpa filter). Karakteristik dari sensor ini adalah mengubah intensitas cahaya yang datang menjadi frekuensi, nilai intensitasnya berbanding lurus dengan nilai frekuensi yang dikeluarkan oleh sensor.



Gambar 2.6. Blok Diagram Sensor TCS230

Untuk mengaktifkan filter dari sensor ini dapat dilakukan dengan mengatur nilai bit pada pin S0 dan S1. Kombinasi nilai bit pada S2 dan S3 akan mengaktifkan filter yang berbeda, seperti yang terlihat pada tabel dibawah,

Tabel 2.1. Pilihan Skala Frekuensi dan Filter

S0	S1	OUTPUT FREQUENCY SCALING ( $f_0$ )	S2	S3	PHOTODIODE TYPE
L	L	Power down	L	L	Red
L	H	2%	L	H	Blue
H	L	20%	H	L	Clear (no filter)
H	H	100%	H	H	Green

## 2.5 LED Luxeon

Led Luxeon adalah led yang yang memiliki tingkat *brightness* yang tinggi dibandingkan dengan led biasa dan memiliki daya 3 watt dengan kebutuhan akan arus dan tegangan yang kecil.



Gambar 2.7. LED LUXEON

Led yang berasal dari pabrikan Philips hanya membutuhkan tegangan 3.2 Volt dan arus 700 mA. Led ini memiliki karakteristik optik yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.2. Karakteristik optik dari Led Luxeon

Radiation Pattern	Color	Dominant Wavelength <sup>(1)</sup> $\lambda_D$ , Peak Wavelength <sup>(2)</sup> $\lambda_P$ , or Color Temperature <sup>(3)</sup> CCT			Spectral Half-width <sup>(4)</sup> (nm) $\Delta\lambda_{1/2}$	Temperature Coefficient of Dominant Wavelength (nm/°C) $\Delta\lambda_D / \Delta T_J$	Total Included Angle <sup>(5)</sup> (degrees) $\theta_{0.90V}$	Viewing Angle <sup>(6)</sup> (degrees) $2\theta_{1/2}$
		Min.	Typ.	Max.				
	White	4500K	5500K	10000K	—	—		
Lambertian	Green	520nm	530nm	550nm	35	0.04	160	140
	Cyan	490nm	505nm	520nm	30	0.04	160	140
	Blue	460nm	470nm	490nm	25	0.04	160	140
	Royal Blue <sup>(2)</sup>	440nm	455nm	460nm	20	0.04	160	140

## 2.6 Motor DC

Salah satu komponen penggerak dari sistem alat ukur panjang gelombang cahaya tampak dengan metode kisi difraksi adalah motor DC. Motor DC disini berfungsi sebagai *actuator*, yang mana *actuator* adalah komponen yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor DC digerakkan oleh arus DC (tegangan searah).

### 2.6.1 Prinsip Kerja Motor DC

Cara kerja dari motor DC dapat dijelaskan dengan teori elektromagnetik. Misal sebuah kawat berarus yang dipengaruhi medan magnet luar akan mengalami gaya yang disebut gaya magnet yang besarnya ditunjukkan pada persamaan :



$$F = B \cdot i \cdot L \sin \alpha \quad (2.4)$$

Dimana :

F = Gaya magnet (Newton)

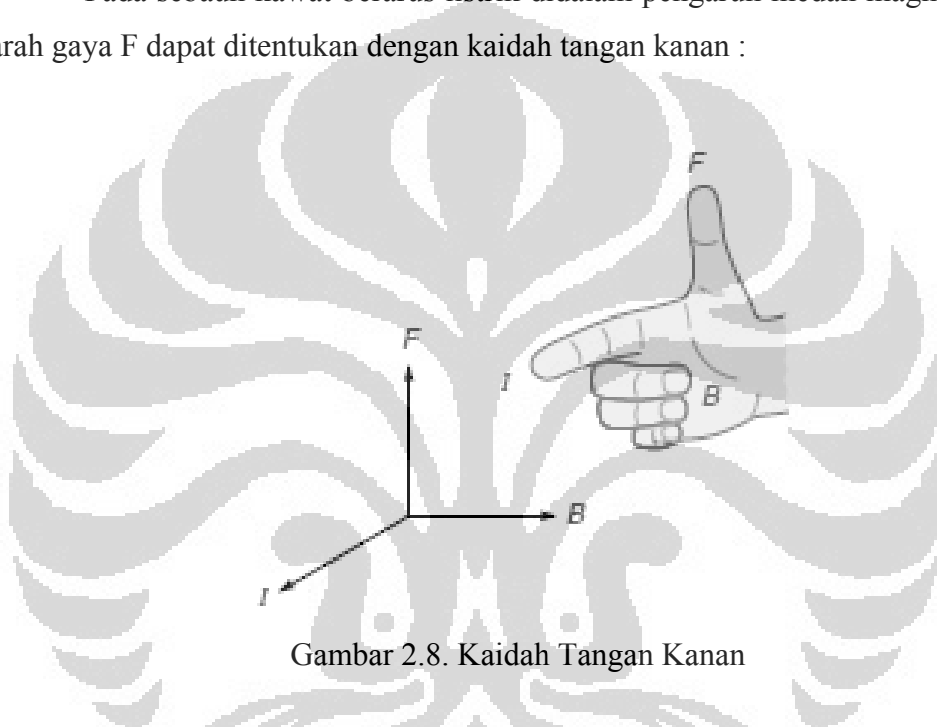
B = Medan magnet luar ( $\text{Wb/m}^2$ )

i = Kuat arus (Ampere)

L = Panjang kawat (Meter)

$\alpha$  = Sudut yang dibentuk medan magnetik dengan arus

Pada sebuah kawat berarus listrik didalam pengaruh medan magnet, maka arah gaya F dapat ditentukan dengan kaidah tangan kanan :

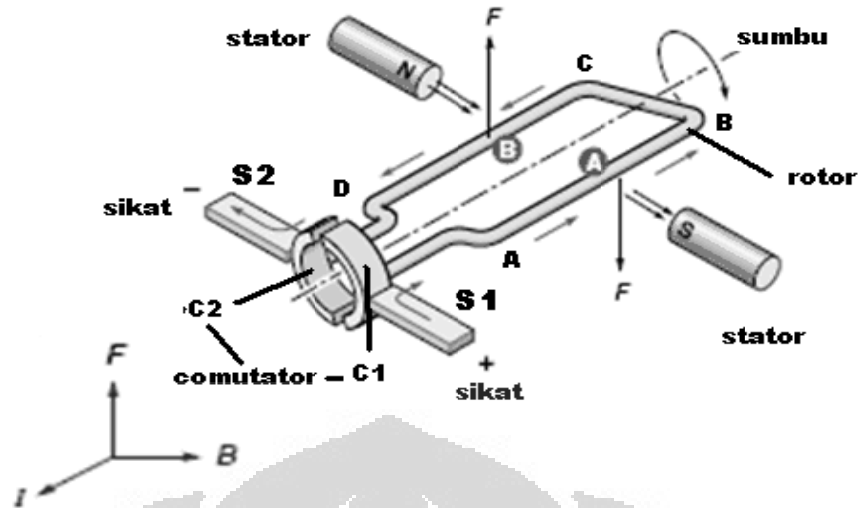


Gambar 2.8. Kaidah Tangan Kanan

Motor DC terdiri dari bagian-bagian yang dapat menggerakkan motor tersebut, yaitu :

- Rotor, yaitu bagian yang berputar pada motor berupa kumparan kawat.
- Stator, yaitu bagian yang diam pada motor berupa magnet.
- Komutator, yaitu cincin belah yang berfungsi sebagai penukar arus
- Sikat, yaitu sepasang batang grafit yang menempel pada komutator tetapi tidak berputar.

Bagian-bagian dan cara kerja dari motor dapat dilihat pada gambar dibawah,

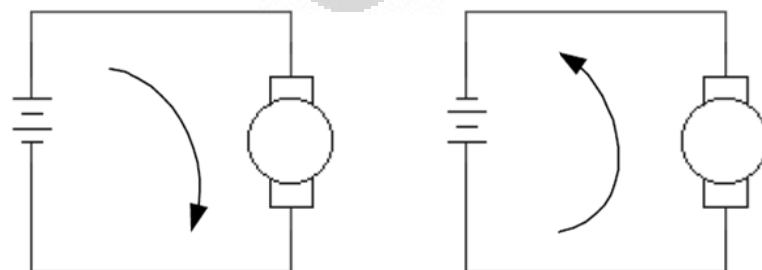


Gambar 2.9. Posisi Awal Gerakan Motor

misalkan kedudukan semula seperti gambar diatas, arus listrik mengalir dari kutub (+) baterai melalui sikat S1 – cincin C1 – rotor ABCD – cincin C2 – sikat S2, kembali ke kutub (-) baterai. Ketika rotor CD yang dekat dengan kutub utara mengalami gaya ke atas dan sisi rotor AB yang dekat dengan kutub selatan mengalami gaya kebawah, akibatnya rotor ABCD berputar searah jarum jam.

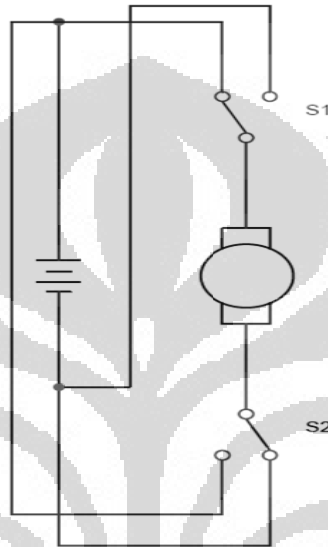
### 2.6.2 Membalik Arah Putaran Motor DC

Dalam aplikasinya seringkali sebuah motor digunakan untuk arah yang searah dengan jarum jam maupun sebaliknya. Untuk mengubah putaran dari sebuah motor dapat dilakukan dengan mengubah arah arus yang mengalir melalui motor tersebut, secara sederhana seperti yang ada pada gambar dibawah, hal ini dapat dilakukan dengan mengubah polaritas tegangan motor.



Gambar 2.10. Dasar Pengaturan Arah Putaran Motor

Agar perubahan polaritas tegangan motor dapat dilakukan dengan mudah, maka hal ini dilakukan dengan menggunakan dua buah saklar, dimana kedua saklar tersebut harus berada pada posisi yang saling berlawanan. Apabila S1 berada diposisi kiri (terhubung dengan positif) maka S2 harus berada diposisi kanan (terhubung dengan negatif) dan demikian pula sebaliknya dengan perubahan yang serempak.



Gambar 2.11. Pengaturan Putaran Arah Motor Menggunakan Saklar

### 2.6.3 Cara Mempercepat Putaran Motor DC

Kecepatan putaran pada motor DC dapat ditingkatkan dengan memperbesar tegangan yang masuk ke motor, sehingga dapat mengakibatkan arus yang masuk ke motor menjadi besar pula. Hal ini sesuai dengan hukum Ohm berikut :

$$V = i \times R \quad (2.5)$$

Dimana :

V = Tegangan (Volt)

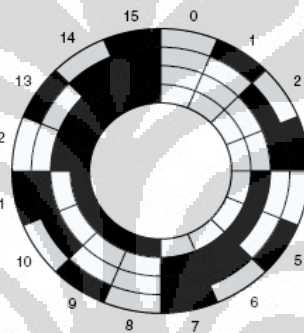
i = Besar Arus (Ampere)

R = Hambatan (Ohm)

dengan hambatan yang tetap dan tegangan diperbesar akan mengakibatkan arus menjadi besar pula. Dengan arus yang semakin besar maka akan menyebabkan gaya ( $F$ ) menjadi besar sesuai dengan persamaan 2.1. Dan apabila  $F$  semakin besar maka kekuatan rotor akan semakin besar dan berdampak pada makin cepatnya putaran motor.

## 2.7 Incremental Encoder

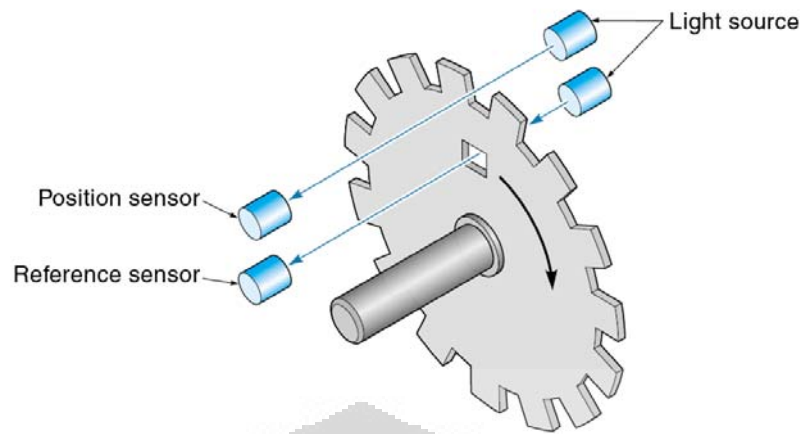
*Optical rotary encoder* menghasilkan data posisi putaran langsung dalam bentuk digital, tanpa harus menggunakan ADC konverter. Konsep dari *encoder* ini dapat dilihat pada gambar dibawah,



Gambar 2.12. *Optical Rotary Encoder*

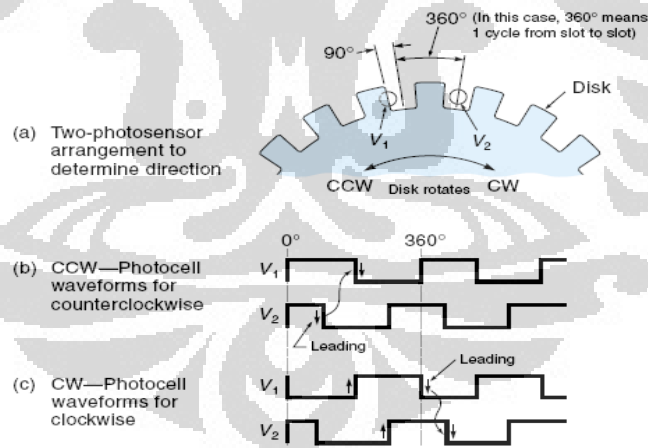
terdapat dua jenis *Optical rotary encoder* yaitu *Absolute Optical Encoder* dan *Incremental Optical Encoder*, pada bagian ini penulis hanya akan menjelaskan tentang *Incremental Optical Encoder*.

*Incremental optical encoder* hanya memiliki satu track dengan slot yang serba sama. Posisi di tentukan dengan menghitung jumlah slot yang dilewati oleh *photo sensor*, dimana setiap slot mewakili satu sudut. Sistem ini membutuhkan titik referensi, yang mungkin bisa diambil dari sensor kedua pada track bagian dalam atau bisa juga dari mekanik *limit switch*, seperti yang terlihat pada gambar dibawah,



Gambar 2.13. *Incremental Optical Encoder*

jika hanya sebuah *photo sensor* yang digunakan maka tidak akan bisa menentukan arah putaran dari piringan. Untuk mendeteksi arah putaran dari piringan maka bisa digunakan dua buah *photo sensor*. Kedua sensor tersebut diletakkan terpisah satu dengan yang lainnya akan tetapi pada track yang sama, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10.



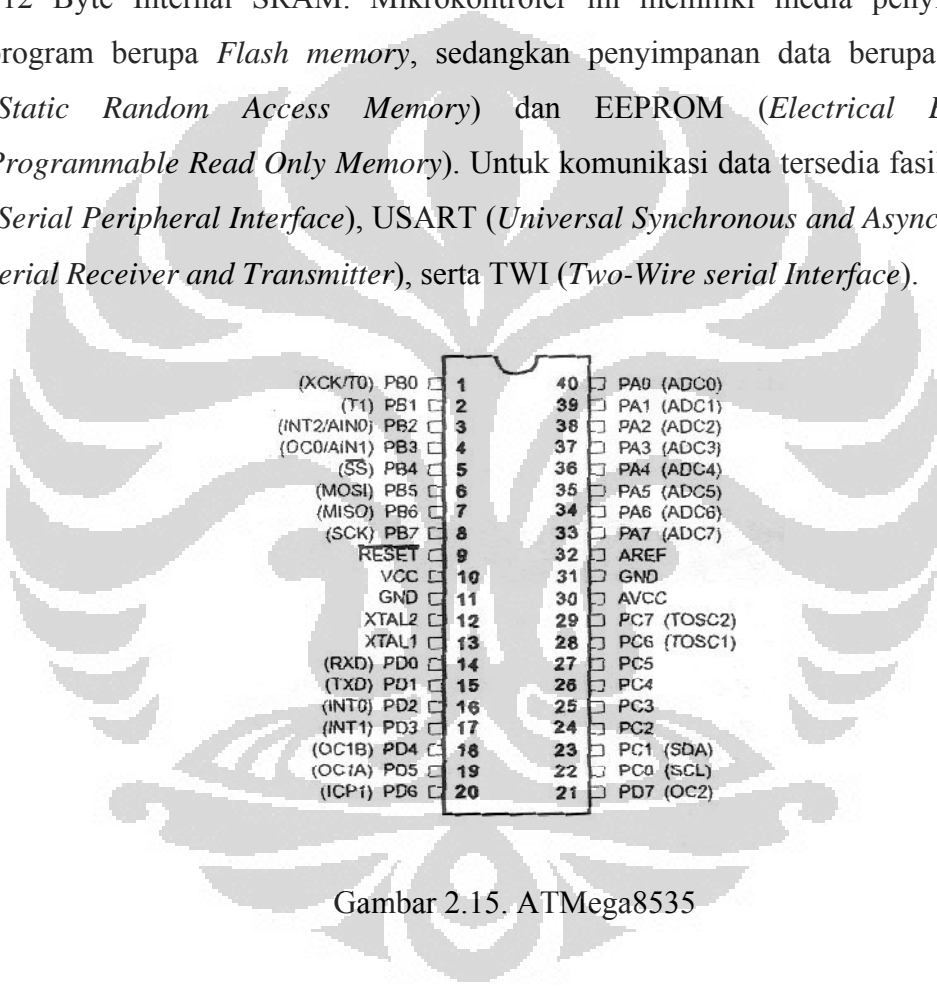
Gambar 2.14. Konfigurasi *Photo Sensor*

Kedua sensor  $V_1$  dan  $V_2$  akan memiliki kondisi yang berbeda, jika sensor  $V_1$  off (terlihat sensor  $V_1$  tertutup setengah) maka sensor  $V_2$  akan on. Perbedaan setengah pulsa yang terlihat pada gambar diatas dapat digunakan untuk mengukur

*counter-up* dan *counter-down*. Akan tetapi dalam penelitian kali ini penulis tidak menggunakan dua sensor pada piringan akan tetapi menggunakan *limit switch*.

## 2.8 Mikrokontroler AVR ATMEGA 8535

Mikrokontroler AVR ATMega 8535 merupakan mikrokontroler produksi Atmel dengan 8 Kbyte *In-System Programmable-Flash*, 512 Byte EEPROM dan 512 Byte Internal SRAM. Mikrokontroler ini memiliki media penyimpanan program berupa *Flash memory*, sedangkan penyimpanan data berupa SRAM (*Static Random Access Memory*) dan EEPROM (*Electrical Erasable Programmable Read Only Memory*). Untuk komunikasi data tersedia fasilitas SPI (*Serial Peripheral Interface*), USART (*Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter*), serta TWI (*Two-Wire serial Interface*).



(XCK/T0) PB0	1	40	PA0 (ADC0)
(T1) PB1	2	39	PA1 (ADC1)
(INT2/AIN0) PB2	3	38	PA2 (ADC2)
(OC0/AIN1) PB3	4	37	PA3 (ADC3)
(SS) PB4	5	36	PA4 (ADC4)
(MOSI) PB5	6	35	PA5 (ADC5)
(MISO) PB6	7	34	PA6 (ADC6)
(SCK) PB7	8	33	PA7 (ADC7)
RESET	9	32	AREF
VCC	10	31	GND
GND	11	30	AVCC
XTAL2	12	29	PC7 (TOSC2)
XTAL1	13	28	PC6 (TOSC1)
(RXD) PD0	14	27	PC5
(TXD) PD1	15	26	PC4
(INT0) PD2	16	25	PC3
(INT1) PD3	17	24	PC2
(OC1B) PD4	18	23	PC1 (SDA)
(OC1A) PD5	19	22	PC0 (SCL)
(ICP1) PD6	20	21	PD7 (OC2)

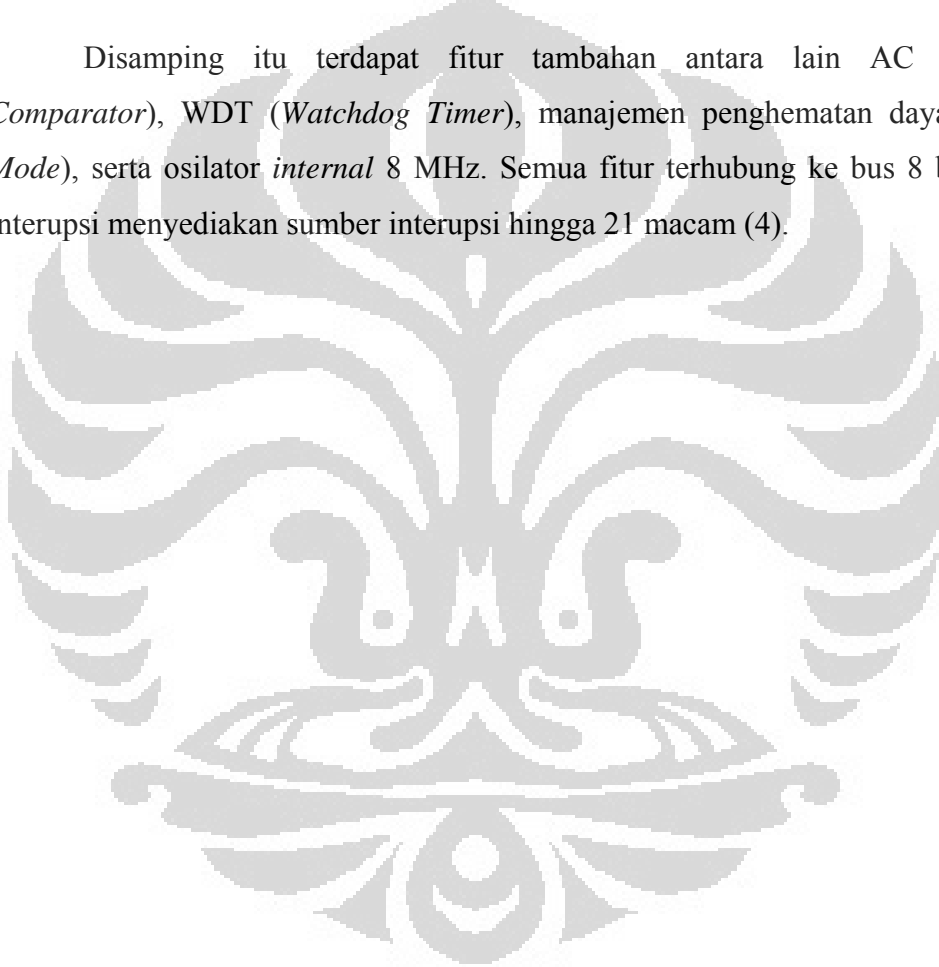
Gambar 2.15. ATMega8535

Fitur-fitur lengkap yang dimiliki oleh Mikrokontroler ATMega 8535 adalah sebagai berikut :

- Saluran I/O sebanyak 32 buah yaitu *Port A*, *Port B*, *Port C*, *Port D*.
- ADC 10 bit sebanyak 8 saluran.
- Tiga unit *Timer/Counter* dengan kemampuan perbandingan.
- CPU yang terdiri atas 32 buah register.

- e. *Watchdog Timer* dengan osilator *internal*.
- f. SRAM sebesar 512 byte.
- g. Memori *flash* sebesar 8 Kbyte dengan kemampuan *Read While Write*.
- h. Unit interupsi *internal* dan eksternal.
- i. *Port* antarmuka SPI.
- j. EEPROM sebesar 512 byte yang dapat diprogram saat operasi.
- k. Antarmuka komparator analog
- l. *Port* USART untuk komunikasi serial.

Disamping itu terdapat fitur tambahan antara lain AC (*Analog Comparator*), WDT (*Watchdog Timer*), manajemen penghematan daya (*Sleep Mode*), serta osilator *internal* 8 MHz. Semua fitur terhubung ke bus 8 bit. Unit interupsi menyediakan sumber interupsi hingga 21 macam (4).



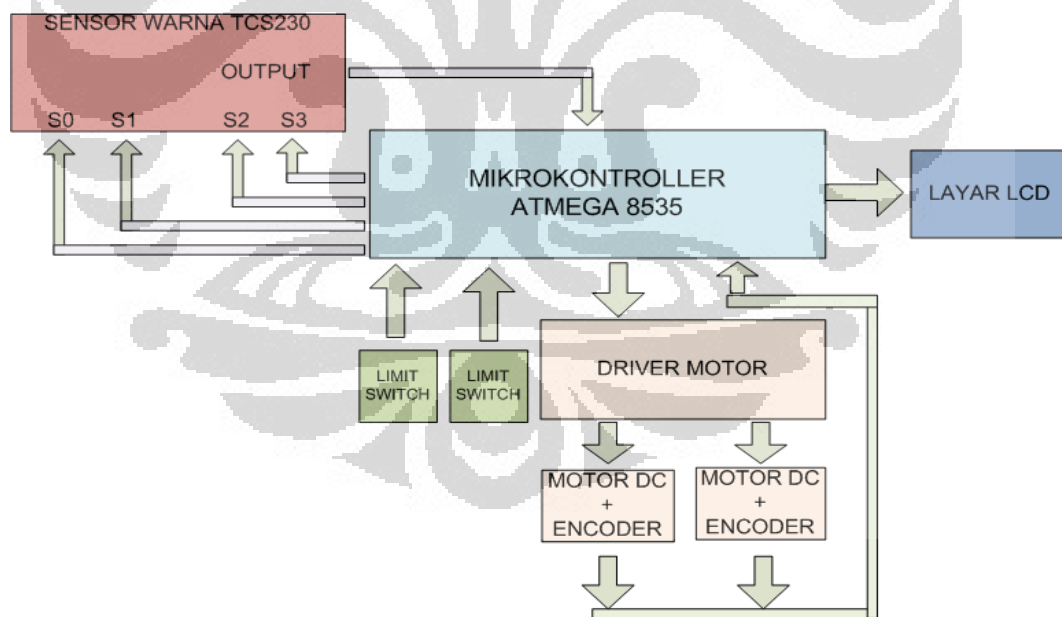
## BAB 3

### PERANCANGAN DAN CARA KERJA SISTEM

Dalam bab ini akan dibahas mengenai perancangan sistem beserta cara kerja dari masing-masing konstruksi mekanik, *hardware*, serta *software* yang digunakan dalam penyusunan alat “Alat Ukur Panjang Gelombang Cahaya Tampak dengan Metode Kisi Difraksi” :

#### 3.1 Blok Diagram

Pada bab ini akan dibahas mengenai cara kerja alat secara garis besar. Hal ini dilakukan untuk mempermudah pemahaman tentang cara kerja masing-masing *hardware* dan rangkaian, karena dalam pembuatan alat atau sistem maka semua rangkaian saling terhubung dan saling mempengaruhi kinerja. Blok diagram di bawah merupakan garis besar tentang cara kerja alat.



Gambar 3.1. Blok Diagram

Berdasarkan gambar diagram diatas, maka dapat dijelaskan cara kerja dari sistem alat ukur panjang gelombang cahaya tampak dengan metode kisi difraksi, yaitu penggunaan kisi difraksi merupakan nilai konstanta yaitu 300 garis/mm.



Setelah alat dinyalakan maka motor DC akan memutar batang ulir dan sekaligus menggerakkan sensor dan melakukan *scan* warna terhadap sumber cahaya yang datang melalui kisi. Output yang dihasilkan oleh sensor berupa frekuensi atau pulsa digital yang dihasilkan dalam waktu 1 detik sedangkan untuk menghitung jarak perpindahan sensor dan juga perpindahan kisi maka pulsa yang dihasilkan *encoder* motor akan dibaca oleh mikrokontroler untuk selanjutnya dihitung jarak perpindahannya.

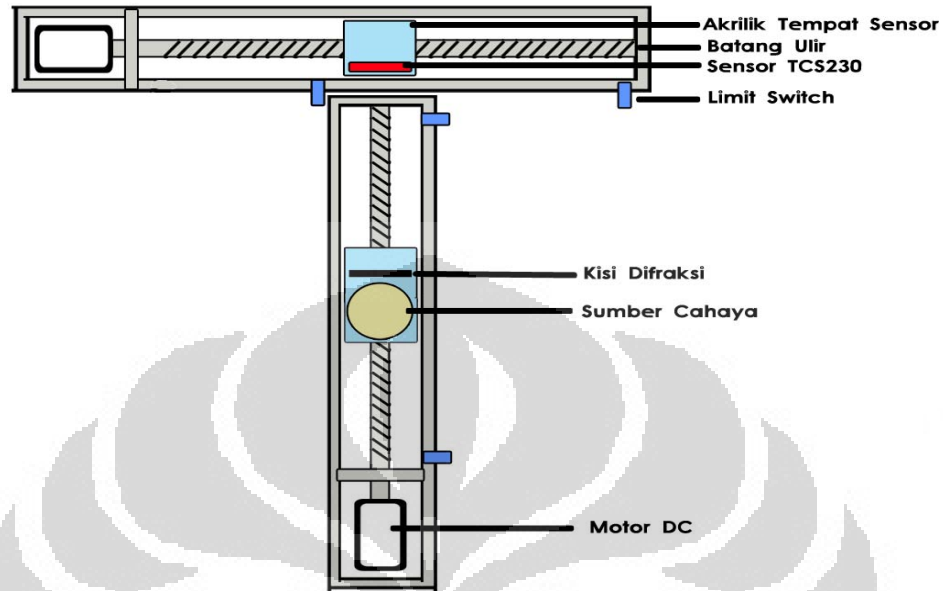
*Scan* yang dilakukan oleh sensor warna TCS230 adalah dengan mengaktifkan semua filter secara bergantian. Hal ini dilakukan untuk mengetahui nilai frekuensi ketika filter yang digunakan sesuai dengan warna yang di *scan*. Ketika sensor mendeteksi sebuah warna, maka mikrokontroler akan langsung menghitung jumlah pulsa yang dihasilkan oleh cahaya yang datang, ketika cahaya yang datang sesuai dengan *database*. maka akan langsung dilakukan perhitungan untuk mendapatkan panjang gelombangnya. Setelah panjang gelombang didapatkan maka akan langsung ditampilkan di LCD.

### **3.2 Konstruksi Mekanik**

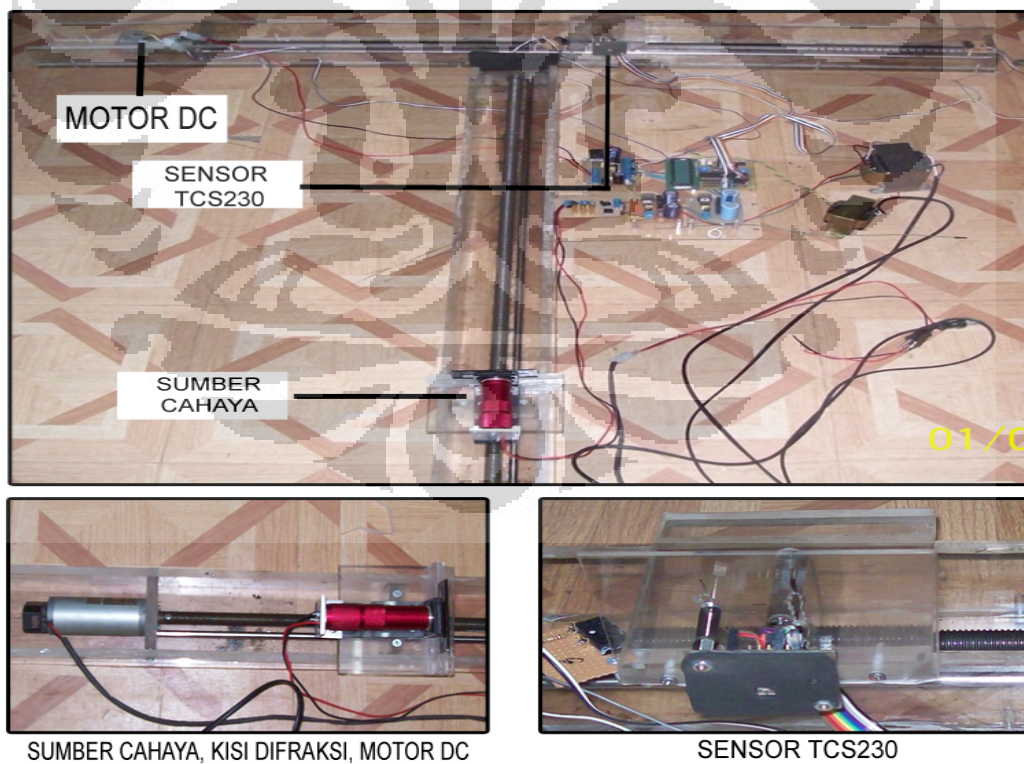
Untuk mengukur panjang gelombang cahaya, maka dibutuhkan jarak atau posisi antara kisi dengan sensor. Untuk merealisasikan pengukuran jarak antara kisi dan sensor maka sistem alat ukur ini di buat berbentuk “T” dan dari bahan akrilik, dimana bagian yang vertikal adalah bagian kisi difraksi yang bergerak maju dan mundur, sedangkan bagian yang horisontal adalah bagian sensor yang bergerak kearah kiri dan kanan. Sensor warna disini berfungsi sebagai pengganti layar. Sedangkan untuk melakukan perpindahan maka digunakan batang ulir dan motor DC sebagai penggerakannya. Pada batang ulir terdapat akrilik yang telah di *drat* yang berfungsi sebagai tempat untuk sensor dan kisi, serta berfungsi sebagai penunjuk posisi, apabila batang ulir berputar maka akrilik akan berpindah sesuai dengan arah putaran batang ulir.

Akrilik akan bergerak ke kanan apabila batang ulir berputar searah jarum jam, dan apabila batang ulir berputar berlawanan arah dengan jarum jam maka

akrilik akan bergerak kekiri. Batang ulir ini terhubung dengan motor DC pada bagian ujungnya.



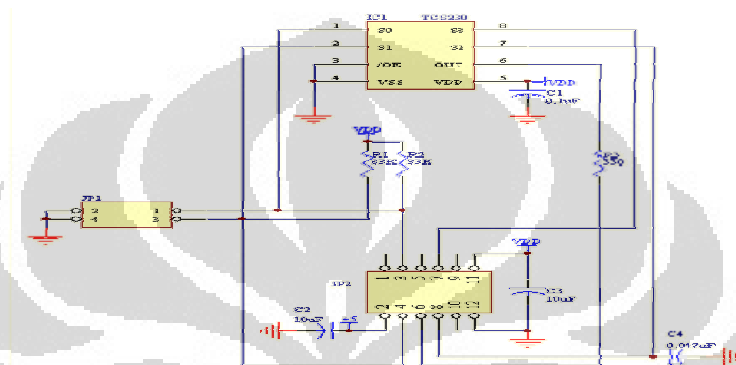
Gambar 3.2. Konstruksi Mekanik



Gambar 3.3. Komponen Mekanik



Gambar diatas menunjukkan rangkaian sensor TCS230 yang dilengkapi dengan dua Led untuk membaca pantulan warna dari suatu benda dalam jarak  $\pm 4$  cm, sedangkan penggunaan sensor TCS230 dalam sistem alat ukur panjang gelombang ini tidak menggunakan benda sebagai objeknya akan tetapi warna yang langsung diteruskan oleh kisi, sehingga dua Led tidak diperlukan dan dapat dihilangkan. Gambar rangkaian setelah dua led dihilangkan dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 3.5. Rangkaian Sensor TCS230 tanpa LED

IC TCS230 terdiri dari  $8 \times 8$  *array photodetector* dan masing-masing dilengkapi dengan empat filter yaitu, filter merah, biru, hijau dan filter *clear*. Sensor ini hanya mendeteksi tiga buah warna primer yaitu merah, biru dan hijau atau biasa disebut RGB dan dari tiga warna ini bisa dapat dihasilkan warna-warna sekunder yang lebih kompleks.

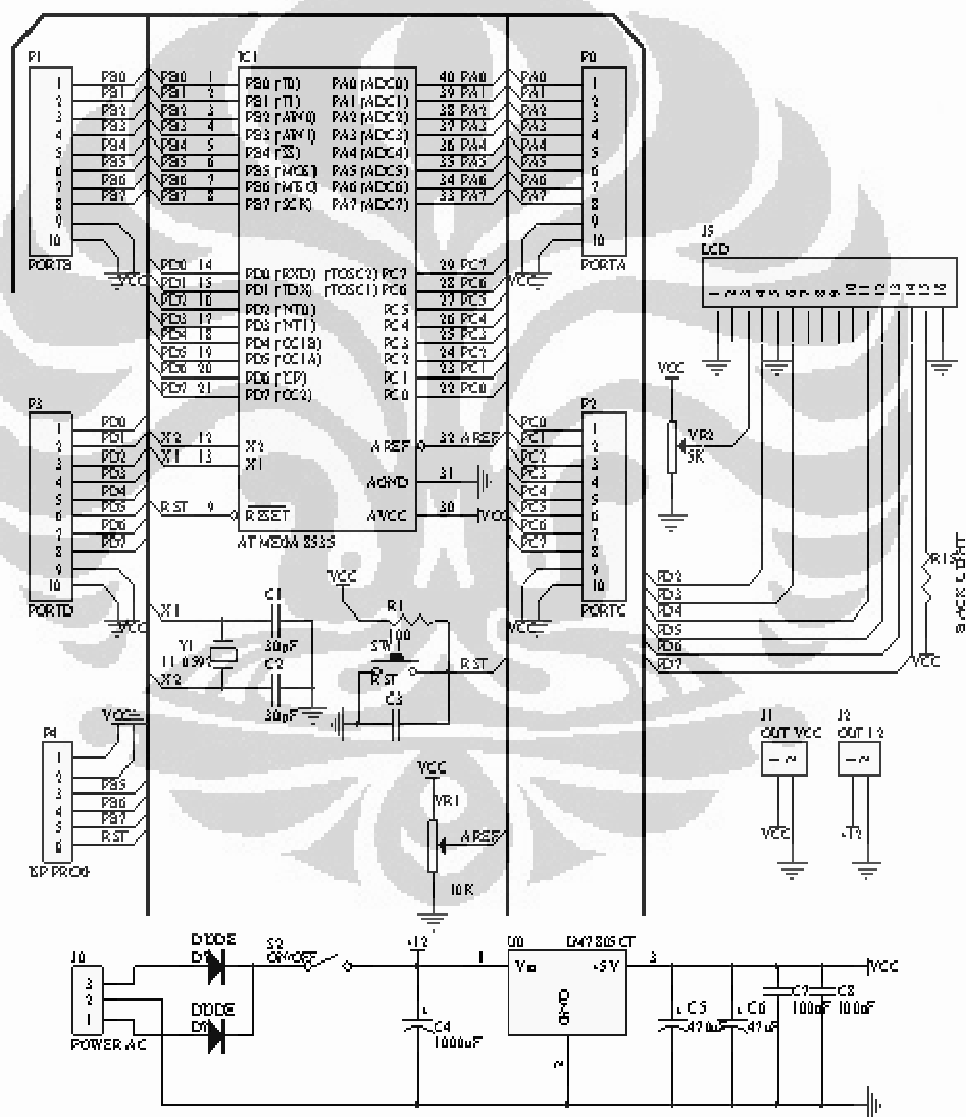
Dalam melakukan *scan* warna, akan diaktifkan semua filter pada *photodiode* secara bergantian. Untuk mengaktifkan filter maka digunakan pin 7 dan pin 8 pada sensor TCS230. Kedua pin ini terhubung pada *Port A* mikrokontroler, tepatnya pada *port A4* dan *port A5*. Pemberian logika untuk mengaktifkan filter dapat dilihat pada tabel dibawah

Tabel 3.1. Logika Pengaktifan Filter

S2	S3	PHOTODIODE TYPE
L	L	Red
L	H	Blue
H	L	Clear (no filter)
H	H	Green

### 3.3.2 Perancangan AVR ATMEGA 8535

Rangkaian sistem minimum mikrokontroler AVR ATMega 8535 ini adalah rangkaian standar agar sebuah mikrokontroller dapat bekerja sebagai pemroses data. Rangkaian ini telah dilengkapi dengan ISP (*In-System Programming*) yang dapat digunakan untuk memasukkan program dari PC ke mikrokontroler dan juga telah dilengkapi dengan rangkaian LCD *display* untuk tampilan berupa teks, angka ataupun string hasil eksekusi dari program dan rangkaian secara keseluruhan.



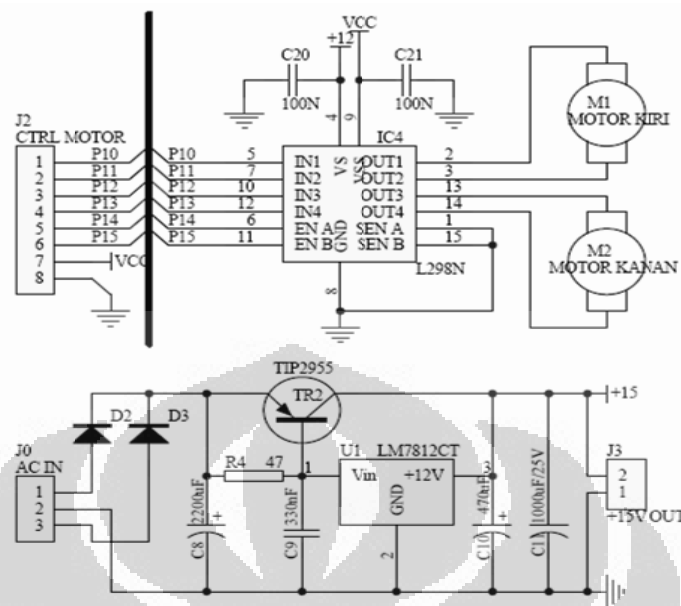
Gambar 3.6. Gambar Rangkaian Sistem Minimum ATMega 8535

Pada *port* A mikrokontroler, tepatnya *port* A.0 dan A.1 digunakan untuk mengendalikan skala output dari sensor TCS230 yaitu yang apabila keduanya diberi logika 0, maka sensor tersebut akan *power down* atau tidak aktif, penskalaan ini dilakukan dengan memberikan logika 1 atau 0 pada kaki pin 1 ( $S_0$ ) dan pin 2 ( $S_1$ ) di sensor TCS230 . Untuk nilai logika penskalaan frekuensi output dari sensor ini dapat dilihat pada tabel 2.1. Untuk mengatur filter yang akan digunakan oleh sensor maka pin 7 ( $S_2$ ) dan pin 8 ( $S_3$ ) dihubungkan ke *port* A.4 dan *port* A.5. Sedangkan untuk membaca output dari sensor ini di gunakan *timer* 1 yang berfungsi sebagai *counter* dari frekuensi sensor. Output sensor ini berada pada pin 6 sensor atau *out* dan dihubungkan ke *timer/counter* 1 yang berada pada *port* B.1.

Untuk mengetahui jarak serta posisi dari sensor dan kisi maka digunakan *encoder* yang terletak dibagian belakang motor DC dan menyatu dengan *shaft*. Terdapat dua motor untuk mengatur posisi dari sensor dan kisi. Nilai pulsa cacahan yang keluar dari *incremental optical encoder* dimasukkan kedalam *timer/counter* 0 atau *port* B.0, dari pulsa cacahan yang dihasilkan oleh *encoder* maka dapat dihitung jarak perpindahannya dengan menggunakan batang ulir yang memiliki perpindahan 2 mm/satu putaran pada murnya (akrilik), sedangkan output yang dikeluarkan oleh *encoder* adalah 100 pulsa/putaran, maka nilai 2 mm sama dengan 100 pulsa. Untuk membatasi gerakan motor maka digunakan 4 *limit switch* yang terhubung ke *port* B.3, *port* B.4, *port* D.0 dan *port* D.1.

Untuk hasil perhitungan panjang gelombang akan ditampilkan ke LCD. LCD di hubungkan ke *port* D, tepatnya adalah  $Db4 = \text{Portd}.4$  ,  $Db5 = \text{Portd}.5$  ,  $Db6 = \text{Portd}.6$  ,  $Db7 = \text{Portd}.7$  ,  $E = \text{Portd}.3$  ,  $Rs = \text{Portd}.2$ . Rangkaian mikro diatas telah dilengkapi dengan power suplai 5 volt, sehingga daya yang masuk langsung dari trafo. Mikrokontroller ini juga memiliki output 5 volt yang dapat digunakan untuk rangkaian yang membutuhkan tegangan DC 5 volt seperti sensor TCS230.

### 3.3.3 Perancangan Rangkaian Driver Motor



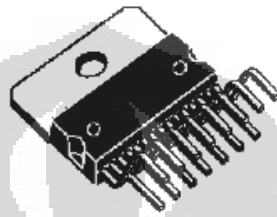
Gambar 3.7. Rangkaian *Driver Motor*

Rangkaian *driver motor* diatas menggunakan IC L298. Pada bagian inputnya dihubungkan ke mikrokontroler sehingga untuk menggerakkan motor dilakukan dengan memberikan logika *high* atau *low* pada kaki input tersebut. Putaran motor tergantung dari input yang diberikan oleh mikrkontroler. IC L298 dapat mengendalikan dua buah motor secara bersamaan. Rangkaian diatas telah dilengkapi dengan power suplai 15 volt. Tegangan 15 volt dihasilkan dari penyearah yang dilakukan oleh dioda, kemudian dari dioda terdapat transistor TIP 2955 yang berfungsi untuk membatasi arus beban yang masuk kedalam IC regulator 7815, hal ini dikarenakan output arus dari LM 7815 maksimal hanya 1 Ampere, sehingga jika arus berlebihan maka IC regulatornya akan rusak. Dengan adanya transistor ini arus beban sebagian besar akan dilewatkan pada transistor sehingga kerusakan pada regulator dapat dihindari.

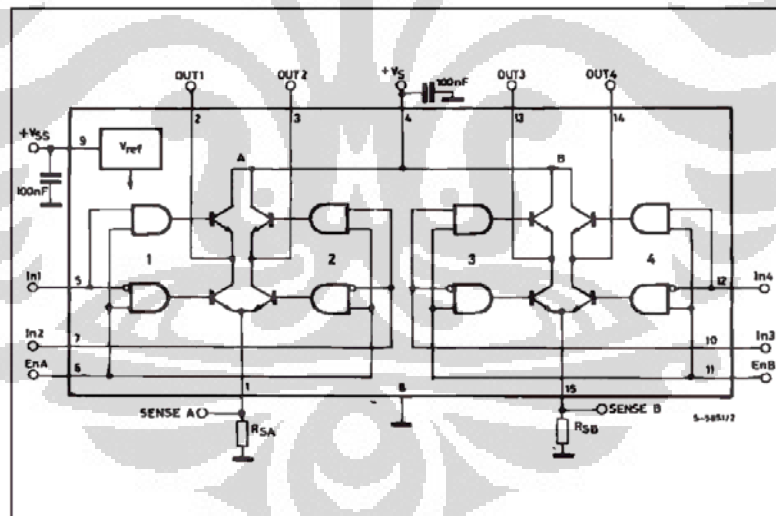
Rangkaian *driver motor* berfungsi untuk mengendalikan gerakan dengan input yang berasal dari mikrokontroler. Jika tidak menggunakan rangkaian ini maka input yang berasal dari mikrokontroler tidak akan mampu ntuk memutar motor karena terlalu lemah. Banyak rangkaian lain untuk mengendalikan motor salah satunya adalah dengan menggunakan transistor, IC L293, namun pada

kesempatan kali ini penulis menggunakan IC L298 sebagai *driver motor* karena memiliki beberapa kelebihan sebagai berikut :

- a. Tegangan Maksimum mencapai 46 Volt.
- b. Total arus mencapai 4 Ampere.
- c. Kemampuan Saturasi yang rendah.
- d. Melindungi dari temperatur tinggi.



Gambar 3.8. IC L298 *Driver Motor*

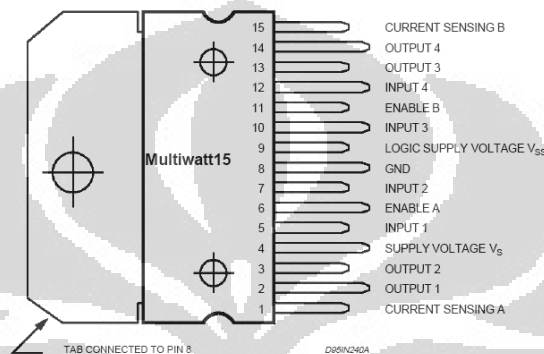


Gambar 3.9. Blok Diagram IC L298

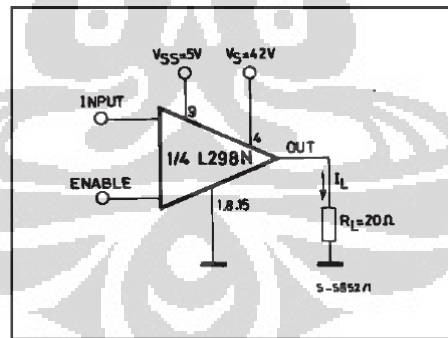
Gambar diatas merupakan konfigurasi kaki pada IC L298. Dari sini dapat dilihat pasangan transistor yang dirangkai secara Darlington yang berfungsi sebagai penguat arus.



Penguatan dengan menggunakan IC ini sangat praktis untuk motor berukuran kecil. Arus maksimal dapat mencapai 4 A. Pin 6 dan 11 merupakan kaki *enable* yang berfungsi sebagai pensaklaran, yang artinya apabila kaki 6 diberi logika *low* maka input 1 dan input 2 tidak akan berfungsi. Begitupun dengan kaki 11 yang akan menon-aktifkan input 3 dan input 4 apabila di beri logika *low*.



Gambar 3.10. Fungsi Dari Setiap Pin

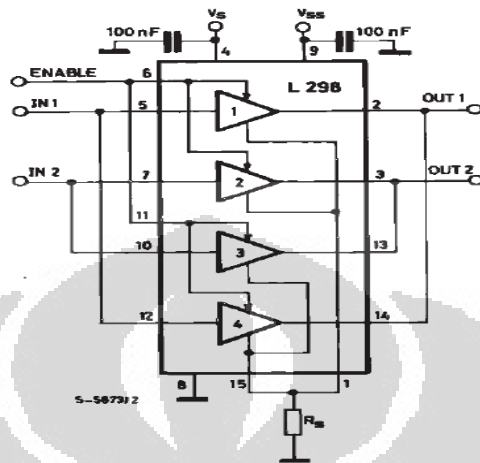


Note : For INPUT Switching, set EN = H  
For ENABLE Switching, set IN = H

Gambar 3.11. Logika Pensaklaran IC L298

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa untuk memberi supply input maka kaki *enable* dan input harus diberi kondisi set (*high*). Bila input dan *enable* dalam kondisi high maka output akan menghasilkan arus ( $I_L$ ) menuju beban ( $R_L$ ).

Agar dapat membuat motor dapat berjalan maka harus dipahami cara kerja driver motor. Cara kerja *driver motor* L298 dapat di ilustrasikan sebagai berikut :



Gambar 3.12. Ilustrasi Cara Kerja *Driver Motor*

Gambar diatas merupakan penyederhanaan dari IC L298.  $V_{ss}$  merupakan sumber tegangan 5V atau merupakan suplai untuk IC, Kemudian  $V_s$  merupakan suplai tegangan untuk motor dengan nilai tegangan maksimum mencapai 46V. Fungsi pensaklaran dikendalikan oleh *enable* kaki 6 dan 11 dimana kaki 6 mengendalikan input 1 dan input 2 sedangkan kaki 11 mengendalikan input 3 dan input 4. Bila kaki 5 diberi logika *high* dan kaki 7 diberi logika *low* maka motor akan bergerak maju namun bila kondisinya dibalik, kaki 5 diberi logika *low* sedangkan kaki 7 diberi logika *high* maka motor akan bergerak mundur. Untuk input kaki 10 dan 12 logikanya sama.

Tabel 3.2. Logika IC L298

Inputs		Function
$V_{en} = H$	C = H ; D = L	Forward
	C = L ; D = H	Reverse
	C = D	Fast Motor Stop
$V_{en} = L$	C = X ; D = X	Free Running Motor Stop

L = Low

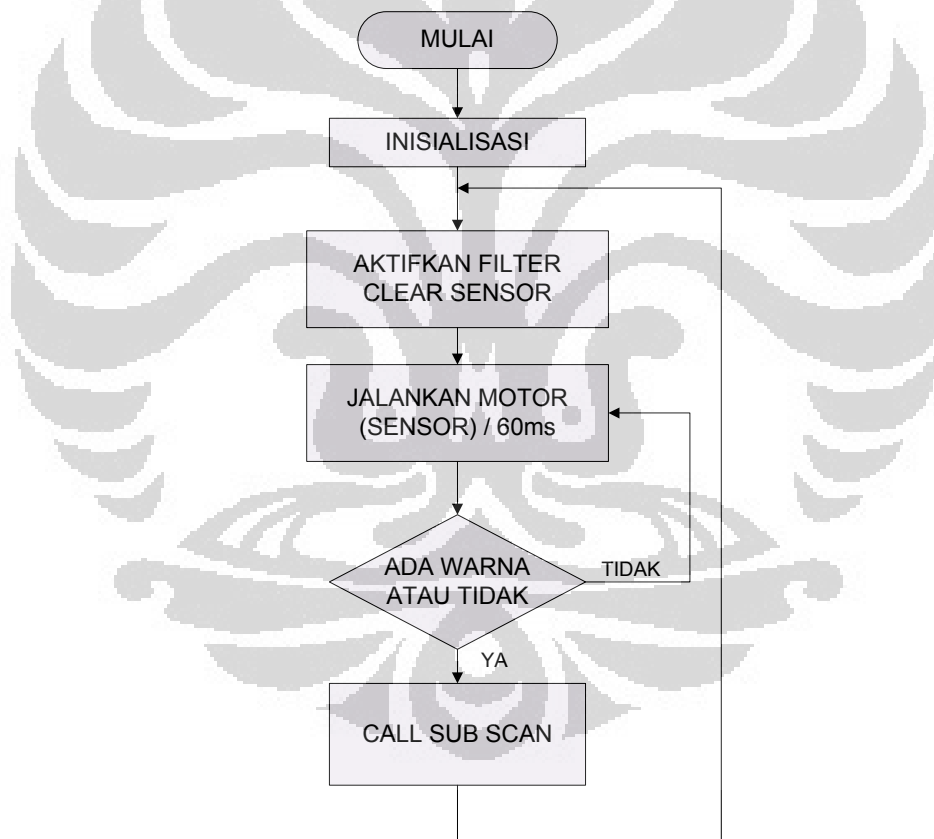
H = High

X = Don'tcare

Namun bila kaki *enable* diberi logika *low* dengan kondisi input X atau *don't care* (tidak peduli *high* atau *low*) maka motor akan stop (berhenti). Ada dua hal yang sangat disarankan dalam rangkaian *driver motor* ini yaitu menggunakan kapasitor kurang lebih 100nF ditempatkan diantara Vs dengan ground atau Vss dengan ground.

### 3.4 Perancangan Software

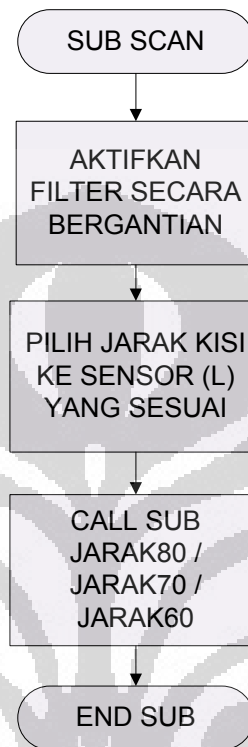
Pada perancangan *software* ini digunakan bahasa pemrograman *basic* dengan menggunakan *Basic Compiler AVR*.



Gambar 3.13. *Flow Chart* Program Utama

Garis besar pemrograman dapat dilihat pada gambar *flow chart*, yaitu program dimulai dengan inialisasi IC dan *crystal* yang digunakan, kemudian mikrokontroler akan mengaktifkan filter *clear* sensor dan menjalankan motor yang membawa sensor per 60 ms. Setelah 60 ms, motor akan berhenti sejenak

untuk mengecek apakah ada warna atau tidak dengan memeriksa *timer1*, jika ada warna maka lanjutkan dengan memanggil sub program *scan*, jika tidak ada warna motor akan kembali berjalan. Perpindahan akrilik sama dengan perpindahan sensor warna.



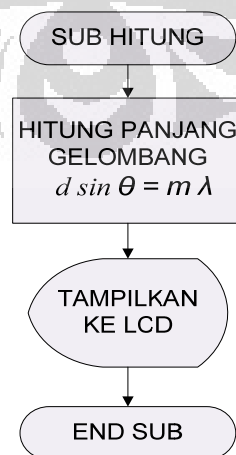
Gambar 3.14. Sub Program *Scan*

Gambar diatas adalah *flow chart* sub program *scan*, dimana setelah mikrokontroler mendeteksi adanya intensitas cahaya atau warna maka sub program *scan* akan bekerja dengan melakukan *scan* selama 100 ms untuk setiap filter (filter merah, filter biru, filter hijau), setelah di *scan* maka nilai dari *counter timer1* akan disimpan ke sebuah variabel, hal ini dilakukan untuk membandingkan isi *counter* dengan *database* di langkah selanjutnya. Kemudian setelah melakukan *scan* dan menyimpan nilainya pada variabel, mikrokontroler akan melakukan pengecekan jarak kisi terhadap sensor berdasarkan perpindahan motor2 dan jumlah pulsa yang dihasilkan. Setelah didapatn jarak yang sesuai maka program selanjutnya adalah memanggil sub program jarak yang sesuai dengan nilainya.



Gambar 3.15. Sub Program *Database* Berdasarkan Jarak

Sub program Jarak80, Jarak70 dan Jarak60 merupakan program yang menyimpan *database* dari data *counter* warna berdasarkan jarak yang telah diambil sebelumnya. Program ini akan membandingkan nilai variabel yang digunakan untuk menyimpan nilai *counter* warna pada sub program sebelumnya dengan *database*. Kemudian jika telah ditemukan warna yang sesuai dengan nilai *counternya* maka langkah selanjutnya adalah memanggil sub program Hitung untuk menghitung nilai panjang gelombang warna yang telah didapatkan.



Gambar 3.16. Sub Program Hitung

Setelah warna ditentukan di sub program Jarak80, Jarak70 dan Jarak60, maka perintah selanjutnya adalah menghitung panjang gelombang warna yang telah didapatkan. Perhitungan panjang gelombang dilakukan dengan menggunakan rumus

$$d \sin \theta = m\lambda, \quad m = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (3.1)$$

Dimana

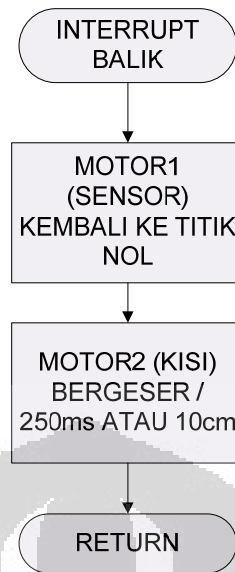
$d$  = adalah jarak celah/mm pada kisi difraksi.

$\sin \theta$  = jarak sensor ke titik terang pusat dibagi sisi miring.

$m$  = orde.

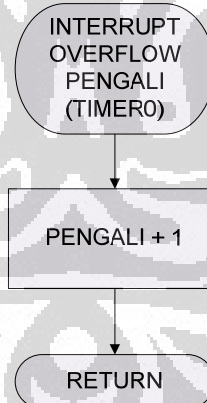
Nilai orde didapat dari jumlah paket warna yang di deteksi. Sebagai contoh, jika pada saat pertama kali memindai, kemudian sensor mendaptkan warna merah, berarti nilai “ $m$ ” untuk warna merah adalah sama dengan 1, kemudian pada saat pemindaian yang kedua kalinya dan menemukan warna merah maka nilai orde “ $m$ ” untuk kedua kalinya sama dengan 2, begitupun untuk warna-warna lainnya. Sedangkan untuk menentukan nilai dari  $\sin \theta$  maka nilai jarak merupakan hasil konversi dari nilai pulsa yang didapatkan dari *encoder* motor.

Setelah melakukan perhitungan, maka nilai panjang gelombang akan ditampilkan ke LCD. Setelah menampilkan di LCD, mikrokontroler akan memerintahkan untuk kembali ke program utama, dimana sensor akan kembali bergerak per 60 ms sampai ada nilai intensitas cahaya yang terdeteksi dan apabila terjadi interrupt maka mikrokontroller akan mengeksekusi program interrupt. Pada program alat ukur ini digunakan dua *interrupt* yaitu *interrupt 2* (INT2) dan *interrupt timer0* (*overflow*).



Gambar 3.17. Program *Interrupt Balik*

Program diatas berfungsi untuk membalikkan sensor ke titik nol dan menjalankan motor 2 sejauh 10 cm. Program ini akan berjalan ketika *limit switch* yang digunakan untuk membatasi pergerakan sensor bernilai *high*.



Gambar 3.18. Program *Interrupt Overflow Timer0*

Program ini berfungsi untuk mencatat dan meyimpan jumlah *overflow* yang dihasilkan oleh *timer0*. Hal ini dimaksudkan agar nilai *overflow* tersebut dapat digunakan untuk melakukan pengukuran jarak perpindahan dan juga jumlah pulsa yang dihasilkan selama putaran motor.

## BAB 4

### HASIL PERCOBAAN DAN ANALISA

Setelah dilakukan pengerjaan keseluruhan sistem, maka perlu dilakukan pengujian alat serta penganalisaan terhadap alat, apakah sistem sudah bekerja dengan baik atau tidak. Pengujian-pengujian tersebut meliputi :

- a. Pengujian Perpindahan.
- b. Pengujian Sensor
- c. Pengujian Sistem

#### 4.1 Pengujian Perpindahan

Pengujian perpindahan disini bertujuan untuk mengetahui jarak perpindahan dalam satu kali putaran batang ulir. Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan program BASCOM-AVR. Dalam program ini akan terjadi *interrupt* pada *timer0* jika jumlah pulsa telah mencapai 256 (*overflow* yang memicu terjadinya *interrupt*). Program ini menggunakan variabel “Pengali” yang berfungsi untuk mengetahui jumlah *interrupt* yang telah terjadi.

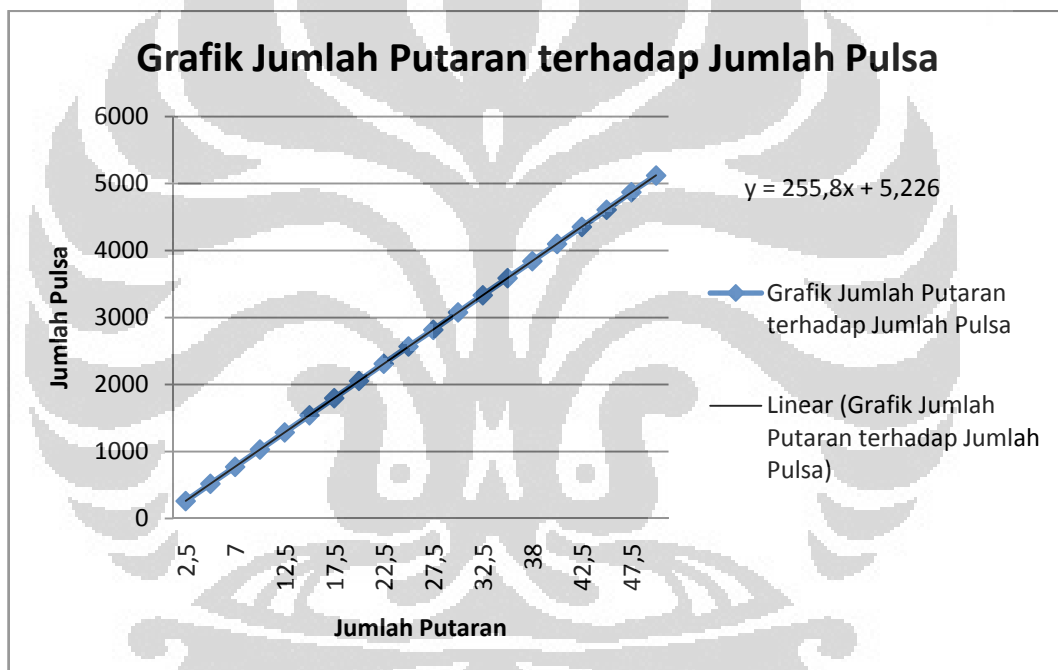
Tabel 4.1. Data Jumlah Putaran dan Jumlah Pulsa

Jumlah Putaran	Jumlah Pulsa
2.5	259
5	518
7	770
10	1029
12.5	1285
15	1541
17.5	1796
20	2053
22.5	2310
25	2567
27.5	2816



30	3077
32.5	3332
35	3588
38	3841
40	4098
42.5	4353
45	4608
47.5	4871
50	5120

Dari data-data diatas didapat garfik sebagai berikut :



Gambar 4.1. Grafik Jumlah Putaran terhadap Jumlah Pulsa

Dari grafik dapat diketahui bahwa jumlah pulsa meningkat sesuai dengan meningkatnya jumlah putaran, dan didapat nilai gardiennya adalah

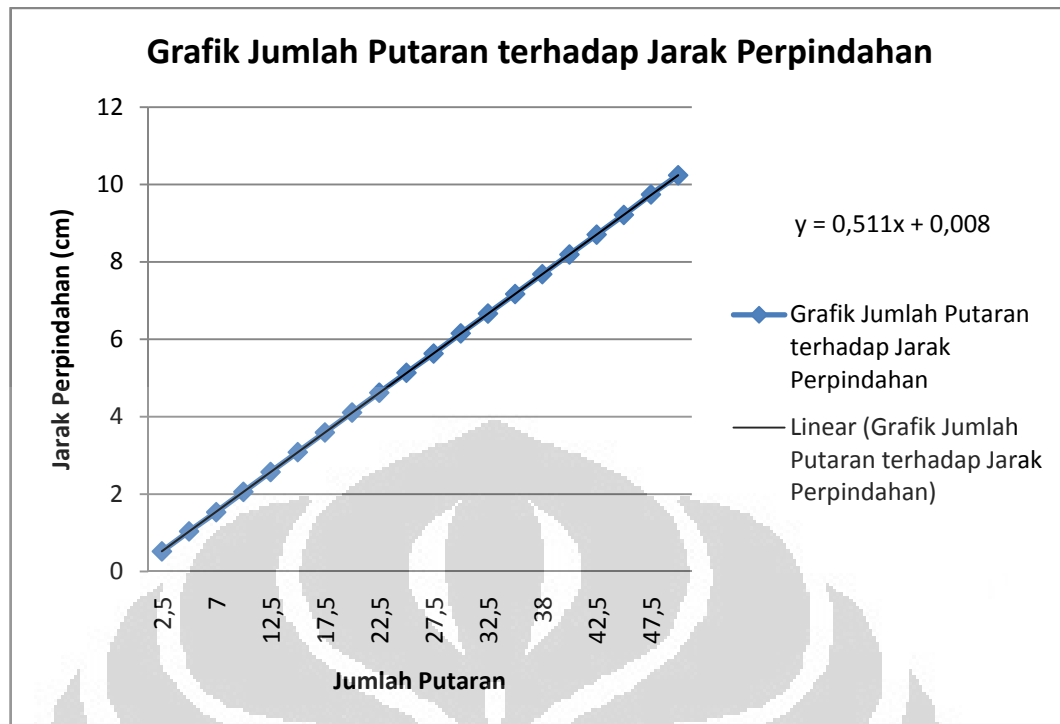
$$y = 255,8x + 5,226 \quad (4.1)$$

Nilai pulsa didapatkan dengan memutar *shaft* motor yang menyebabkan *encoder* yang terdapat pada motor ikut berputar sehingga terjadi *overflow* pada *timer0* dengan indikator LCD pada mikro menunjukkan nilai “variabel pengali”. Jika

terjadi *overflow* maka nilai input di *timer0* sudah mencapai batas atas yaitu 256 pulsa. 256 pulsa setara dengan perpindahan 5 mm atau 0.5 cm, seperti yang terlihat pada tabel dibawah.

Tabel 4.2. Data Jumlah Putaran dan Jarak Perpindahan

Jumlah Putaran	Jarak pengukuran mikro (cm)	Jarak Pengukuran sebenarnya (cm)
2.5	0.517	0.6
5.0	1.035	1.0
7.0	1.531	1.5
10.0	2.057	2.0
12.5	2.569	2.3
15.0	3.081	3.0
17.5	3.591	3.3
20.0	4.106	3.9
22.5	4.619	4.5
25.0	5.134	5.1
27.5	5.631	5.6
30.0	6.153	6.1
32.5	6.664	6.7
35.0	7.170	7.0
38.0	7.681	7.4
40.0	8.191	8.0
42.5	8.705	8.6
45.0	9.214	9.2
47.5	9.741	9.6
50.0	10.239	10.1



Gambar 4.2. Grafik Jumlah Putaran terhadap Jarak Perpindahan

Dari grafik diatas dapat dibuktikan bahwa jumlah putaran motor berbanding lurus dengan jarak perpindahannya dan dapat diketahui persamaan gradiennya yaitu,

$$y = 0,511x + 0,008 \quad (4.2)$$

Jika diketahui nilai pulsa 256 untuk perpindahan 5 mm maka dapat dihitung nilai jumlah pulsa untuk per satu putaran yaitu dengan menggunakan perbandingan :

$$\frac{256}{x} = \frac{5}{1}$$

$$5x = 256$$

$$x = 51.2 \text{ atau } 51 \quad (4.3)$$

diketahui bahwa nilai 1 mm sama dengan 51.2 pulsa, sedangkan batang ulir berpindah sejauh 2 mm dalam satu putaran, sehingga didapatkan nilai satu putaran motor sama dengan 102.4 pulsa dan perpindahan sejauh 2 mm atau 0,2 cm. Nilai error didapatkan karena motor tidak berhenti secara langsung pada saat perintah

untuk menghentikan motor yang terdapat pada program *interrupt* di eksekusi, akan tetapi motor masih berjalan, sehingga terdapat beberapa kelebihan pulsa yang terdeteksi oleh mikrokontroller. Nilai error ini masih dapat ditolerir karena kelebihan pulsa tersebut tidak mempengaruhi kerja keseluruhan sistem.

Dari hasil kedua pengolahan data diatas terdapat dua komponen yang sama yaitu putaran yang dilambangkan dengan  $x$ . Dengan demikian dapat diketahui jarak perpindahan dalam 1 pulsa yang dihasilkan dengan membandingkan dua persamaan tersebut.

$$\frac{y}{x} = 255,8 \text{ dan } \frac{y}{x} = 0,511 \quad (4.4)$$

Pada kedua nilai diatas terdapat dua komponen  $y$  yang berbeda yaitu komponen  $y$  untuk “ Jumlah Pulsa” dan “Jarak Perpindahan”. Perlu dilakukan pembedaan terhadap dua unsur  $y$  tersebut dengan mengganti  $y$  untuk “Jarak Perpindahan” dengan  $y^*$ . Kedua persamaan disubstitusikan sehingga didapatkan persamaan,

$$\frac{y^*}{y} = \frac{0,511}{255,8} = 0,0019 \text{ atau } 0.002 \text{ cm} \quad (4.5)$$

Dari hasil tersebut diatas dapat diketahui bahwa dalam 1 pulsa yang dihasilkan oleh *encoder* motor, mampu menghasilkan perpindahan sejauh 0.002 cm atau 0.02 mm.

## 4.2 Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui perubahan jumlah frekuensi yang dihasilkan oleh sensor terhadap warna yang diberikan. Sedangkan metode yang dilakukan adalah dengan menggunakan mikrokontroller dan memberikan logika yang berbeda secara bergantian pada kaki  $S_2$  dan  $S_3$  untuk mengaktifkan tiga filter serta menampilkan jumlah frekuensi yang dihasilkan ke LCD. Pengujian ini dilakukan dengan keluaran skala penuh (*full scale output*) dari sensor TCS230 dengan memberi logika 1 pada kaki  $S_0$  dan  $S_1$ .

Tabel 4.3. Frekuensi Sensor TCS230 pada Jarak  $\pm 80$  cm

Warna Biru		
Filter Merah ( $\times 10$ )	Filter Biru ( $\times 10$ )	Filter Hijau ( $\times 10$ )
48	277	66
47	276	67
48	277	67
48	277	67
47	278	67
123	1015	541
122	1017	541
122	1017	541
122	1016	540
122	1017	528
Warna Hijau		
Filter Merah ( $\times 10$ )	Filter Biru ( $\times 10$ )	Filter Hijau ( $\times 10$ )
185	784	1018
185	786	1019
185	786	1019
185	786	1020
184	785	1019
341	491	1442
340	491	1441
341	491	1441
340	492	1442
338	491	1443
Warna Merah		
Filter Merah ( $\times 10$ )	Filter Biru ( $\times 10$ )	Filter Hijau ( $\times 10$ )
1138	132	666
1137	133	665
1138	132	666
1138	133	666

1139	133	665
664	96	77
665	96	77
664	96	77
664	96	76
664	96	76

Dari tabel diatas maka dapat di buktikan bahwa penggunaan filter akan sangat berpengaruh terhadap warna yang akan dideteksi, apabila menggunakan filter yang sesuai dengan warna yang dideteksi, misalnya merah, maka nilai frekuensi merah akan jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai frekuensi warna-warna lain dengan menggunakan filter yang sama.

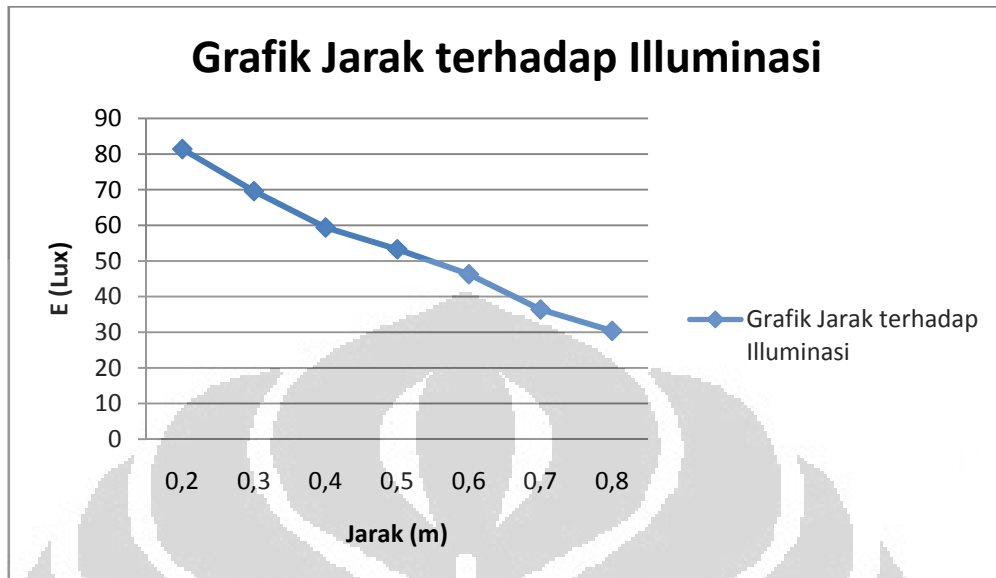
Karakteristik dari sensor TCS230 ini adalah peka terhadap intensitas cahaya, sehingga apabila intensitas cahaya lemah maka warna yang dihasilkan akan redup, hal ini akan berdampak pada nilai frekuensi yang dihasilkan oleh sensor. Jadi semakin besar nilai intensitas cahaya maka nilai frekuensi keluaran dari sensor akan semakin besar pula.

Dari pengujian hubungan intensitas terhadap jarak maka didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 4.4. Data Intensitas dan Jarak

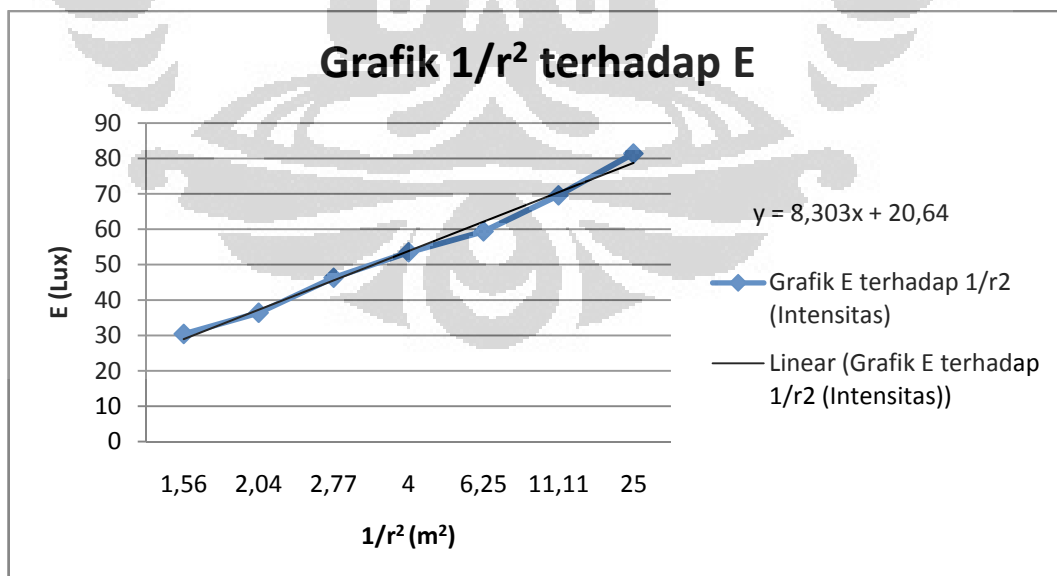
Jarak (m)	E (Lux)
0.8	30.4
0.7	36.4
0.6	46.3
0.5	53.5
0.4	59.4
0.3	69.6
0.2	81.4

Dari pengolahan data intensitas terhadap jarak, maka didapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.3. Grafik Illuminasi terhadap Jarak

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai illuminasi berbanding terbalik dengan jarak, semakin jauh jarak dari sumber cahaya maka nilai illuminasi akan semakin kecil, begitupun sebaliknya. Sedangkan jika menggunakan perbandingan nilai E dan  $1/r^2$  maka didapatkan grafik sebagai berikut,

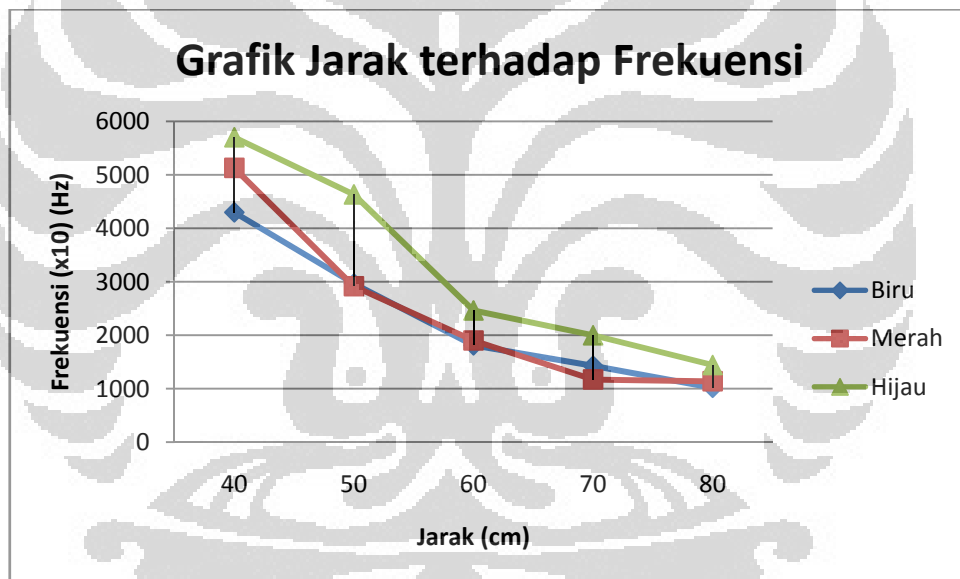


Gambar 4.4. Grafik Perbandingan E dan  $1/r^2$

Dari grafik perbandingan diatas maka dapat diketahui bahwa nilai intensitas akan semakin kecil jika nilai jarak dari sumber cahaya semakin besar dan begitupun sebaliknya. Dari grafik diatas didapat nilai gradiennya yaitu,

$$y = 8,303x + 20,64 \quad (4.6)$$

dikarenakan karakteristik dari sensor TCS230 adalah sensor yang tergantung pada intensitas cahaya, maka nilai output frekuensi pada sensor TCS230 akan semakin besar apabila jarak sensor ke sumber cahaya semakin dekat atau nilai jaraknya semakin kecil. Dari data output frekuensi sensor berdasarkan jarak yang terdapat pada lampiran maka didapat hubungan antara nilai jarak dan output frekuensi pada grafik dibawah,



Gambar 4.5. Grafik Hubungan Jarak terhadap Frekuensi

Sedangkan hubungan antara intensitas dengan panjang gelombang yang terdapat pada rumus,

$$I = \frac{w}{t.A} = \frac{h.c}{\lambda.t.A} \text{ dimana nilai } h = 6.6261 \times 10^{-34} \text{ J.s} \quad (4.7)$$

Berdasarkan rumus diatas maka nilai I (intensitas) juga bergantung pada nilai panjang gelombang dari suatu warna, sehingga apabila nilai panjang gelombangnya besar maka intensitasnya akan kecil.



### 4.3 Pengujian Sistem

Setelah melakukan pengujian perpindahan untuk mendapatkan nilai pulsa *encoder* motor yang di konversi ke jarak dan juga pengujian sensor untuk mendapatkan linearitas sensor terhadap warna dan juga jarak sumber cahaya terhadap output frekuensi sensor, maka yang terakhir adalah mencoba keseluruhan sistem kemudian mengambil data dan melakukan analisa terhadap data yang didapatkan. Dengan mengeset nilai jarak awal adalah 800 mm atau 80 cm, kemudian kisi yang digunakan adalah  $N = 300$  garis/mm, sehingga lebar celahnya adalah  $1/N = 1/300 = 0.0033$

Tabel 4.5. Data Hasil Percobaan untuk Warna Biru

Jarak Kisi ke Sensor = ±80 cm					
Jarak1 (mm)	Jarak2 (mm)	Warna	Orde	Panjang Gelombang (mm)	Panjang Gelombang (nm)
111.16	800	Biru	1	0.000454	454
111.40	800	Biru	1	0.000455	455
115.10	800	Biru	1	0.000469	469
111.04	800	Biru	1	0.000454	454
111.50	800	Biru	1	0.000455	455
115.98	800	Biru	1	0.000473	473
116.80	800	Biru	1	0.000474	474
110.22	800	Biru	1	0.000450	450
115.54	800	Biru	1	0.000472	472
111.46	800	Biru	1	0.000455	455

Berdasarkan data yang terdapat pada tabel diatas, nilai panjang gelombang didapatkan dengan menggunakan rumus,

$$d \sin \theta = m \lambda, \text{ dimana } m = 1 \quad (4.8)$$

sedangkan untuk menghitung nilai standar deviasi panjang gelombang, digunakan rumus,

$$F = X^* + \left[ \frac{\sum_i f_i (x_i - \bar{x})}{N} \frac{Z-A}{K} \right] \quad (4.9)$$

dan

$$S = \left[ \frac{\sum_i f_i (x_i - \bar{x})^2 - (\sum_i f_i (x_i - \bar{x}))^2}{N(N-1)} \right]^{1/2} \frac{Z-A}{K} \quad (4.10)$$

Hasil akhir  $X = F \pm S$

Dengan menggunakan data panjang gelombang (dalam *nm*), maka dapat dihitung nilai deviasinya yaitu :

Z = Nilai terbesar

A = Nilai terkecil

K =  $3.3 \log N + 1$ , dimana N adalah jumlah data

Dari rumus Z-A/K maka didapatkan interval yaitu, 5.581 atau 6, sehingga dapat dibuat tabel seperti dibawah,

Tabel 4.6. Perhitungan Standar Deviasi untuk Warna Biru

Range Panjang Gelombang	$X_i$	$f_i$	$x_i$	$\bar{x}$	$x_i - \bar{x}$	$f_i(x_i - \bar{x})$	$f_i(x_i - \bar{x})^2$
448 – 454	451	3	0	3	-3	-9	27
455 – 461	458	3	1	3	-2	-6	12
462 – 468	465	0	2	3	-1	0	0
469 - 475	472	4	3	3	0	0	0
$\sum$		10				-15	39

$X^*$  = nilai  $x_i$  dengan frekuensi terbesar yaitu 472

$F = 463$

$S = 36.25$  atau 36

Sehingga didapat nilai akhir yaitu,

*Panjang Gelombang* =  $463 \pm 36$  nm

Dengan menggunakan rumus yang sama untuk mencari standar deviasi panjang gelombang warna hijau. Perhitungannya dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 4.7. Data Percobaan untuk Warna Hijau

Jarak Kisi ke Sensor = $\pm 80$ cm					
Jarak1 (mm)	Jarak2 (mm)	Warna	Orde	Panjang Gelombang (mm)	Panjang Gelombang (nm)
140.06	800	Hijau	1	0.000569	569
142.30	800	Hijau	1	0.000578	578
140.76	800	Hijau	1	0.000572	572
135.56	800	Hijau	1	0.000551	551
136.38	800	Hijau	1	0.000554	554
131.66	800	Hijau	1	0.000536	536
131.48	800	Hijau	1	0.000535	535
131.52	800	Hijau	1	0.000551	551
131.36	800	Hijau	1	0.000535	535
135.28	800	Hijau	1	0.000550	550

Tabel 4.8. Perhitungan Standar Deviasi untuk Warna Hijau

Range Panjang Gelombang	$X_i$	$f_i$	$x_i$	$\bar{x}$	$x_i - \bar{x}$	$f_i(x_i - \bar{x})$	$f_i(x_i - \bar{x})^2$
527 - 537	532	3	0	2	-2	-6	12
538 - 548	543	0	1	2	-1	0	0
549 - 559	554	4	2	2	0	0	0
560 - 570	565	1	3	2	1	1	1
571 - 581	576	2	4	2	2	4	8
$\Sigma$		10				-1	21

Dengan menggunakan interval 10, maka didapatkan range untuk nilai panjang gelombang warna hijau seperti pada tabel diatas. Sehingga nilai hasil perhitungan yaitu,

$$Z - A / K = 10$$

$X^*$  = nilai  $x_i$  dengan frekuensi terbesar yaitu 554

$$F = 553$$

$$S = 45.81 \text{ atau } 46$$

Sehingga didapat nilai akhir yaitu,

$$\text{Panjang Gelombang} = 553 \pm 46 \text{ nm}$$

Untuk pengukuran standar deviasi panjang gelombang warna merah dapat dilihat pada tabel dibawah,

Tabel 4.9. Data Percobaan untuk Warna Merah

Jarak Kisi ke Sensor = $\pm 80$ cm					
Jarak1 (mm)	Jarak2 (mm)	Warna	Orde	Panjang Gelombang (mm)	Panjang Gelombang (nm)
166.42	800	Merah	1	0.000672	672
165.54	800	Merah	1	0.000669	669
165.94	800	Merah	1	0.000670	670
161.34	800	Merah	1	0.000652	652
165.42	800	Merah	1	0.000670	670
165.92	800	Merah	1	0.000670	670
160.50	800	Merah	1	0.000649	649
160.78	800	Merah	1	0.000650	650
161.42	800	Merah	1	0.000652	652
165.24	800	Merah	1	0.000667	667

Tabel 4.10. Perhitungan Standar Deviasi untuk Warna Merah

Range Panjang Gelombang	$X_i$	$f_i$	$x_i$	$\bar{x}$	$x_i - \bar{x}$	$f_i(x_i - \bar{x})$	$f_i(x_i - \bar{x})^2$
646 - 651	649	2	0	4	-4	-8	32
652 - 657	665	2	1	4	-3	-6	18
658 - 663	661	0	2	4	-2	0	0
664 - 669	667	2	3	4	-1	-2	2
670 - 675	673	4	4	4	0	0	0
$\Sigma$		10				-16	52

$X^*$  = nilai  $x_i$  dengan frekuensi terbesar yaitu 673

$$F = 664.442$$

$$S = 37.50 \text{ atau } 36$$

Sehingga didapat nilai akhir yaitu,

$$\text{Panjang Gelombang} = 664 \pm 36 \text{ nm}$$

Tabel 4.11. Hasil Perhitungan Standar Deviasi untuk jarak  $\pm 80$ ,  $\pm 70$  dan  $\pm 60$  cm

Jarak \ Warna	$\pm 80$ cm	$\pm 70$ cm	$\pm 60$ cm
Biru (nm)	463 $\pm$ 36	475 $\pm$ 41.89	467 $\pm$ 32.5
Hijau (nm)	553 $\pm$ 46	571 $\pm$ 29.72	575 $\pm$ 31.1
Merah (nm)	664 $\pm$ 36	701 $\pm$ 29.75	706 $\pm$ 74.6

Berdasarkan data pada tabel diatas maka dapat diketahui bahwa, nilai standar deviasi untuk warna yang sama pada jarak yang berbeda memiliki range yang hampir sama satu dengan yang lain, sehingga dapat dikatakan bahwa nilai panjang gelombang cahaya tampak pada jarak yang berbeda memiliki range yang sama.

Sedangkan untuk kesalahan relatif untuk setiap pengukuran didapatkan dengan menggunakan rumus,

$$Rata - rata = \frac{\sum Panjang\ Gelombang}{N} \quad (4.11)$$

$$Kesalahan\ Relatif = \frac{Standar\ Deviasi}{Rata-rata} \times 100\% \quad (4.12)$$

Sehingga didapatkan nilai kesalahan relatif yaitu,

Tabel 4.12. Kesalahan Relatif untuk setiap Pengukuran

Pengukuran Warna	Kesalahan Relatif berdasarkan jarak (%)		
	±80 cm	±70 cm	±60 cm
Biru	7.81	8.87	6.70
Hijau	8.32	5.20	5.45
Merah	5.44	4.42	10.50

Dari data panjang gelombang yang didapatkan, terlihat bahwa pengujian yang dilakukan mendekati nilai panjang gelombang teori. Nilai panjang gelombang yang didapatkan masih dalam range yang sama walaupun dengan jarak yang berbeda. Nilai panjang gelombang yang diambil hanya pada jarak  $\pm 60$ ,  $\pm 70$  dan  $\pm 80$  cm, hal ini dikarenakan warna yang dihasilkan pada jarak 10, 20, 30, 40, 50 cm terlalu rapat sehingga sensor susah untuk membedakan, sedangkan nilai orde yang diambil hanya orde 1, hal ini disebabkan oleh karakteristik sensor TCS230 yang mendeteksi cahaya berdasarkan intensitas, oleh karena intensitas pada orde 2 jarak 60, 70 dan 80 cm terlalu lemah sehingga sensor juga sulit untuk mendeteksinya.

## 5.2 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian melakukan perancangan sistem serta pengujian terhadap sistem tersebut, maka penulis dapat mengambil kesimpulan bahwa :

- a. Panjang gelombang cahaya tampak pada jarak yang berbeda memiliki range yang sama.
- b. Konstruksi mekanik yang telah dibuat mampu melakukan perpindahan sejauh 2 mm dalam sekali putaran.
- c. *Incremental encoder* mampu menghasilkan 100 pulsa dalam sekali putaran.
- d. Batang ulir yang digunakan mengalami lengkungan pada bagian tengahnya sehingga menyebabkan getaran pada akrilik.
- e. Sensor warna (TCS230) yang digunakan pada sistem ini tidak sesuai, hal ini dikarenakan apabila terjadi perubahan jarak, maka akan terjadi perubahan frekuensi yang dideteksi oleh sensor, sehingga dibutuhkan *database* memori yang banyak untuk menampung semua nilai perubahan frekuensi terhadap jarak.

### 5.3 Saran

Saran yang bisa penulis sampaikan untuk pengembangan dan penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut :

- a. Mekanik yang dibuat harus memperhatikan bahan yang digunakan sehingga mendapatkan hasil yang sesuai dengan keinginan.
- b. Konstruksi mekanik khususnya pada batang ulir harus dibuat sepresisi mungkin, hal ini untuk mengurangi tingkat *error* pada sistem.
- c. Sensor yang digunakan harus sesuai dengan kondisi pengukuran.





## **BAB 5**

### **ANALISA DAN KESIMPULAN**

#### **5.1 Analisa**

Pada bab ini akan dijelaskan tentang analisa dari keseluruhan proses yang telah dilakukan. Adapun analisa yang dilakukan dibagi menjadi beberapa bagian yaitu :

##### **5.1.1 Analisa Mekanik**

Analisa dari sistem ini ditujukan pada konstruksi mekanik. Hal ini dikarenakan pada bagian tersebut ada beberapa bagian yang tidak sesuai dengan yang direncanakan, walaupun tidak mengganggu proses kerja dari keseluruhan sistem.

Pada konstruksi mekanik yang telah dibuat, pergerakan dari sensor dan sumber cahaya mengalami getaran pada bagian tengah baut, hal ini disebabkan karena posisi baut yang melengkung pada bagian tengahnya karena bagian tersebut merupakan simpangan terbesar pada lengkungan baut. Hal ini menyebabkan sumber cahaya yang kurang fokus pada satu titik, namun tidak mengganggu proses keseluruhan.

##### **5.1.2 Analisa Data**

Dari data yang diperoleh melalui pengujian secara keseluruhan sistem, didapat hasil yang mendekati dengan apa yang diinginkan. Misalnya data yang diperoleh dari pengujian pulsa. Dari data yang diperoleh terlihat bahwa jumlah pulsa yang dihasilkan tiap putaran adalah 102.4 pulsa. Nilai ini didapatkan dari hasil perhitungan matematik. Jika ditinjau dari software, data pulsa selalu bulat, hal ini disebabkan karena pengujian yang dilakukan mendapatkan hasil yang berbeda walaupun masih dalam batas yang seharusnya, sehingga nilai pengujian tersebut dirata-ratakan dan didapatkan hasil seperti diatas.

## DAFTAR ACUAN

- [1] Beiser Arthur (3rd Edition). *Konsep Fisika Modern* (Houw Liong, Penerjemah), Jakarta: Erlangga.
- [2] “Cahaya”,  
<<http://id.wikipedia.org/w/index.php?title=Cahaya&action=edit&section=17>>
- [3] Fisika/Paul A. Tipler (-Ed.3, Cet.1.-). *Fisika untuk Sains dan Teknik* (Bambang Soegijono, Penerjemah.). Jakarta: Erlangga.
- [4] Iswanto (edisi pertama)., “*Design dan Implementasi Sistem Embeded Mikrokontroller ATMegs8535 dengan Bahasa Basic*”, Jogjakarta, Gava Media





## Program Utama :

```
$regfile = "m8535.dat"           'inisialisai hardware yang dipakai
$crystal = 4000000              'inisialisasi crystal yang digunakan
$sim

Config Lcd = 16 * 2

Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portd.4 , Db5 = Portd.5 , Db6 = Portd.6 , Db7 =
Portd.7 , E = Portd.3 , Rs = Portd.2

Config Timer1 = Counter , Edge = Falling      'Counter untuk sensor
Config Timer0 = Counter , Edge = Falling      'Counter untuk Motor1 dan 2
Config Int2 = Rising

'Alias untuk sensor
S0 Alias Porta.0
S1 Alias Porta.1
S2 Alias Porta.4
S3 Alias Porta.5

'Deklarasi Variabel
Dim Pulsa As Word
Dim Pulsa_motor As Word
Dim Pulsa_motor2 As Word
Dim M As Word
Dim H As Word
Dim B As Word
Dim Pengali As Word
Dim Merah As Word
Dim Hijau As Word
Dim Biru As Word
Dim Q As Word
Dim W As Word
Dim E As Word
Dim D As Single
Dim Teta As Single
Dim Jarak_sensor As Single
```

Dim Jarak\_kisi As Single  
Dim Jarak\_awal As Single  
Dim Var\_jarakkisi As Single  
Dim Var2\_jarakkisi As Single  
Dim P As Single  
Dim O As Single  
Dim Sisi\_miring As Single  
Dim Kisi As Single  
Dim Nilai\_akhir As Single

Pengali = 0  
Merah = 0  
Hijau = 0  
Biru = 0  
Q = 0  
W = 0  
E = 0  
D = 1 / 300  
Jarak\_awal = 800

'Interrupt OverFlow  
On Ovf0 Pengali  
On Int2 Balik

'deklarasi untuk sensor  
Config Porta.0 = Output  
Config Porta.1 = Output  
Config Porta.4 = Output  
Config Porta.5 = Output

'deklarasi untuk limit switch  
Config Portb.3 = Input                   'limit switch 1  
Config Portb.4 = Input                   'limit switch 2  
Config Portd.0 = Input                   'limit switch 3

Config Portd.1 = Input

'limit switch 4

'deklarasi untuk kontrol driver motor "Ground dan Vcc"

Config Porta.6 = Output

'port motor untuk sensor

Config Porta.7 = Output

'port motor untuk sensor

Config Portb.6 = Output

'port motor untuk kisi

Config Portb.7 = Output

'port motor untuk kisi

'deklarasi sub program

Declare Sub Hitung

Declare Sub Scan

Declare Sub Jarak80

Declare Sub Jarak70

Declare Sub Jarak60

'Interrupt Global

Enable Ovf0

Enable Int2

Enable Interrupts

S0 = 1

S1 = 1

S2 = 1

S3 = 0

Start Timer0

Start Timer1

'===== Jalankan Motor1 (sensor) =====

Mulai:

Do

Cls

If Timer1 > 5 Then

Call Scan

Else

```

Cls
Lcd "Jalan"
Start Timer0
Pulsa_motor = 0
Portb.7 = 0
Set Portb.6
Waitms 60
Reset Portb.6
Waitms 940
Timer1 = 0
End If
Loop
'----- Baca Sensor TCS230 -----
Sub Scan
Reset Portb.7
Reset Portb.6
Stop Timer0
Pulsa_motor = Timer0

'Program Scan Warna
Cls
S2 = 1
S3 = 1
Timer1 = 0
H = 0
Start Timer1
Waitms 100
Stop Timer1
H = Timer1
Lcd "Filter Hijau :"
Lowerline
Lcd ; H
Waitms 100
Cls

```

```

S2 = 0
S3 = 1
Timer1 = 0
B = 0
Start Timer1
Waitms 100
Stop Timer1
B = Timer1
Lcd "Filter Biru : "
Lowerline
Lcd ; B
Waitms 100

Cls
S2 = 0
S3 = 0
Timer1 = 0
M = 0
Start Timer1
Waitms 100
Stop Timer1
M = Timer1
Lcd "Filter Merah : "
Lowerline
Lcd ; M
Waitms 100
'Program Pemilihan Jarak
If Var2_jarakkisi > 750 And Var2_jarakkisi < 810 Then
Call Jarak80
End If

If Var2_jarakkisi > 650 And Var2_jarakkisi < 740 Then
Call Jarak70
End If

```



```
If Var2_jarakkisi > 550 And Var2_jarakkisi < 640 Then
Call Jarak60
End If
```

```
Start Timer0
Portb.7 = 0
Set Portb.6
Waitms 60
Reset Portb.6
Waitms 940
Timer1 = 0
Enable Timer1
Start Timer1
S2 = 1
S3 = 0
End Sub
```

```
'=====Sub-Program Pemilihan Warna untuk jarak 80=====
```

```
Sub Jarak80
```

```
If M > 600 And M < 1200 Then
Cls
Lcd "Merah "
Waitms 100
Merah = 1
O = Merah
Call Hitung
Elseif B > 260 And B < 1100 Then
Cls
Lcd "Biru"
Waitms 100
Biru = 1
O = Biru
Call Hitung
```

Elseif H > 1200 And H < 1500 Then

Cls

Lcd "Hijau"

Waitms 100

Hijau = 1

O = Hijau

Call Hitung

End If

End Sub

'=====Sub-Program Pemilihan Warna untuk jarak 70=====

Sub Jarak70

If M > 810 And M < 1190 Then

Cls

Lcd "Merah "

Waitms 100

Merah = 1

O = Merah

Call Hitung

Elseif B > 450 And B < 1430 Then

Cls

Lcd "Biru"

Waitms 100

Biru = 1

O = Biru

Call Hitung

Elseif H > 1440 And H < 2010 Then

Cls

Lcd "Hijau"

Waitms 100

Hijau = 1

O = Hijau

Call Hitung

End If

End Sub

'=====Sub-Program Pemilihan Warna untuk jarak 60=====

Sub Jarak60

If M > 920 And M < 2000 Then

Cls

Lcd "Merah "

Waitms 100

Merah = 1

O = Merah

Call Hitung

Elseif B > 650 And B < 1820 Then

Cls

Lcd "Biru"

Waitms 100

Biru = 1

O = Biru

Call Hitung

Elseif H > 1820 And H < 2500 Then

Cls

Lcd "Hijau"

Waitms 100

Hijau = 1

O = Hijau

Call Hitung

End If

End Sub

'===== Sub Hitung Panjang Gelombang =====

Sub Hitung

Cls

Jarak\_sensor = Pengali \* 250

Jarak\_sensor = Jarak\_sensor + Pulsa\_motor

Jarak\_sensor = Jarak\_sensor / 100

Jarak\_sensor = Jarak\_sensor \* 2

P = Jarak\_sensor

Jarak\_sensor = Jarak\_sensor ^ 2

Var2\_jarakkisi = Var2\_jarakkisi ^ 2

Sisi\_miring = Jarak\_sensor + Var2\_jarakkisi

Sisi\_miring = Sqr(sisi\_miring)

Teta = P / Sisi\_miring

Kisi = D \* Teta

Nilai\_akhir = Kisi / O

Upperline

Lcd "Pjng Gelombang"

Lowerline

Lcd ; Nilai\_akhir

Wait 1

End Sub

'===== Jalankan Motor2 (kisi) =====

Balik:

Disable Int2

Timer0 = 0

Pulsa\_motor2 = 0

Cls

Lcd "Balik arah"

Portb.6 = 0

Portb.7 = 1

Bitwait Pinb.3 , Set

Cls

Lcd "motor 2"

```

Portb.6 = 0
Portb.7 = 0
Pengali = 0
Pulsa_motor2 = 0
Start Timer0
Porta.7 = 1
Porta.6 = 0
Waitms 250
Porta.7 = 0
Porta.6 = 0
Stop Timer0
Pulsa_motor2 = Timer0
Jarak_kisi = Pengali * 250
Jarak_kisi = Jarak_kisi + Pulsa_motor2
Jarak_kisi = Jarak_kisi / 100
Jarak_kisi = Jarak_kisi * 2
Var_jarakkisi = Jarak_awal - Jarak_kisi
Jarak_awal = Var_jarakkisi
Var2_jarakkisi = Var_jarakkisi
Timer0 = 0
Timer1 = 0
Enable Int2
Return
'===== Pengali Overflow Interrupt =====
Pengali:
Pengali = Pengali + 1
Return

```

**Program untuk menghitung jarak perpindahan dan jumlah pulsa :**

\$regfile = "m8535.dat"

'inisialisai hardware yang dipakai

\$crystal = 4000000

'inisialisasi crystal yang digunakan

Config Lcd = 16 \* 2

Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portd.4 , Db5 = Portd.5 , Db6 = Portd.6 , Db7 = Portd.7 , E = Portd.3 , Rs = Portd.2

Config Timer0 = Counter , Edge = Rising

On Ovf0 Interrupt

Enable Ovf0

Enable Interrupts

Dim R As Word

Dim Pengali As Word

Dim Jarak As Single

Config Porta.6 = Output

Config Porta.7 = Output

Timer0 = 0

R = 0

Start Timer0

Do

Cls

Porta.6 = 0

Set Porta.7

Waitus 1000

Reset Porta.7

Waitus 1000

Loop

Interrupt:

Pengali = Pengali + 1

Reset Porta.7

Cls

Stop Timer0

R = Timer0

Upperline

Lcd ; Pengali

Lowerline

Lcd ; R

Wait 1

Cls

Jarak = Pengali \* 256

Jarak = Jarak + R

Jarak = Jarak / 100

Jarak = Jarak \* 0.2

Cls

Lcd ; Jarak

Wait 1

Start Timer0

Return

**Data frekuensi warna terhadap jarak :**

Tabel 1. Data Frekuensi Warna terhadap Jarak  $\pm 70$  cm

Warna Biru (Hz)		
Filter Merah ( $\times 10$ )	Filter Biru ( $\times 10$ )	Filter Hijau ( $\times 10$ )
66	456	100
65	456	100
66	456	100
66	456	100
66	456	100
163	1428	648
163	1427	648
163	1427	648
162	1426	648
163	1426	648
Warna Hijau (Hz)		
Filter Merah ( $\times 10$ )	Filter Biru ( $\times 10$ )	Filter Hijau ( $\times 10$ )
260	1013	1415
260	1013	1415
260	1012	1415
260	1012	1415
260	1013	1414
555	552	1998
555	552	1999
555	552	2000
555	552	2000
556	552	1999
Warna Merah (Hz)		
Filter Merah ( $\times 10$ )	Filter Biru ( $\times 10$ )	Filter Hijau ( $\times 10$ )
1172	178	987
1172	178	987
1172	178	987



1171	178	987
1172	178	987
814	117	94
814	117	94
814	117	94
814	117	95
814	117	95

Tabel 2. Data Frekuensi Warna terhadap Jarak  $\pm 60$  cm

Warna Biru (Hz)		
Filter Merah ( $\times 10$ )	Filter Biru ( $\times 10$ )	Filter Hijau ( $\times 10$ )
88	658	133
89	658	133
88	658	133
88	658	133
88	658	133
202	11811	822
202	11811	822
202	11811	822
202	11812	822
202	11811	822
Warna Hijau (Hz)		
Filter Merah ( $\times 10$ )	Filter Biru ( $\times 10$ )	Filter Hijau ( $\times 10$ )
323	1328	1826
323	1328	1826
323	1328	1826
323	1328	1826
323	1328	1826
874	565	2465

874	565	2465
874	565	2465
874	564	2465
874	564	2465
<b>Warna Merah (Hz)</b>		
<b>Filter Merah (× 10)</b>	<b>Filter Biru (× 10)</b>	<b>Filter Hijau (× 10)</b>
1901	186	633
1900	185	633
1900	186	633
1900	186	634
1900	186	634
925	148	111
924	148	112
924	148	111
924	148	111
924	148	111

Tabel 3. Data Frekuensi Warna terhadap Jarak  $\pm 80$  cm Orde 2

Warna Biru (Hz)		
Filter Merah ( $\times 10$ )	Filter Biru ( $\times 10$ )	Filter Hijau ( $\times 10$ )
32	300	70
31	301	72
30	305	74
31	301	70
31	301	71
100	1307	210
99	1307	216
101	1309	215
99	1309	214
100	1309	216
Warna Hijau (Hz)		
Filter Merah ( $\times 10$ )	Filter Biru ( $\times 10$ )	Filter Hijau ( $\times 10$ )
50	129	345
50	126	345
53	129	344
57	126	346
55	129	342
123	226	648
124	227	648
120	226	648
119	227	648
122	226	648
Warna Merah (Hz)		
Filter Merah ( $\times 10$ )	Filter Biru ( $\times 10$ )	Filter Hijau ( $\times 10$ )
989	96	563
987	97	564
989	95	566
987	98	564

989	94	565
635	117	289
636	117	287
635	117	285
636	117	288
635	117	285

Tabel 4. Data Frekuensi Warna terhadap Jarak  $\pm 70$  cm Orde 2

Warna Biru (Hz)		
Filter Merah ( $\times 10$ )	Filter Biru ( $\times 10$ )	Filter Hijau ( $\times 10$ )
60	245	50
62	244	54
59	246	54
63	245	53
60	244	52
150	956	110
153	955	117
152	957	117
151	954	115
149	952	116
Warna Hijau (Hz)		
Filter Merah ( $\times 10$ )	Filter Biru ( $\times 10$ )	Filter Hijau ( $\times 10$ )
35	96	299
34	94	300
37	97	304
38	96	302
37	96	302
78	186	478
79	184	477
78	185	476
79	184	475

76	186	475
Warna Merah (Hz)\		
Filter Merah (× 10)	Filter Biru (× 10)	Filter Hijau (× 10)
723	79	306
725	82	303
726	81	304
722	79	305
723	80	303
378	95	143
376	96	146
375	97	145
376	97	145
376	96	144

Tabel 4. Data Frekuensi Warna terhadap Jarak ±60 cm Orde 2

Warna Biru (Hz)		
Filter Merah (× 10)	Filter Biru (× 10)	Filter Hijau (× 10)
60	245	50
62	244	54
59	246	54
63	245	53
60	244	52
150	956	110
153	955	117
152	957	117
151	954	115
149	952	116
Warna Hijau (Hz)		
Filter Merah (× 10)	Filter Biru (× 10)	Filter Hijau (× 10)



103.50	700	Biru	1	0.000482	482
100.48	700	Biru	1	0.000468	468
95.28	700	Biru	1	0.000445	445
106.28	700	Biru	1	0.000497	497
101.20	700	Biru	1	0.000472	472
100.38	700	Biru	1	0.000468	468
102.38	700	Biru	1	0.000477	477
102.00	700	Biru	1	0.000475	475
103.12	700	Biru	1	0.000480	480
105.22	700	Biru	1	0.000490	490
Jarak Kisi ke Sensor = $\pm 70$ cm untuk warna hijau					
125.42	700	Hijau	1	0.000582	582
122.00	700	Hijau	1	0.000567	567
120.04	700	Hijau	1	0.000557	557
121.78	700	Hijau	1	0.000565	565
120.34	700	Hijau	1	0.000559	559
122.82	700	Hijau	1	0.000570	570
125.40	700	Hijau	1	0.000581	581
126.98	700	Hijau	1	0.000589	589
125.34	700	Hijau	1	0.000581	581
123.46	700	Hijau	1	0.000573	573
Jarak Kisi ke Sensor = $\pm 70$ cm untuk warna merah					
150.94	700	Merah	1	0.000691	691
155.82	700	Merah	1	0.000717	717

153.60	700	Merah	1	0.000707	707
151.42	700	Merah	1	0.000697	697
150.36	700	Merah	1	0.000693	693
151.58	700	Merah	1	0.000698	698
150.54	700	Merah	1	0.000694	694
155.02	700	Merah	1	0.000713	713
155.90	700	Merah	1	0.000717	717
150.60	700	Merah	1	0.000694	694

Tabel 7. Data Hasil Percobaan Jarak  $\pm 60$  cm

Jarak Kisi ke Sensor = $\pm 60$ cm untuk warna biru					
Jarak1 (mm)	Jarak2 (mm)	Warna	Orde	Panjang Gelombang (mm)	Panjang Gelombang (nm)
87,76	600	Biru	1	0.000490	490
85.34	600	Biru	1	0.000462	462
83.64	600	Biru	1	0.000451	451
86.82	600	Biru	1	0.000472	472
87.66	600	Biru	1	0.000472	472
84.46	600	Biru	1	0.000462	462
83.74	600	Biru	1	0.000451	451
87.92	600	Biru	1	0.000461	461
85.26	600	Biru	1	0.000464	464



86.00	600	Biru	1	0.000468	468
Jarak Kisi ke Sensor = $\pm 60$ cm untuk warna hijau					
109.02	600	Hijau	1	0.000590	590
106.26	600	Hijau	1	0.000579	579
105.28	600	Hijau	1	0.000569	569
107.90	600	Hijau	1	0.000579	579
108.92	600	Hijau	1	0.000590	590
113.74	600	Hijau	1	0.000570	570
104.80	600	Hijau	1	0.000570	570
105.40	600	Hijau	1	0.000571	571
102.24	600	Hijau	1	0.000554	554
105.22	600	Hijau	1	0.000570	570
Jarak Kisi ke Sensor = $\pm 60$ cm untuk warna merah					
131.18	600	Merah	1	0.000705	705
134.08	600	Merah	1	0.000719	719
131.92	600	Merah	1	0.000708	708
133.98	600	Merah	1	0.000719	719
130.04	600	Merah	1	0.000735	735
133.98	600	Merah	1	0.000719	719
125.86	600	Merah	1	0.000674	674
126.94	600	Merah	1	0.000697	697
126.94	600	Merah	1	0.000683	683
128.08	600	Merah	1	0.000688	688

Tabel 8. Data Perpindahan dan Jumlah Pulsa / 250ms

Kelebihan Pulsa	Variabel Pengali	Jumlah Pulsa	Waktu (ms)	Jarak (mm)
100	20	5100	250	102
24	21	5274	250	105.48
67	20	5067	250	101.34
45	20	5045	250	100.9
90	20	5090	250	101.8
12	21	5277	250	105.54
106	20	5106	250	102.12
46	21	5296	250	105.92
33	21	5283	250	105.66
45	20	5045	250	100.9

