



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**SISTEM PENGUKUR KECEPATAN GELOMBANG BUNYI DI  
UDARA BERBASIS MIKROKONTROLLER**

**SKRIPSI**

**RIEFDA NOVIKARANY  
0706196746**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN  
ALAM  
FISIKA INSTRUMENTASI  
DEPOK  
JUNI 2010**

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

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

**Nama : Riefda Novikarany**

**NPM : 0706196746**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : Juli 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Riefda Novikarany

NPM : 0706196746

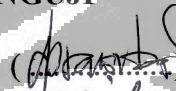
Program Studi : Ekstensi Fisika

Judul Skripsi : Sistem Pengukur Kecepatan Gelombang Bunyi di Udara Berbasis Mikrokontroler

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr Prawito

()

Pembimbing II : Arief Sudarmaji M.T

()

Penguji I : Dr. Santoso Sukirno

()

Penguji II : Isom Muzakir, M.Si

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2010

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Science Jurusan Instrumentasi Elektronika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa begitu sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari awal masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini.

Oleh karena itu, ijinkanlah saya kiranya dapat mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Allah SWT, rahmat dan kasihmu memudahkan segalanya di bumimu;
- (2) Papa dan Mama saya, yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (3) Dr Prawito dan Arief Sudarmaji M.T, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (4) Dr. Santoso Sukirno dan Isom Muzakir, M.Si, selaku dosen penguji atas kritik dan saran yang sangat membangun dalam penyelesaian skripsi ini;
- (5) Teman – teman dan kerabat di Subbid Cuaca Ekstrim, untuk pengertian dan taker dinesnya;
- (6) Teman-teman ekstensi fisika 2007, untuk kebersamaan dan semangatnya.
- (7) Maz, untuk kebersamaan dan peluhnya.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan kepada semua pihak yang telah membantu dan saya berharap semoga skripsi ini membawa manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Penulis

Depok, Juli 2010

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : Riefda Novikarany  
NPM : 0706196746  
Program Studi : Instrumentasi Elektronika  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis karya : Skripsi

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

### **SISTEM PENGUKUR KECEPATAN GELOMBANG BUNYI DI UDARA BERBASIS MIKROKONTROLLER**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, 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 sebenar - benarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juli 2010

Yang menyatakan

( RIEFDA NOVIKARANY )

## ABSTRAK

Nama : Riefda Novikarany  
Program Studi : Fisika Instrumentasi  
Judul : Sistem Pengukur Kecepatan Gelombang Bunyi di Udara Berbasis Mikrokontroller

Skripsi ini membahas tentang sebuah perangkat sistem pengukur gelombang bunyi yang dibuat otomatis dengan menggunakan media tabung yang berfungsi sebagai pipa organa yang dilengkapi dengan *motor DC* dan *sensor microphone* yang bergerak secara otomatis mengikutinya arah panjang tabung. Gelombang bunyi yang beresonansi akan dideteksi oleh *microphone*. Microphone tersebut telah dilengkapi dengan pengkondisi sinyal (*signal conditioning*) dan *amplifier* yang akan memonitor titik simpul/amplitudo minimum dari tegangan minimum yang diperoleh, menentukan posisi – posisi minimum yang diukur oleh *rotary encoder* dan menghitung panjang gelombang serta kecepatan rambat gelombang. Sistem ini dibuat secara otomatisasi dengan melakukan uji performance sebagai pembuktian bahwa kecepatan bunyi di udara sebesar 340 m/s [Halliday, David. 1989]. Semua data yang diperoleh diolah dengan menggunakan mikrokontroller dan hasilnya akan ditampilkan pada LCD. Nilai kecepatan gelombang bunyi di udara dalam medium pipa organa dengan nilai frekuensi yang bervariasi diperoleh 326,99 m/s dengan kesalahan literatur sebesar 2,18% pada frekuensi resonansi  $\pm 300 \text{ s}^{-1}$  (nada dasar 1) dan  $\pm 500 \text{ s}^{-1}$  (nada dasar 2).

Kata kunci :

Gelombang berdiri, pipa organa, sensor mikrofon dan mikrokontroller.

## ABSTRACT

Name : Riefda Novikarany  
Study Program : Instrumentation of Physics  
Title : Microcontroller-based System for Sound Wave Velocity Measurement in the Air

This thesis is about microcontroller-based system for sound wave velocity measurement that will be created by using the media functions as a pipe organ tubes are equipped with motor DC and sensor microphone which moves automatically to follow the direction of the tube length. The resonance of sound wave is detected by the microphone. Microphone has been equipped with signal conditioning and amplifier that will monitor whether minimum amplitude, determine minimum position to be measured by rotary encoder and calculate the wavelength also wave propagation speed. This system made in automation with performance test as proof that wave propagation speed is about 340 m/s [Halliday, David.1989]. All data obtained will be processed using the microcontroller and the results will be displayed on the LCD. Using this system, we get a wave propagation speed in pipe organ tubes is about 326,99 m/s with a various frequency. So we can get the literature error is about 3,8% with resonance frequency is about  $300 \text{ s}^{-1}$  dan  $500 \text{ s}^{-1}$ .

Key Words :

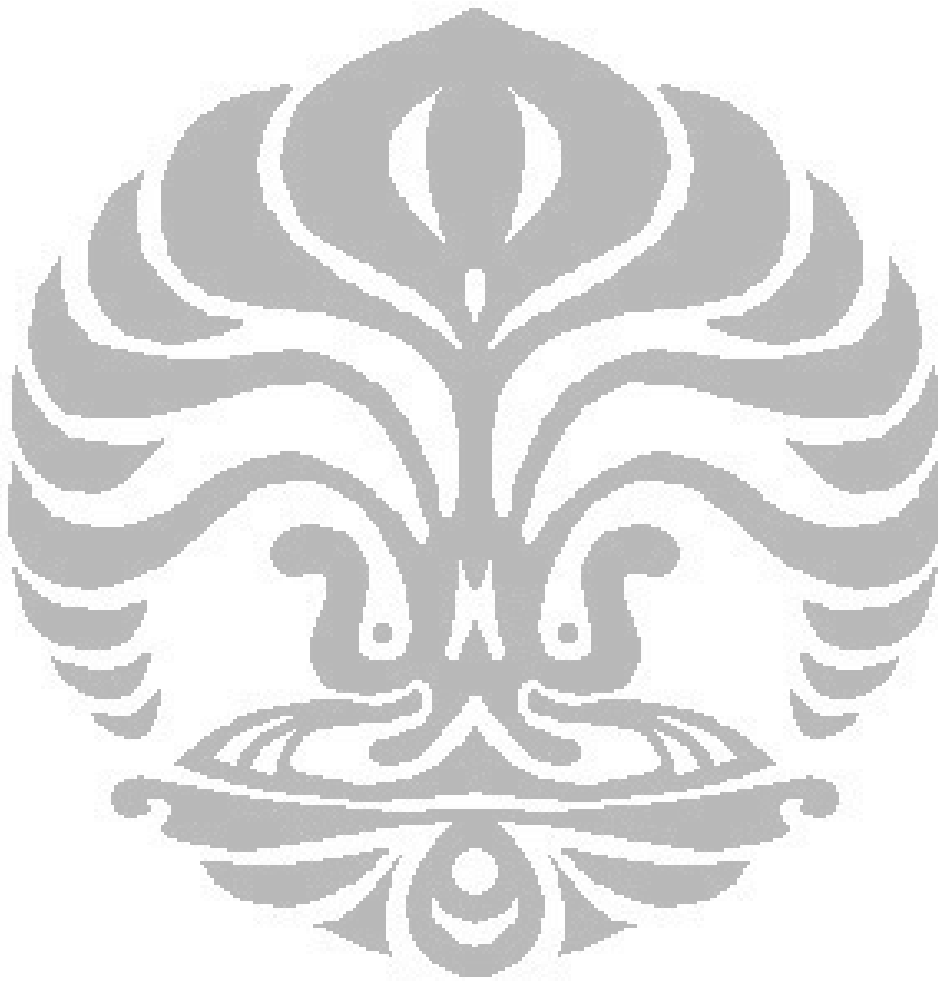
Standing Wave, organ pipe, microphone sensor and microcontroller.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Peneliti .....	1
1.3 Deskripsi Singkat .....	1
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Sistematika Penulisan .....	2
1.6 Metode Penelitian .....	3
<b>BAB 2. TEORI DASAR .....</b>	<b>4</b>
2.1 Gelombang .....	4
2.1.1 Interferensi Gelombang .....	6
2.1.2 Gelombang Berdiri .....	8
2.1.3 Pipa Organa .....	9
2.1.3.1 Pipa Organa Terbuka .....	9
2.1.3.2 Pipa Organa Tertutup .....	10
2.1.4 Kecepatan Bunyi di Udara .....	11
2.2 Sensor Mikrofon .....	12
2.3 Motor DC .....	15
2.3.1 Mempercepat Putaran Motor DC .....	17
2.4 <i>Shaft Encoder</i> .....	17
2.4.1 <i>Mechanical Absolute Encoders</i> .....	17
2.4.2 <i>Optical Absolute Encoders</i> .....	18
2.4.3 Standart Pengkodean Biner .....	18
<b>BAB 3. PERANCANGAN SISTEM .....</b>	<b>20</b>
3.1 Gambaran Sistem Secara Keseluruhan .....	20
3.2 Konstruksi Mekanik .....	21
3.3 Konstruksi Rangkaian .....	23
3.3.1 Rangkaian <i>Driver</i> .....	23
3.3.2 Rangkaian Sensor .....	24
3.3.3 Rangkaian Kontrol .....	25
3.4 Perancangan Software .....	27
<b>BAB 4. PENGAMBILAN DATA DAN ANALISA .....</b>	<b>29</b>



4.1 Pengujian Frekuensi terhadap hambatan .....	29
4.2 Pengujian Perpindahan sensor terhadap putaran motor DC .....	30
4.3 Pengujian Sistem .....	32
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>41</b>
5.1 Kesimpulan .....	41
5.2 Saran .....	42
<b>DAFTAR ACUAN .....</b>	<b>43</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Blok Diagram Sistem .....	1
Gambar 2.1 (a) Bentuk sebuah tali yang diregangkan .....	4
(b) gelombang berjalan ke kanan sejarak $x = vt$ .....	4
Gambar 2.2 Tali mempunyai bentuk $y = y_m \sin \frac{2\pi}{\lambda}x$ .....	5
Gambar 2.3 (a) Superposisi dua gelombang yang frekuensi dan amplitudonya sama yang hampir sefase .....	7
(b) Superposisi dua gelombang yang frekuensi dan amplitudonya sama dan berbeda fase hampir sebesar $180^\circ$ .....	7
Gambar 2.4 Gelombang – gelombang berdiri sebagai superposisi gelombang yang menjalar ke kiri dan gelombang yang menjalar ke kanan .....	8
Gambar 2.5 Pipa Organa Terbuka .....	10
Gambar 2.6 Pipa Organa Tertutup .....	11
Gambar 2.7 Gelombang bunyi yang dihasilkan dalam sebuah tabung oleh sebuah pengisap yang beresilasi .....	12
Gambar 2.8 Mikrofon type Kondenser .....	13
Gambar 2.9 Mikrofon type Electrodynamics .....	14
Gambar 2.10 Struktur Motor DC .....	16
Gambar 2.11 Standart Pengkodean Biner .....	18
Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem .....	20
Gambar 3.2 Konstruksi Mekanik Dengan Benda Uji .....	21
Gambar 3.3 Komponen Mekanik .....	22
Gambar 3.4 Rangkaian Driver .....	23
Gambar 3.5 Cara Kerja driver motor .....	24
Gambar 3.6 Rangkaian Sensor Mikrofon .....	25
Gambar 3.7 Rangkaian Kontrol .....	26
Gambar 3.8 Flowchart Cara kerja sistem .....	27

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Mikrofon .....	15
Tabel 2.2 Standart Pengkodean Biner .....	19
Tabel 4.1 Nilai Frekuensi terhadap Nilai Hambatan .....	29
Tabel 4.2 Pengujian perpindahan .....	31
Tabel 4.3 Data percobaan tegangan minimum dari pembacaan sensor mikrofon dan posisi minimum dari pembacaan optocoupler pada pipa organa .....	33
Tabel 4.4 Data Perhitungan Panjang Gelombang pada pipa organa .....	34
Tabel 4.5 Data percobaan laju bunyi pipa organa .....	34
Tabel 4.6 Data percobaan tegangan minimum dari pembacaan sensor mikrofon dan posisi minimum dari pembacaan optocoupler pada pipa organa .....	36
Tabel 4.7 Data percobaan tegangan minimum dari pembacaan sensor mikrofon dan posisi minimum dari pembacaan optocoupler pada pipa organa .....	36
Tabel 4.8 Data percobaan laju bunyi pipa organa .....	36
Tabel 4.9 Data percobaan laju bunyi pipa organa .....	38

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Grafik Periode terhadap Nilai Hambatan .....	30
Grafik 4.2 Grafik Jarak perpindahan terhadap Jumlah Cacahan .....	31
Grafik 4.3 Hubungan Nilai Frekuensi $300\text{s}^{-1}$ terhadap panjang gelombang .....	31
Grafik 4.4 Hubungan Nilai Frekuensi $500\text{s}^{-1}$ terhadap panjang gelombang .....	37
Grafik 4.5 Grafik periode terhadap panjang gelombang .....	31

# BAB 1

## PENDAHULUAN

Pada bab ini akan menjelaskan tentang latar belakang pembuatan skripsi ini. Adapun tujuan, batasan masalah, deskripsi singkat dan sistematika penulisan skripsi ini akan dijelaskan lebih lanjut dalam subbab.

### 1.1 Latar Belakang

Beberapa jenis gelombang bisa berinterferensi / bersuperposisi jika melewati medium dan waktu yang sama dimana kelajuan gelombangnya ditentukan oleh medium yang dilaluinya. Maka kelajuan gelombang dengan sendirinya pasti sama. Salah satu cara untuk mengetahuinya yaitu dengan melakukan monitoring terhadap resonansi gelombang bunyi.

Pada penelitian kali ini penulis ingin mengetahui posisi amplitudo minimum /titik simpul gelombang bunyi yang menjalar dalam medium pipa organa sebagai variabel untuk menghitung panjang gelombang serta kecepatan rambat gelombang bunyi di udara. Untuk memudahkan, penulis membuat pengukuran kecepatan gelombang bunyi di udara secara otomatis dengan menggunakan perangkat mikrokontroler.

### 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai panjang gelombang dan kecepatan gelombang bunyi di udara.

### 1.3 Deskripsi Singkat



Gambar 1.1 Blok Diagram Sistem

Rangkaian utama pada penelitian ini terdiri atas sensor mikrofon, motor DC dan shaft encoder seperti tampak pada blok diagram sistem di atas. Sensor mikrofon berfungsi sebagai transducer/pendeteksi gelombang bunyi yang beresonansi. Mikrofon tersebut telah dilengkapi dengan pengkondisi sinyal (*signal conditioning*) dan *amplifier*

yang akan memonitor tegangan minimum sebagai titik simpul. Mikrofon digerakkan oleh motor DC yang dilengkapi dengan shaft/rotary encoder sebagai pencacah pulsa yang sebanding dengan jarak perpindahan mikrofon. Kemudian semua data yang didapatkan dari sensor mikrofon dan rotary encoder diproses dengan menggunakan mikrokontroler. Setelah semua data diproses, maka hasilnya akan tampil pada LCD.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Penulis membatasi masalah pada monitoring 1 (satu) media yaitu pipa organa yang dilengkapi dengan rancang bangun perangkat motor DC, perangkat sensor microphone dan pengkondisi sinyalnya serta display parameter – parameter gelombang bunyi yang terjadi seperti frekuensi dan kecepatan rambat gelombang bunyi.

#### **1.5 Sistematika Penulisan**

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

##### **BAB 1. PENDAHULUAN**

Pendahuluan berisi latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan penulisan, metode penulisan dan sistematika penulisan dari skripsi ini.

##### **BAB 2. TEORI DASAR**

Teori dasar berisi landasan-landasan teori sebagai hasil dari studi literatur yang berhubungan dalam perancang bangunan dan elektronika

##### **BAB 3. PERANCANGAN SISTEM**

Pada bab ini akan dijelaskan secara keseluruhan sistem kerja dari semua elektronika yang terlibat.

##### **BAB 4. DATA DAN ANALISA**

Bab ini berisi tentang unjuk kerja alat sebagai hasil dari perancangan sistem. Pengujian akhir dilakukan dengan menyatukan seluruh bagian-bagian kecil dari sistem untuk memastikan bahwa sistem dapat berfungsi sesuai dengan tujuan awal.

##### **BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN**

Penutup berisi kesimpulan yang diperoleh dari pengujian sistem dan pengambilan data selama penelitian berlangsung, selain itu juga penutup memuat saran untuk pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini.

## **1.6 Metode Penelitian**

### **a. Study Literatur**

Penulis menggunakan metode ini untuk memperoleh informasi yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan dengan mengacu kepada buku-buku pegangan, data *sheet*, internet, makalah-makalah dan lain-lain.

### **b. Perancangan Alat**

Penulis berusaha untuk membuat suatu rancangan sistem pengendalian *hardware* baru yang ingin dibuat di dalam penelitian, berdasarkan bahan-bahan yang ada untuk dapat dianalisa kembali.

### **c. Pembuatan Alat**

Pada bagian ini berisi proses perencanaan rancang bangun dari sistem mekanik yang dibuat. Pada bagian hardware akan membahas desain dan cara kerjanya, sedangkan untuk bagian software akan membahas program yang digunakan dalam sistem pengendalinya.

### **d. Pengujian Sistem**

Pada bagian ini merupakan proses pengujian dari proyek yang dibuat, dengan tujuan untuk mengetahui apakah kinerja dari alat yang dibuat sudah sesuai dengan apa yang diharapkan atau belum.

### **e. Pengambilan Data**

Setelah alat diuji secara keseluruhan sebagai suatu sistem sehingga dapat dilihat apakah sistem dapat bekerja dengan baik dan benar, sehingga penulis dapat melakukan pengambilan data.

### **f. Penulisan Penelitian**

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

## BAB 2

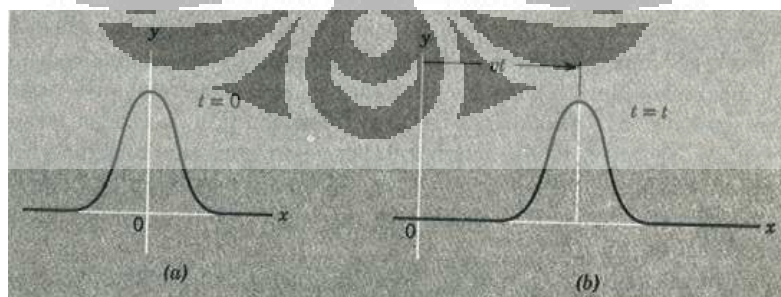
### TEORI DASAR

Pada bab ini menjelaskan tentang teori dasar dari pembuatan sistem ini. Pada setiap subbabnya akan menjelaskan baik secara teori dasar fisika, maupun tentang elektronika, dan prinsip dasar dari tiap-tiap alat yang digunakan.

#### 2.1 Gelombang

Gangguan atau gelombang terjadi karena adanya pergeseran dari suatu bagian medium elastis dari kedudukan normalnya dimana gangguan atau gelombang ini akan bergerak maju melalui medium tersebut. Tenaga di dalam gelombang adalah tenaga kinetik dan tenaga potensial dari medium, namun transmisi tenaga terjadi karena gelombang melalui sepanjang satu bagian medium ke bagian berikutnya. Gelombang mekanis dicirikan oleh pengangkutan tenaga melalui medium, oleh gerak suatu gangguan di dalam medium tersebut.

Macam – macam gelombang mekanis berbeda – beda ditinjau dari bagaimana gerak partikel medium dihubungkan pada arah penjalaran gelombang itu sendiri. Jika gerak partikel yang mengangkut gelombang tersebut adalah tegak lurus pada arah penjalaran gelombang itu sendiri, maka kita mempunyai sebuah gelombang *transversal* (*transversal wave*) dan jika gerak partikel yang mengangkut sebuah gelombang mekanis adalah searah panjang penjalaran, maka disebut gelombang *longitudinal* (*longitudinal wave*).



Gambar 2.1 (a) Bentuk sebuah tali yang diregangkan. (b) pada suatu waktu  $t$  kemudian gelombang tersebut telah berjalan ke kanan sejarak  $x = vt$  .. [1]

Tali panjang yang diregangkan dalam arah  $x$  sepanjang sebuah gelombang berjalan, maka suatu saat, katakanlah  $t = 0$ , bentuk tali dapat dinyatakan oleh

$$y = f(x), \quad t = 0, \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana y adalah pergeseran transversal dari tali pada kedudukan x. Pada suatu waktu t kemudian gelombang tersebut telah berjalan sejauh vt ke kanan, dimana v adalah besarnya kecepatan gelombang, yang dianggap konstan. Maka persamaan kurva pada waktu t adalah

$$y = f(x - vt), \quad t = t, \dots\dots\dots (2.2)$$

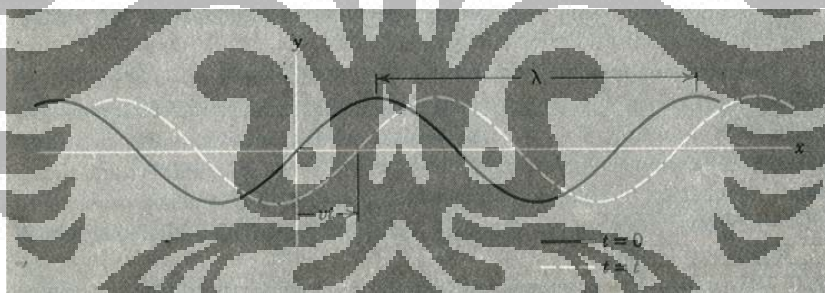
persamaan umum yang menyatakan sebuah gelombang yang bentuknya *sembarang dan berjalan ke kanan*. Jika kita ingin menyatakan sebuah gelombang yang berjalan ke kiri, maka kita harus menulis

$$y = f(x + vt) \dots\dots\dots (2.3)$$

karena kedudukan x dari suatu fase yang tetap (x + vt) dari gelombang tersebut semakin kecil jika waktu semakin besar.

Jika suatu gelombang berbentuk sebuah kurva sinus, pada waktu t = 0 dipunyai sebuah deret gelombang sepanjang tali yang diberikan oleh

$$y = Ym \sin \frac{2\pi}{\lambda}x \dots\dots\dots (2.4)$$



Gambar 2.2 pada t = 0, tali tersebut mempunyai bentuk  $y = ym \sin \frac{2\pi}{\lambda}x \dots [1]$

Pergeseran maksimum *Ym* adalah amplitudo kurva sinus tersebut. Simbol  $\lambda$  dinamakan panjang gelombang dari deret gelombang dan menyatakan jarak diantara dua titik yang berdekatan pada gelombang tersebut yang mempunyai fase yang sama. Dengan bertambahnya waktu, misal gelombang tersebut berjalan ke kanan dengan sebuah kecepatan fase v, maka persamaan gelombang tersebut pada waktu t adalah

$$y = Ym \sin \frac{2\pi}{\lambda} (x - vt) \dots\dots\dots (2.5)$$

Periode T adalah waktu yang diperlukan gelombang untuk berjalan sejauh satu panjang gelombang  $\lambda$ , sehingga



$$\lambda = vT \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan menggabungkan hubungan 2.6 dengan persamaan gelombang pada 2.5, maka didapatkan

$$y = Ym \sin 2\pi \left( \frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right) \dots\dots\dots(2.7)$$

Untuk mereduksi persamaan diatas ke bentuk yang lebih padat, maka dapat didefinisikan dalam dua kuantitas, yakni *bilangan gelombang (wave number) k* dan *frekuensi sudut (angular frequency)  $\omega$*  menjadi  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  dan  $\omega = \frac{2\pi}{T}$

Dengan menggunakan kuantitas – kuantitas ini, maka persamaan gelombang sinus (2.7) yang berjalan ke kanan adalah

$$y = Ym \sin (kx - \omega t - \emptyset) \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana  $\emptyset$  dinamakan konstanta fase.

### 2.1.1 Interferensi Gelombang

Interference (interferensi) menunjukkan efek – efek fisis yang timbul karena superposisi dua atau lebih deret gelombang, dilihat pada dua gelombang yang frekuensi dan amplitudonya sama, yang menjalar dengan laju yang sama dalam arah x tapi dengan suatu perbedaan fase  $\emptyset$  diantara kedua gelombang tersebut. Persamaan kedua gelombang tersebut adalah

$$\begin{aligned} y_1 &= Ym \sin (kx - \omega t - \emptyset) \\ y_2 &= Ym \sin (kx - \omega t) \dots\dots\dots(2.9) \end{aligned}$$

gelombang resultan dari dua atau lebih gelombang dengan anggapan terjadi superposisi sebagai berikut

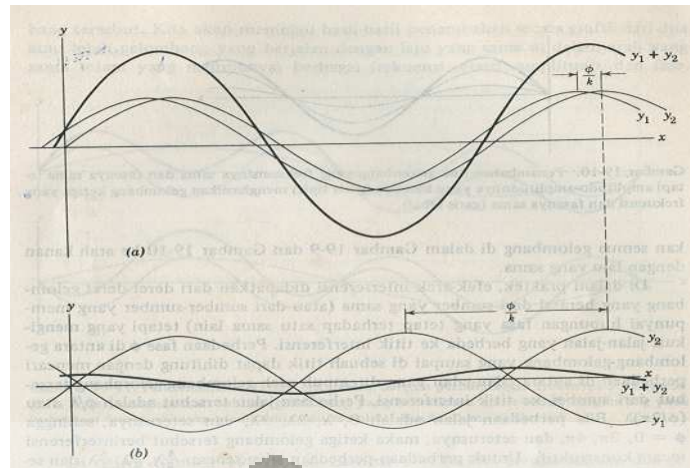
$$y = y_1 + y_2 = ym [\sin (kx - \omega t - \emptyset) + \sin (kx - \omega t)] \dots\dots\dots(2.10)$$

dari persamaan geometris untuk jumlah sinus dari dua sudut

$$\sin B + \sin C = 2 \sin \frac{1}{2} (B + C) \cos \frac{1}{2} (C - B)$$

maka didapat

$$y = ym \left[ 2 \sin \left( kx - \omega t - \frac{\emptyset}{2} \right) \cos \frac{\emptyset}{2} \right] = \left( 2ym \cos \frac{\emptyset}{2} \right) \sin \left( kx - \omega t - \frac{\emptyset}{2} \right) \dots\dots\dots(2.11)$$



Gambar 2.3 (a) Superposisi dua gelombang yang frekuensinya dan amplitudonya sama yang hampir sefase menghasilkan sebuah gelombang yang amplitudonya hampir dua kali amplitudo masing – masing gelombang. (b) Superposisi dua gelombang yang frekuensinya dan amplitudonya sama dan berbeda fase hampir sebesar  $180^\circ$  menghasilkan sebuah gelombang yang amplitudonya hampir sama dengan nol.....[1]

Gelombang resultan ini menyatakan sebuah gelombang baru yang mempunyai frekuensi yang sama tetapi dengan amplitudo  $2ym \cos\left(\frac{\phi}{2}\right)$ . Jika  $\phi$  sangat kecil (dibandingkan terhadap  $180^\circ$ ), maka amplitudo resultan hampir sama dengan  $2ym$ . Dimana, bila  $\phi$  sangat kecil,  $\cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \cong \cos 0^\circ = 1$ . Bila  $\phi$  adalah nol, maka kedua gelombang mempunyai fase yang sama dimana – mana. Puncak sebuah gelombang akan bersesuaian dengan puncak gelombang yang lain dan lembah gelombang yang satu akan bersesuaian dengan lembah gelombang yang lain.

Perbedaan fase  $\phi$  diantara gelombang – gelombang yang sampai di sebuah titik dapat dihitung dengan mencari perbedaan di antara lintasan – lintasan yang ditempuh oleh gelombang – gelombang tersebut dari sumber ke titik interferensi. Perbedaan lintasan tersebut adalah  $\phi/k$  atau  $(\phi/2\pi)\lambda$ . Bila perbedaan jalan adalah  $0, \lambda, 2\lambda, 3\lambda$ , dan seterusnya, sehingga  $\phi = 0, 2\pi, 4\pi$  dan seterusnya, **maka gelombang – gelombang tersebut dikatakan berinterferensi secara konstruktif**. Amplitudo resultan adalah persis dua kali amplitudo masing – masing gelombang.

Sebaliknya, jika  $\phi$  berada di dekat  $180^\circ$ , maka amplitudo resultan akan hampir sama dengan nol. Dimana, bila  $\phi \cong 180^\circ$ , maka  $\cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \cong \cos 90^\circ = 0$ . Bila  $\phi$  adalah persis  $180^\circ$ , maka puncak sebuah gelombang akan persis bersesuaian dengan lembah gelombang yang lain. Untuk perbedaan – perbedaan jalan sebesar  $\frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda, \frac{5}{2}\lambda$  dan

seterusnya,  $\emptyset$  adalah  $\pi, 3\pi, 5\pi$  dan seterusnya, maka **gelombang – gelombang tersebut dikatakan berinterferensi secara destruktif**. Amplitudo resultan adalah nol.

Interferensi antara gelombang – gelombang yang berjalan di dalam arah – arah berlawanan akan menghasilkan *gelombang longitudinal berdiri (standing wave)*.

**2.1.2 Gelombang Berdiri**

Superposisi sebuah gelombang masuk dan sebuah gelombang yang direfleksikan merupakan jumlah dua gelombang yang berjalan di dalam arah – arah yang berlawanan, akan menimbulkan sebuah *gelombang berdiri (standing wave)*. Dua deret gelombang yang frekuensi, laju dan amplitudonya sama yang berjalan di dalam arah – arah yang berlawanan sepanjang sebuah tali. Dua gelombang seperti itu dapat dinyatakan oleh persamaan

$$y_1 = ym \sin (kx - \omega t)$$

$$y_2 = ym \sin (kx + \omega t)$$

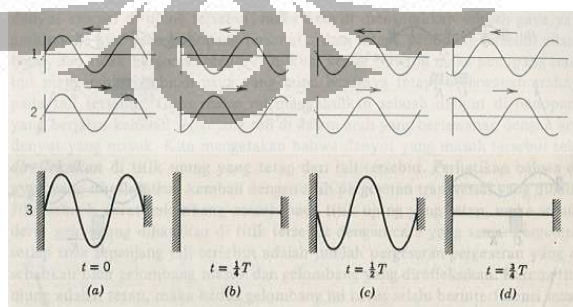
dan resultannya menjadi

$$y = y_1 + y_2 = ym \sin (kx - \omega t) + ym \sin (kx + \omega t)$$

atau dengan hubungan trigonometrik, persamaan di atas menjadi

$$y = 2ym \sin kx \cos \omega t \dots\dots\dots(2.12)$$

persamaan di atas adalah persamaan sebuah gelombang berdiri (*standing wave*). Ciri sebuah gelombang berdiri adalah kenyataan bahwa amplitudo tidaklah sama untuk partikel – partikel yang berbeda – beda tapi berubah dengan kedudukan  $x$  dari partikel tersebut. (Halliday, David. 1989)



Gambar 2.4 Gelombang – gelombang berdiri sebagai superposisi gelombang yang menjalar ke kiri dan gelombang yang menjalar ke kanan; 1 dan 2 adalah komponen – komponen, 3 adalah resultan.....[1]

Amplitudo  $2Ym \sin kx$ , mempunyai nilai maksimum sebesar  $2Ym$  di kedudukan dimana  $kx = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}$  dan seterusnya atau  $x = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}$  dan seterusnya. Titik – titik ini disebut titik perut (antinode) dan jarak di antara dua titik perut yang berurutan adalah setengah panjang gelombang. Amplitudo tersebut mempunyai nilai minimum sebesar nol di kedudukan dimana  $kx = \pi, 2\pi, 3\pi$  dan seterusnya atau  $x = \frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3\lambda}{2}, 2\lambda$  dan seterusnya. Titik – titik ini disebut titik simpul (node) dan jarak diantara dua titik simpul yang berurutan adalah setengah panjang gelombang. Pemisahan antara sebuah titik simpul dan titik perut yang berdekatan adalah seperempat panjang gelombang. Interl antara titik –titik simpul dan titik – titik perut dapat terlihat dengan jelas.

Dengan terus – menerus mengubah frekuensi, maka dapat dilihat mulai dari kondisi resonansi ke kondisi resonansi yang lainnya.

### 2.1.3 Pipa Organa

Sebuah pipa organa adalah sebuah contoh sederhana dari bunyi yang berasal dari sebuah kolom udara yang bergetar.

#### 2.1.3.1 Pipa Organa Terbuka

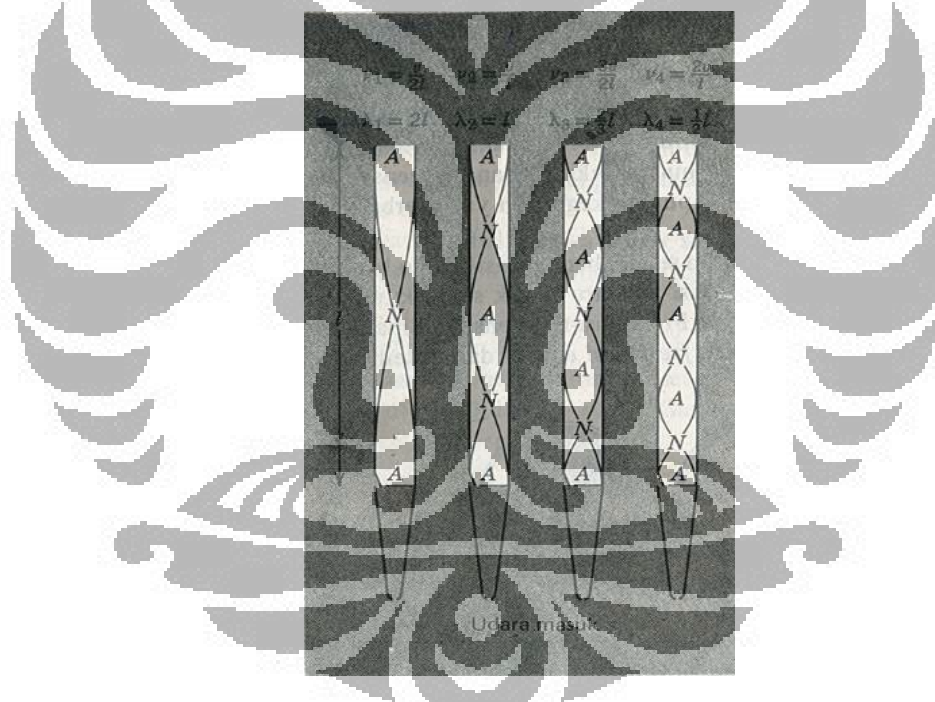
Jika kedua ujung sebuah tabung/pipa adalah terbuka dan aliran udara diarahkan ke salah satu ujung, maka gelombang longitudinal dapat dihasilkan dalam tabung/pipa tersebut. Refleksi terjadi di sebuah ujung bebas, yang mempunyai pergeseran maksimum dari partikel – partikel udara, sebuah deret gelombang yang masuk dan sebuah deret gelombang pergeseran maksimum, sebuah deret gelombang yang masuk dan sebuah deret gelombang yang direfleksikan secara konstruktif di titik tersebut dan kita harus mempunyai sebuah maksimum disana. Namun sifat refleksi di ujung tersebut bergantung pada apakah tabung tersebut lebar atau sempit dibandingkan terhadap panjang gelombang. Maka gelombang yang direfleksikan tersebut selalu sefase dengan gelombang yang masuk di titik tersebut. Maka ujung terbuka tersebut adalah hampir merupakan sebuah titik perut pergeseran. Titik perut yang sesungguhnya biasanya berada di suatu titik di dekat ujung terbuka tersebut, tapi panjang efektif dari kolom

udara tidaklah tertentu dengan pasti seperti panjang sebuah tali yang kedua ujungnya dibuat tetap.

Kolom udara kemudian akan beresonansi pada frekuensi getaran alaminya, yang diberika oleh

$$V_n = \frac{n}{2l} f, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.13)$$

$V$  adalah laju gelombang longitudinal dalam kolom yang superposisinya yang menimbulkan getaran, dan  $n$  adalah banyaknya setengah panjang gelombang di dalam panjang  $l$  dari kolom tersebut. Di dalam pipa terbuka maka frekuensi fundamental akan bersesuaian dengan titik perut pergeseran di setiap ujung dan di setiap titik simpul pergeseran di tengah – tengah. Maka di dalam sebuah pipa terbuka, frekuensi fundamentalnya adalah  $v/2l$  dan semua harmonik ada dalam pipa terbuka tersebut.



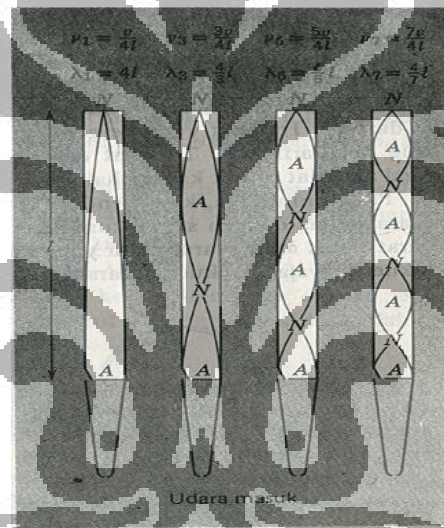
Gambar 2.5 Empat ragam dari sebuah pipa organa terbuka. Jarak dari garis tengah pipa ke garis – garis tipis yang digambarkan dalam pipa tersebut memperlihatkan amplitudo pergeseran di setiap tempat. N dan A menandai tempat – tempat titik simpul dan titik – titik perut pergeseran....[1]

### 2.1.3.2 Pipa Organa Tertutup

Jika sebuah deret gelombang masuk pada titik ujung yang tetap, maka sebuah deret gelombang dihasilkan di titik tersebut dengan cara yang sama. Pergeseran setiap titik sepanjang tali tersebut adalah jumlah pergeseran – pergeseran yang disebabkan



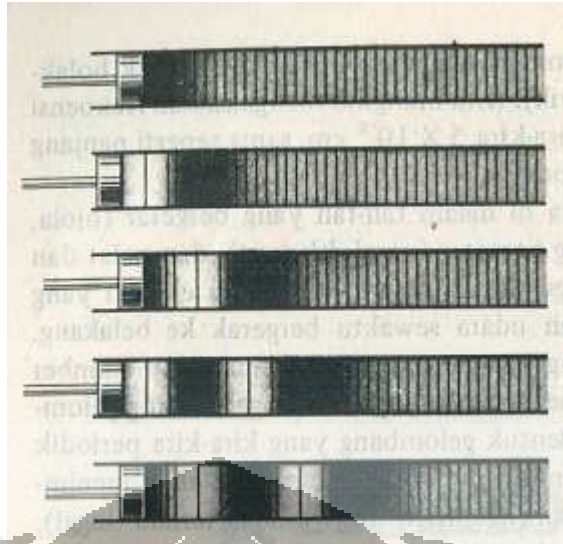
oleh gelombang masuk dan gelombang yang direfleksikan. Karena titik ujung adalah tetap, maka *kedua gelombang ini harus selalu berinterferensi secara destruktif* di titik tersebut sehingga akan memberikan pergeseran sebesar nol di titik tersebut. Maka, gelombang yang direfleksikan selalu berbeda fase sebesar  $180^\circ$  dengan gelombang yang masuk di batas yang tetap. Dapat disimpulkan bahwa ketika terjadi refleksi dari sebuah ujung tetap maka sebuah gelombang mengalami perubahan fase sebesar  $180^\circ$ . Hal ini yang terjadi pada *pipa organa tertutup*. Maka sebuah ujung tertutup adalah sebuah titik simpul pergeseran. Frekuensi fundamentalnya adalah  $v/4l$  dan hanya harmonik ganjil yang ada, yang sama dengan setengah frekuensi fundamental dari sebuah pipa terbuka yang sama panjangnya.



Gambar 2.6 Empat ragam getaran yang pertama dari sebuah pipa organa tertutup....[1]

#### 2.1.4 Kecepatan Bunyi di Udara

Gelombang bunyi adalah gelombang mekanis longitudinal. Gelombang bunyi berasal dari tali – tali yang bergetar (biola, pita suara manusia), kolom udara yang bergetar (orgel, klarinet) dan plat selaput yang bergetar (gambang, pegas suara, tambur). Suara elemen yang bergetar ke depan dan merenggangkan udara sewaktu bergerak ke belakang. Udara tersebut mentransmisikan gangguan – gangguan ini keluar dari sumber sebagai gelombang.



Gambar 2.7 Gelombang bunyi yang dihasilkan dalam sebuah tabung oleh sebuah pengisap yang berosilasi. Garis – garis vertikal membagi medium termampakan dalam tabung menjadi lapisan – lapisan massa yang sama....[1]

Panjang gelombang  $\lambda$  pada resonansi dapat diambil sebesar dua kali jarak antara titik – titik simpul atau titik – titik perut yang berdekatan, dan dengan mengetahui frekuensi  $\nu$  dari sumber pada resonansi, maka kita dapat menentukan laju gelombang di dalam gas dari

$$\nu = f\lambda \dots\dots\dots(2.14)$$

dimana  $\nu$  adalah kecepatan gelombang bunyi di udara,  $f$  adalah frekuensi audio sinyal generator dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang bunyi yang didapatkan dari osciloskop.

## 2.2 Mikrofon

*Microphone* adalah sebuah transducer yang mengubah sinyal suara menjadi sinyal – sinyal listrik sesuai pola suara yang diterima. Sistem elektronik akan merespon sinyal – sinyal suara menggunakan komponen ini baik untuk direkam ataupun dikenali. *Microphone* terdiri atas diafragma tipis sebagai transducer utama, yang bergerak karena perilaku udara yang mempengaruhinya. Gerak mekanik diafragma diubah menjadi keluaran elektrik dengan beberapa bentuk dari transducer kedua yang melengkapi sinyal analog.

Komponen mikrofon berisi variabel kapasitor. Salah satu plat kapasitor tersebut merupakan membran yang sensitif terhadap obyek suara yang bergerak maju – mundur sebagai gelombang suara beresonansi bila ada yang melewatinya. Kapasitor ini terhubung dengan resistor. Ketika kapasitor terisi oleh daya maka obyek suara akan

menggerakkan membran pada salah satu plat. Kemudian jarak antara kedua plat/piringan, tegangan pada kapasitor dan resistansinya pun akan berubah.

Mikrofon dapat diklasifikasikan sebagai transducer seperti :

1. Kapasitor atau kondenser
2. Kristal
3. Elektrodinamis
4. Karbon

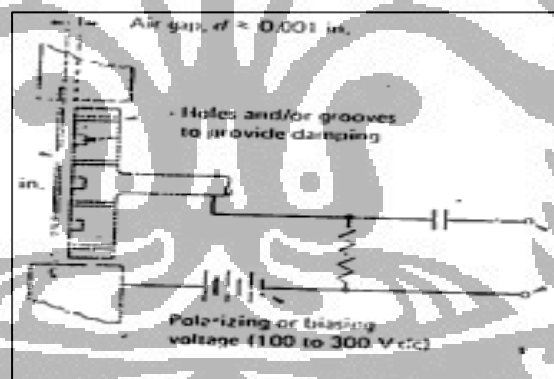
*The Capacitor or condenser microphone*, mikrofon kapasitor atau kondenser adalah mikrofon yang paling peka terhadap pengukuran suara/bunyi. Hal itu dihasilkan oleh bentuk diafragma pada salah satu plat kapasitor dielektrik udara. Gerak diafragma disebabkan oleh tumbukan bunyi pada tegangan output.

$$E = Qd \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana : E = tegangan

Q = polarisasi tegangan (nilainya relatif konstant)

d = jarak antar plat



Gambar 2.8 Mikrofon type Kondenser....[3]

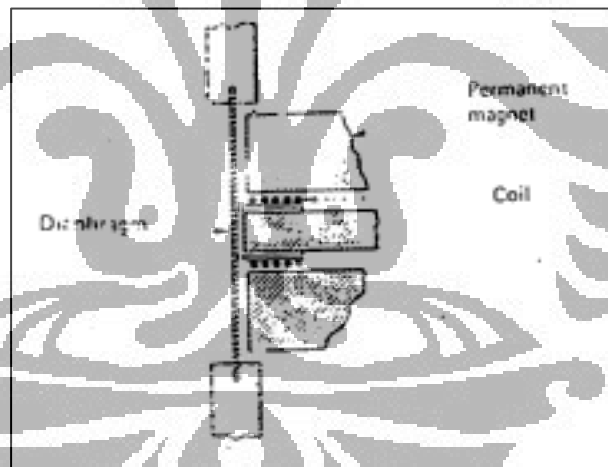
Mikrofon adalah sensor yang paling baik digunakan sebagai transducer untuk pengukuran bunyi.

*Electret microphone*, adalah bentuk khusus dari tipe kondenser. Yang membedakan adalah, pada umumnya tipe kondenser masih membutuhkan tegangan polarisasi eksternal, namun *electret microphone* mempolarisasi dengan sendirinya. Diafragma terbuat dari plastik yang mempunyai lapisan konduktif pada salah satu sisinya. Lapisan tersebut berfungsi sebagai kapasitor.



*The crystal microphone*, mikrofon tipe kristal menggunakan elemen piezoelektrik yang umumnya diaktifkan oleh sebuah *bending*. Untuk sensitivitas terbaik, elemen *cantilever* secara mekanik dihubungkan pada diafragma dan konstruksi yang lainnya, menggunakan kontak langsung antara diafragma dan elemen – elemen, seperti bagian *cementing* (bagian elemen untuk menempatkan *bending*) atau oleh bagian *bearing* (elemen untuk kompresi). Mikrofon tipe kristal ini secara khusus digunakan untuk pengukuran bunyi spesifik.

*The electrodynamic microphone*, mikrofon dengan tipe elektrodinamis menggunakan prinsip gerak konduktor dalam medan magnet. Kumparan tersebut umumnya dilengkapi oleh magnet permanen, untuk menempatkan transducer dalam kategori variabel hambatan. Ketika diafragma bergerak, tegangan yang dihasilkan berubah menjadi kecepatan melingkar relatif terhadap medan magnetik, untuk melengkapi keluaran yang berupa sinyal analog. Dua konstruksi yang berbeda yang digunakan, gerak melingkar dan jenis pita.



Gambar 2.9 Mikrofon type Electrodynamics.....[3]

*The carbon microphone*, mikrofon dengan tipe karbon terdiri atas butiran – butiran karbon berbentuk kapsul, dimana hambatannya bervariasi terhadap perubahan tegangan pada bunyi yang dirasakan oleh diafragma. Mikrofon tipe ini mempunyai respon terhadap tinggi – rendah frekuensi yang terbatas, hindari penggunaan untuk pengukuran bunyi yang spesifik. Karakteristik batasan frekuensi pada mikrofon tipe karbon adalah jika dipasangkan dengan kekasarannya maka tipe sangat cocok sebagai transmitter pada (handset) telepon biasa.

Mikrofon yang ideal yang bisa digunakan dalam suatu pengukuran, memiliki karakteristik sebagai berikut :

1. Dapat merespon frekuensi rata – rata dari range pendengaran
2. *Nondirectivity* - tidak langsung
3. Dapat berfungsi sebagai prediksi, mempunyai sensitivitas berulang melebihi range dinamis pendengaran
4. Pada level bunyi minimum yang terukur, output sinyalnya kadang beberapa kali mempunyai noise.
5. Dimensi minimum/terendah dan berat
6. Yang di respon hanya perilaku bunyi di sekitarnya.

Mikrofon tipe kapasitor merupakan mikrofon yang paling cocok digunakan dalam pengukuran bunyi dan mikrofon tipe kristal berada di urutan berikutnya. Pada setiap pengukuran, adanya sensor mikrofon tidak akan mengubah sinyal yang dihasilkan yang nantinya masih akan diukur. Mikrofon yang digunakan bisa sekecil mungkin ukurannya. Karena bagaimanapun bentuk dan ukuran mikrofon, seperti diameter diafragma, hal itu penting untuk diperhatikan karena akan mempengaruhi sensitivitas dan responnya terhadap sinyal yang datang. Hingga saat ini, tersedia banyak ukuran mikrofon, dan dalam penggunaannya haruslah disesuaikan dengan spesifikasi perangkat/aplikasi.

Tabel 2.1. Karakteristik Mikrofon....[3]

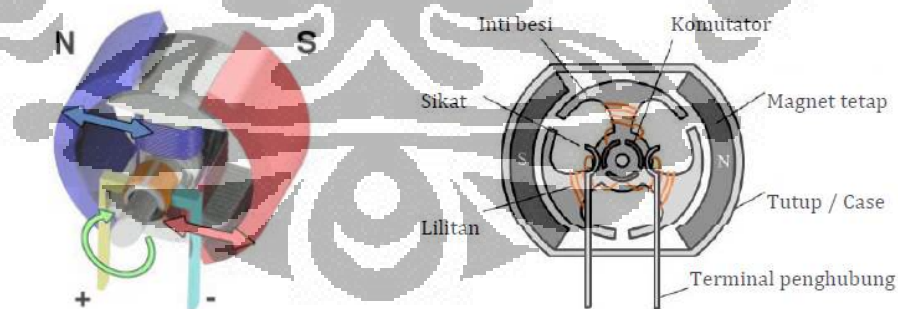


### 2.3 Motor DC

Dalam melakukan pengukuran posisi yang otomatis menggunakan motor DC. Motor DC merupakan jenis dari *actuator* salah satu komponen yang diperlukan dalam

sistem pengendali. Aktuator adalah suatu perubahan energi elektrik menjadi energi gerakan mekanik. Aktuator merupakan pengerkan yang memakai sumber energi yaitu listrik, maka disebut juga motor listrik. Motor listrik dikelompokkan menjadi dua, yaitu motor DC dan motor AC, perbedaannya terdapat pada tegangan yang menggerakkannya. Motor AC digerakkan oleh tegangan bolak-balik (AC), sedangkan motor DC digerakkan oleh tegangan searah (DC).

Motor DC (motor arus searah) merupakan sebuah alat elektromagnetis yang dapat menghasilkan gerak memutar pada satu poros. Prinsip kerja dalam motor DC dapat dijelaskan dengan prinsip elektromagnetik. Alat ini tersusun atas komponen dasar seperti kumparan, magnet tetap dan inti besi. Kumparan dililitkan pada inti besi, sedang magnet ditempatkan mengitari lilitan. Ketika kumparan dialiri arus, maka akan timbul medan magnet. Tegangan yang diinduksikan dalam sebuah konduktor harus sedemikian rupa hingga medan magnet yang dibangkitkan dari hasil arus dalam konduktor akan berlawanan terhadap gerak induksi medan magnet. Kumparan dibuat sedemikian rupa sehingga medan magnet yang dihasilkan memiliki kutub – kutub yang berbeda dan berubah – ubah. Karena magnet tetap yang terpasang memiliki kutub tetap sedangkan magnet yang dihasilkan oleh kumparan berubah – ubah maka akan terjadi gerakan yang apabila terjadi terus akan menghasilkan gerakan memutar.



Gambar 2.10 Struktur Motor DC....[2]

Arah gerakan motor arus searah dapat diatur dengan dua cara yaitu mengubah polarisasi arah arus searah pada belitan medan magnet (+) dan (-), atau dengan mengubah arah arus dengan menukar (+) dan (-) pada sikat.

Pada prinsipnya membalik arah motor searah memang dengan dua cara yang telah disebutkan di atas, namun dalam suatu rangkaian elektronika kita memerlukan

suatu rangkaian penggerak motor yang dapat membalik arah gerak motor dengan mudah. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan torsi yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

### 2.3.1 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 :

$$V = i \times R \dots\dots\dots (2.16)$$

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. Dan apabila F semakin besar maka kekuatan rotor akan semakin besar maka kekuatan rotor akan semakin besar dan berdampak pada makin cepatnya putaran motor.

## 2.4 Shaft Encoder

Shaft encoder adalah perangkat elektro-mekanik yang digunakan untuk mengubah posisi sudut dari suatu poros atau as roda ke kode analog atau digital, menjadikannya sebagai transducer sudut. Shaft encoder biasanya digunakan dalam berbagai aplikasi yang membutuhkan rotasi poros yang tepat / presisi. Ada 2 (dua) jenis shaft encoder yaitu mutlak dan inkremental (relatif). Dan ada 2 (dua) tipe dasar shaft encoder yang dibedakan berdasarkan hasil kode digital untuk setiap sudut yang berbeda poros yaitu tipe *optik (optical absolute encoders)* dan *mekanik (mechanical absolute encoders)*.

### 2.4.1 Mechanical Absolute Encoders

Sebuah bahan metal yang mengandung satu set cincin berbentuk konsentris terbuka yang permanen untuk bahan isolasi yang diletakkan pada porosnya. Ketika

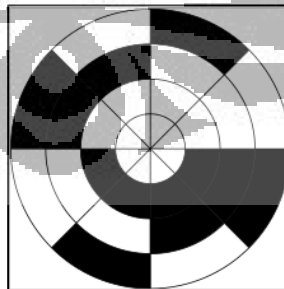
metal berputar pada porosnya, hingga beberapa menyentuh lembar kontak logam dan yang lain jatuh di celah – celah. Lembar logam terhubung ke sumber arus dan kontak masing – masing terhubung ke sensor listrik secara terpisah. Pola lembar kontak logam dirancang sedemikian rupa sehingga setiap posisi yang mungkin dari sumbu akan membuat kode biner yang unik dimana beberapa kontak yang terhubung ke sumber yang masig dalam posisi on (diaktifkan) sedangkan sumber yang off (dimatikan).

#### 2.4.2 Optical Absolute Encoders

Disk optik encoder terbuat dari bahan kaca atau plastik transparan berbentuk opak. Sebuah sumber cahaya dan detektor foto array akan membaca pola optik yang dihasilkan dari posisi disk tiap satuan waktu. Kode ini dapat dibaca oleh perangkat pengendali seperti mikroprosesor untuk menentukan sudut poros. Jenis analog mutlak ini menghasilkan dual kode analog yang dapat diterjemahkan ke dalam sudut absolut dari poros (dengan menggunakan algoritma khusus).

#### 2.4.3 Standart Pengkodean Biner

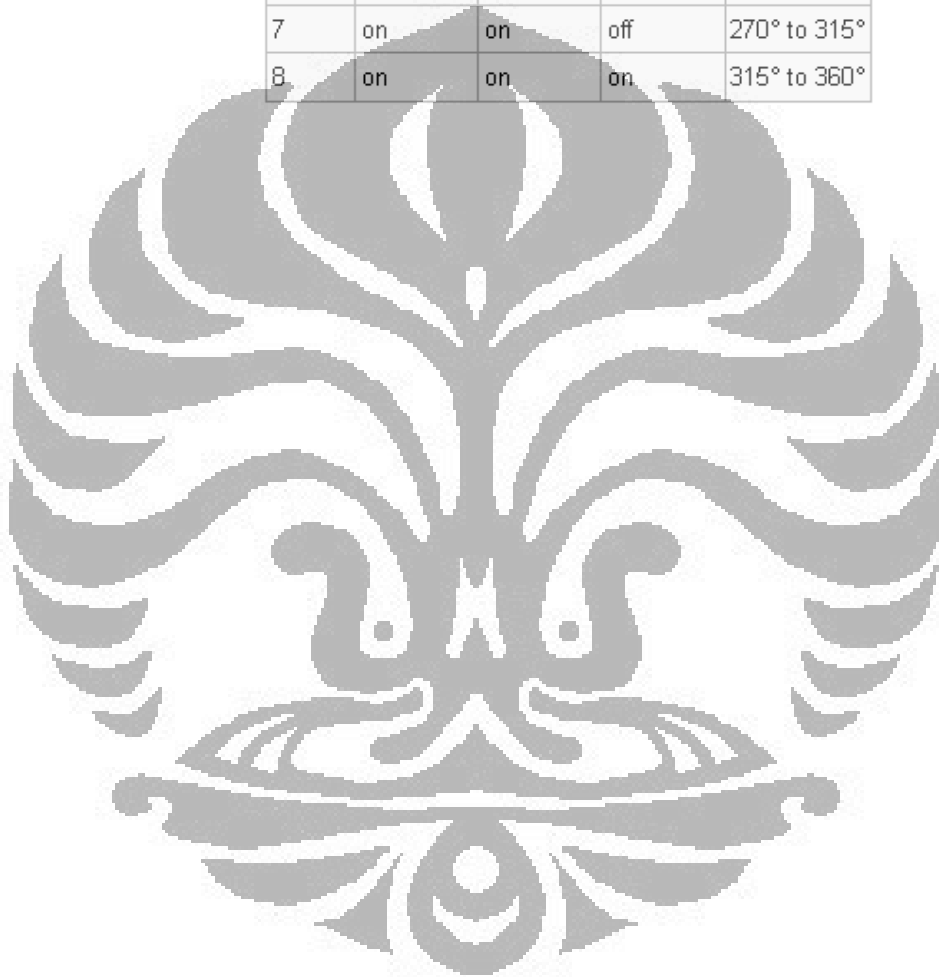
Shaft encoder untuk perangkat pengukuran sudut menggunakan biner 3-bit. Cincin bagian paling dalam bertanggung jawab untuk kontak 1. Bagian yang berwarna hitam menandakan cincin dalam posisi ON. Nol derajat ( $0^\circ$ ) berada di sisi sebelah kanan, sudut meningkat mengikuti putaran berlawanan arah jarum jam.



Gambar 2.11 Standart Pengkodean Biner...[wikipedia.com]

Tabel 2.2 Standart Pengkodean Biner.....[wikipedia.com]

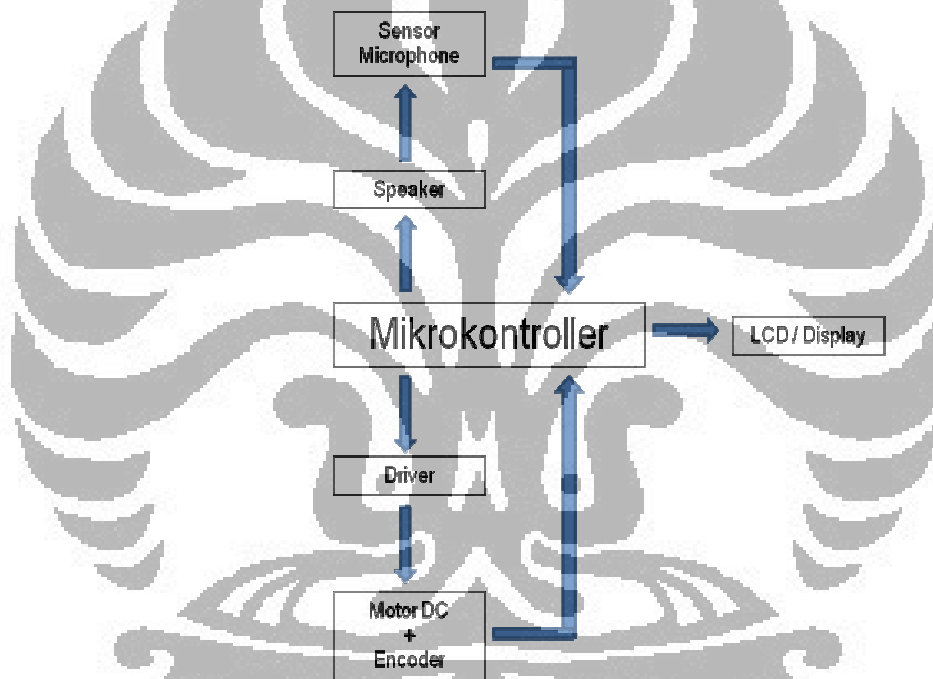
Sector	Contact 1	Contact 2	Contact 3	Angle
1	off	off	off	0° to 45°
2	off	off	on	45° to 90°
3	off	on	off	90° to 135°
4	off	on	on	135° to 180°
5	on	off	off	180° to 225°
6	on	off	on	225° to 270°
7	on	on	off	270° to 315°
8	on	on	on	315° to 360°



## BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

Bab ini membahas tentang perancangan sistem alat pengukur kecepatan gelombang bunyi di udara dimana fungsi dari tiap alat yang digunakan dan blok secara keseluruhan serta cara kerjanya dijelaskan secara rinci dalam tiap-tiap sub bab. Pada prinsipnya alat ini mengukur jarak perpindahan posisi minimum suatu gelombang bunyi dengan menggunakan pipa organa sebagai metodenya.

### 3.1 Gambaran Sistem Secara Keseluruhan



*Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem*

Pada gambar blok diagram sistem di atas, mikrokontroller berfungsi sebagai pemroses data. Tanda panah yang menuju mikrokontroller adalah input dan tanda panah yang meninggalkan mikrokontroller adalah output.

Untuk mengoperasikan alat ini, mula – mula frekuensi harus di atur terlebih dahulu. Frekuensi yang terjadi akan menggerakkan speaker sebagai sumber bunyi. Gelombang bunyi akan merambat dalam medium udara di dalam pipa organa dan mikrofon akan mendeteksi titik (posisi) terjadi simpul – simpul gelombang. Sensor mikrofon dihubungkan pada kawat sling, batang ulir dan katrol, dengan sebagai

penggeraknya adalah motor DC. Jadi, driver dan motor DC sebagai penggerak sensor mikrofon dan shaft/rotary encoder sebagai pencacah pulsa putaran motor. Hasil konversi pulsa putaran motor ke dalam satuan cm untuk menentukan panjang gelombang bunyi.

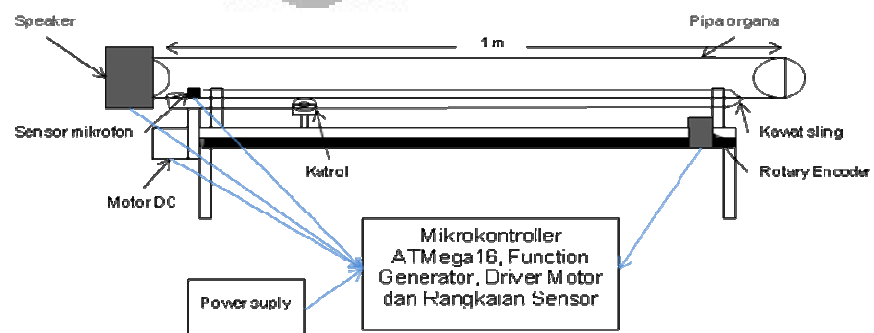
Sistem ini menggunakan mikrokontroller sebagai pengatur dan pemroses data yang diperoleh dari sensor mikrofon dan shaft/rotary encoder berupa posisi titik simpul. Berdasarkan posisi titik – titik simpul dan frekuensi yang diperoleh akan digunakan untuk menentukan kecepatan rambat gelombang bunyi dalam medium udara di dalam pipa organa.

### 3.2 Konstruksi Mekanik

Perancangan alat mekanik terdiri atas besi, pipa organa, motor DC, batang ulir dan optocoupler. Sebagai medium digunakan pipa organa yang salah satu ujungnya terbuka sedangkan ujung lainnya ditutup oleh speaker sebagai media sumber bunyi yang dipasang tanpa menyentuh sisi tepi lingkaran pipa organa.

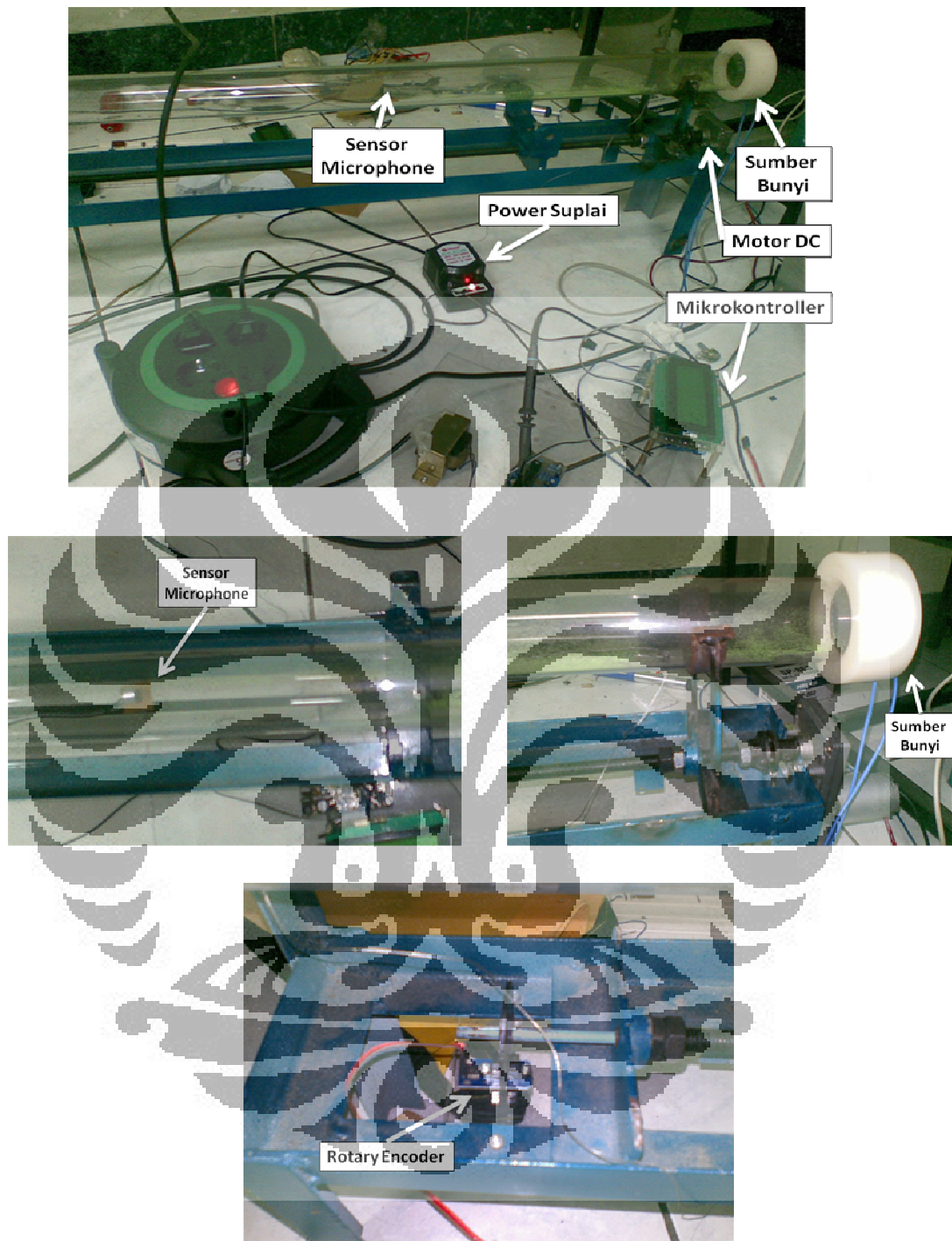
Motor DC 24V disambungkan ke batang ulir dan katrol untuk menggerakkan sensor mikrofon dengan penghubung kawat sling sebagai penariknya. Penggunaan motor DC (motor dua arah) adalah agar motor dapat menggerakkan sensor mikrofon maju atau mundur (bolak – balik) dalam medium pipa organa.

Pada rangkaian motor DC terdapat optocoupler sebagai shaft/rotary encoder, yang berfungsi untuk menterjemahkan berapa kali putaran motor ke dalam pulsa (berfungsi sebagai counter). Tujuan dari penggunaan shaft/rotary encoder ini adalah untuk mengetahui tegangan minimum pada posisi titik simpul yang ditangkap oleh sensor mikrofon. Konstruksi mekanik dan benda uji terlihat pada gambar berikut :



Gambar 3.2 Konstruksi Mekanik dengan Benda Uji





Gambar 3.3 Komponen Mekanik

Gambar di atas adalah perangkat sistem pengukur kecepatan gelombang bunyi di udara dengan medium pipa organa beserta rangkaian – rangkaian utamanya. Terlihat katrol, batang ulir dan shaft/rotary encoder yang berfungsi sebagai penggerak sensor mikrofon

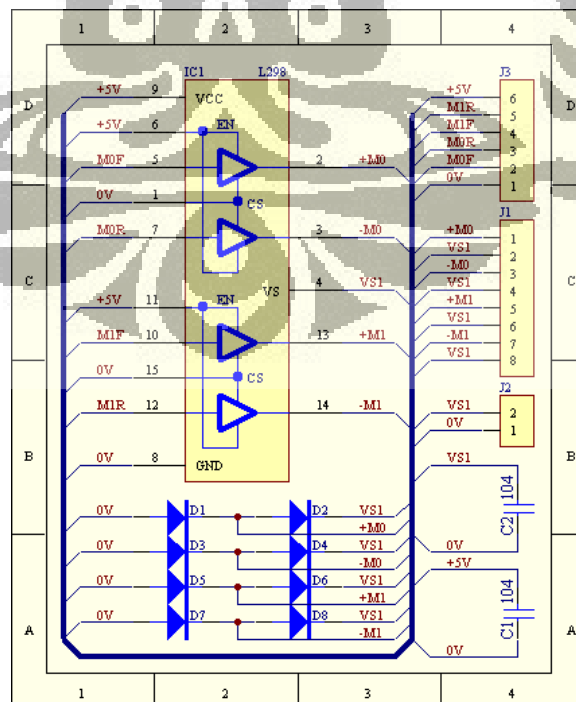
dan penterjemah pulsa diletakkan di bawah pipa organa dengan kawat sling sebagai penarik.

Untuk membedakan tiap uji coba, pada sistem ini digunakan function generator pada mikrokontroller sebagai sumber bunyi dengan potensio untuk membeda - bedakan frekuensi bunyi yang dikeluarkan untuk kemudian di ambil datanya.

### 3.3 Konstruksi rangkaian

#### 3.3.1 Rangkaian Driver

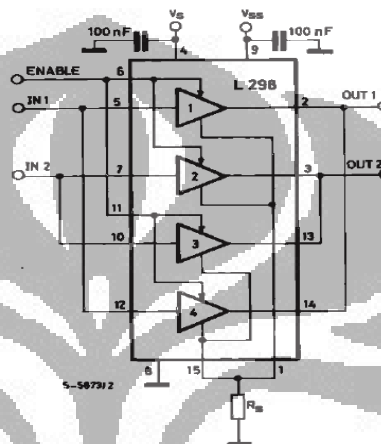
Pada driver motor DC ini dapat bekerja bolak – balik. Prinsip kerja dalam motor DC dapat dijelaskan dengan prinsip elektromagnetik. Tegangan yang di induksikan dalam sebuah konduktor harus sedemikian rupa hingga medan magnet yang dibangkitkan dari hasil arus pada konduktor akan berlawanan terhadap gerak induksi medan magnet. Jika satu kutub pada motor diberikan tegangan maka kutub lainnya bernilai nol. Hal ini yang menyebabkan motor bergerak. Begitupun sebaliknya, jika tegangan diberikan pada kutub yang lain maka motor akan bergerak ke arah sebaliknya. Berikut gambar skematik rangkaian driver motor DC yang digunakan dalam sistem.



Gambar 3.4 Rangkaian Driver

Rangkaian driver motor berfungsi untuk mengendalikan gerakan dengan input yang berasal dari mikrokontroller. Rangkaian driver motor di atas menggunakan IC L298. Pada bagian inputnya dihubungkan ke mikrokontroller sehingga untuk menggerakkan motor dilakukan dengan memberikan logika *high* atau *low* pada kaki inputnya.

Adapun cara kerja driver motor menggunakan L298 sebagai berikut :



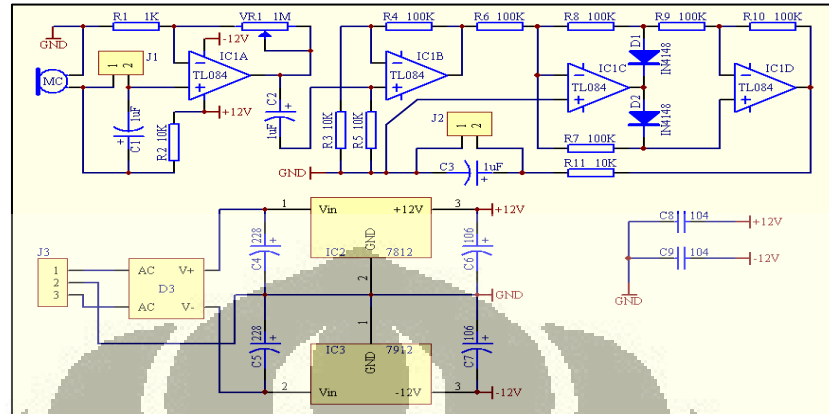
Gambar 3.5 Cara kerja driver motor.....[2]

Vss merupakan suplai untuk IC, Vs 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 4. Bila kaki 5 diberi logika *high* dan kaki 7 diberi logika *low* maka motor akan bergerak maju namun bila kondisinya dibalik maka motor akan bergerak mundur.

### 3.3.2 Rangkaian Sensor (Sensor Mikrofon)

Rangkaian Sensor ini menggunakan mikrofon jenis kondenser kapasitor yang yang didalamnya terdapat plat membran diafragma sebagai salah satu plat kapasitor dielektrik udara yang peka terhadap pengukuran suara/bunyi. Dan dalam rangkaian sensor terdapat IC TL084 karena pada IC TL084 berisi 4 OpAmp (Operasional Amplifier) dan merupakan IC jenis noise dan distorsi rendah untuk menguatkan sinyal suara/bunyi yang ditangkap oleh sensor mikrofon. Berikut gambar skematik rangkaian

sensor yang digunakan dalam sistem yang dilengkapi dengan sensor mikrofon tipe kondenser pada pin J1.

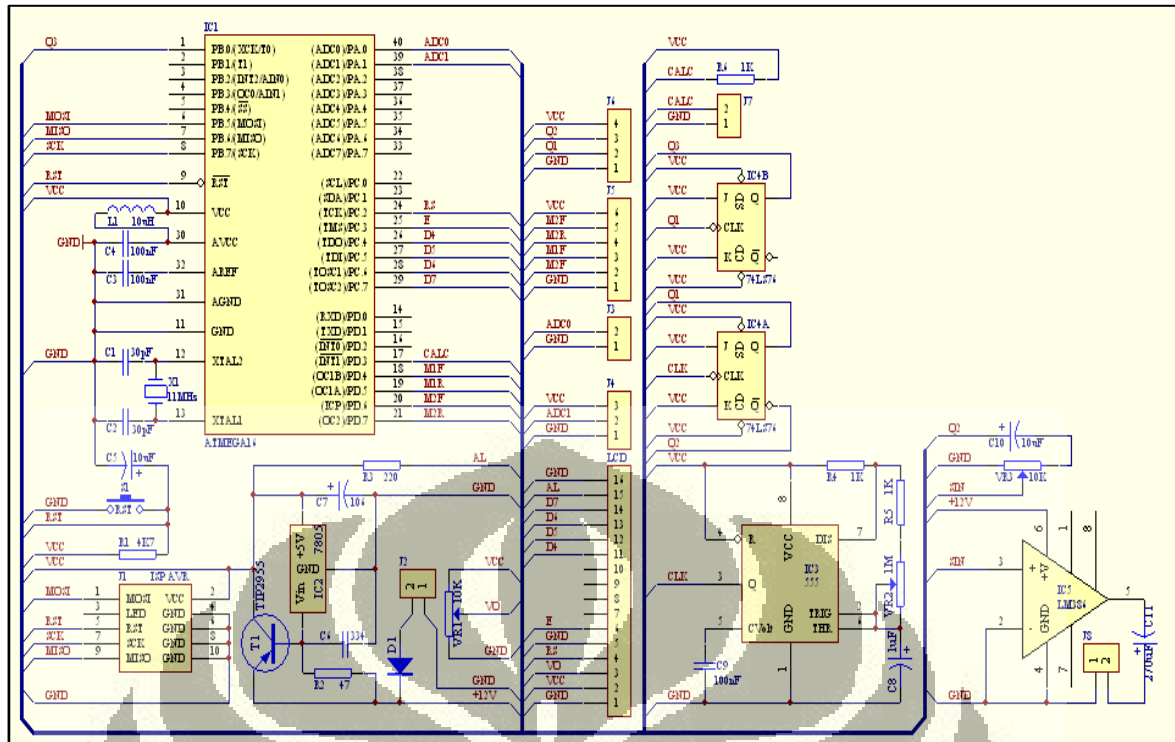


Gambar 3.6 Rangkaian Sensor Mikrofon

Rangkaian di atas menggunakan penguatan non inverting sebanyak 0 - 1001 kali dan 0 - 11 kali untuk menguatkan sinyal suara yang ditangkap oleh sensor mikrofon pada kaki 1 dan kaki 7 TL084 kemudian di searahkan dengan menggunakan penguatan OpAmp dan dioda dengan tujuan selain sebagai penyearah juga untuk mencegah hilangnya tegangan dioda terhadap sinyal yang diterima sebelum di-inputkan pada mikrokontroller. Juga terdapat rangkaian low pass filter untuk menghilangkan noise dan men-filter sinyal – sinyal low yang dapat mempengaruhi penentuan titik simpul gelombang. Kaki output berupa gelombang sinusoidal yang telah diperkuat dan di filter melalui pin kaki J2 dihubungkan pada rangkaian mikrokontroller dengan memberikan tegangan 12 Volt.

### 3.3.3 Rangkaian Kontrol

Rangkaian kontrol bertindak sebagai media yang memungkinkan pengendali mikrokontroller bekerja secara optimal, di dalamnya dilengkapi dengan soket ISP (In-System Programming) sehingga memudahkan dalam proses pengisian program. Sebagai sumber pewaktuan utama mempergunakan kristal 11 MHz yang berfungsi untuk menentukan kecepatan eksekusi instruksi program. Berikut gambar skematik rangkaian kontrol yang terdiri atas mikrokontroller dan function generator yang digunakan dalam sistem ini.



Gambar 3.7 Rangkaian Kontrol

Pada rangkaian kontrol di atas menggunakan mikrokontroler Atmega16 yang didalamnya terdapat 4 port. Dalam setiap portnya terdapat 8 pin yang dapat digunakan sebagai input maupun output.

Pada rangkaian kontrol ini terdapat rangkaian function generator yang menggunakan IC 555 menghasilkan gelombang kotak dengan ditambahkan IC LM386 dihasilkan gelombang sinusoidal, penggunaan IC 555 karena dianggap dapat memberikan keluaran sinyal gelombang yang cukup stabil. Kemudian ditambahkan IC 74LS76 yang mempunyai dual J/K flip flop dalam memperlebar fase gelombang yang dihasilkan dan dihubungkan pada Q3. Rangkaian function generator ini dihubungkan dengan speaker melalui pin J8. Dan potensio (VR 1M) untuk mengatur besar frekuensi sinyal.

Pada PORTA.0 digunakan untuk membaca output dari rangkaian sensor berupa amplitudo gelombang bunyi yang terjadi dan motor akan digunakan untuk menggerakkan mikrofon.

Untuk mengetahui jarak serta posisi dari sensor maka digunakan optocoupler yang terletak dibagian belakang motor DC. Nilai pulsa cacahan yang keluar dari optical encoder dimasukkan sebagai counter melalui fungsi interrupts1 atau PORTD.3, dari

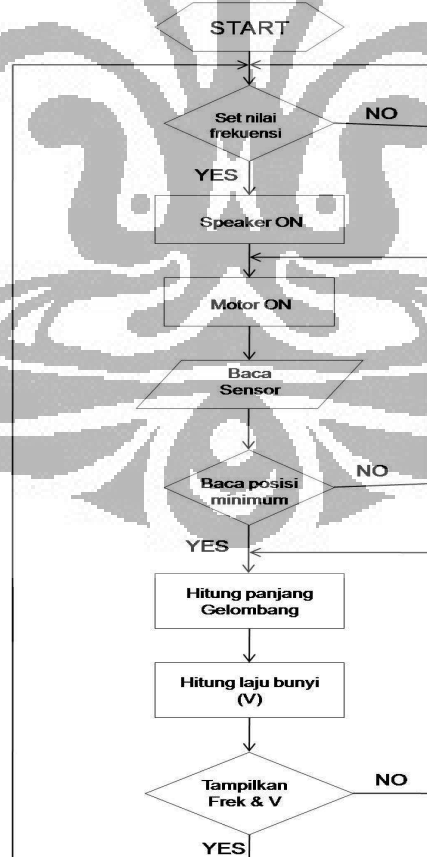
pulsa cacahan yang dihasilkan akan diketahui jarak perpindahannya. Motor bergerak melalui batang ulir yang memiliki perpindahan sama dengan 1 cm/48 pulsa.

Pada rangkaian kontrol sistem ini, PORTD.4 sampai PORTD.7 digunakan sebagai output dan input ke motor DC melalui pin J5.

Pada PORTC digunakan sebagai output ke LCD. LCD dihubungkan ke port C, tepatnya adalah Db4 = Portc.4, Db5 = Portc.5, Db6 = Portc.6, Db7 = Portc.7, E = Portc.3, Rs = Portc.2. Rangkaian mikrokontroler di atas telah dilengkapi dengan power suplai 12 Volt. Mikrokontroler ini memiliki output 5 Volt yang dapat digunakan untuk rangkaian yang membutuhkan tegangan DC 5 Volt seperti sensor mikrofon dengan dipasang regulator 7805 sebagai pembatas tegangan yang masuk ke rangkaian sensor dan rangkaian mikrokontroler.

### 3.4 Perancangan Software

Perancangan software ini menggunakan bahasa pemrograman *Basic Compiler – AVR*.



Gambar 3.8 Flowchart Cara kerja Sistem

Flowchart diatas merupakan skematik alur kerja sistem untuk mencari jarak titik simpul dan besarnya kecepatan gelombang bunyi di medium pipa organa.

Pada perancangan software terlihat pada flowchart dengan penjelasan ketika sistem dinyalakan maka speaker akan menyala/mengeluarkan bunyi yang sebelumnya telah kita atur frekuensinya dengan menggunakan potensio. Pada saat speaker mengeluarkan bunyi, pada saat itu juga motor berputar menggerakkan sensor mikrofon untuk menangkap gelombang bunyi yang menjalar dalam medium pipa organa.

Sensor mikrofon melakukan scan sepanjang pipa organa terhadap tegangan output dari gelombang bunyi kemudian memberitahukan pada mikrokontroller ketika mencapai tegangan minimum dan membacanya sebagai titik simpul.

Ketika motor berputar, maka optocoupler akan membaca berapa kali putaran motor untuk kemudian diterjemahkan dalam bentuk putaran pulsa. Dapat dikatakan pada saat sensor mikrofon memperoleh tegangan minimum (titik simpul) pada proses scan-nya maka optocoupler akan membaca jumlah pulsa pada saat itu juga dan membacanya sebagai posisi titik simpul gelombang.

Kemudian mikrokontroller menghitung panjang gelombang bunyi dengan perhitungan posisi minimum 3 dikurangi posisi minimum 2 atau posisi minimum 2 dikurangi posisi minimum 1 kemudian dikalikan 2 dan kecepatan gelombang bunyi di medium pipa organa diperoleh dengan mengalikan panjang gelombang dan frekuensinya. Lalu akan tampil pada LCD besarnya laju bunyi gelombang beserta frekuensinya.



## BAB 4

### PENGAMBILAN DATA DAN ANALISA

Pada bab ini akan menjelaskan tentang cara pengambilan data dan data yang diperoleh. Pada subbab selanjutnya yaitu menganalisa sistem keseluruhan dan juga menganalisa data yang telah diperoleh.

Perlu dilakukan pengujian alat serta penganalisaan terhadap alat, apakah sistem bekerja dengan baik atau tidak. Pengujian – pengujian tersebut meliputi :

1. Pengujian frekuensi terhadap hambatan
2. Pengujian perpindahan sensor terhadap putaran motor DC
3. Pengujian sistem

#### 4.1 Pengujian frekuensi terhadap hambatan

Pengujian frekuensi ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara besarnya hambatan potensiometer terhadap frekuensi. Cara pengambilan data frekuensi dan potensio ini yaitu frekuensi generator dihubungkan ke speaker dan rangkaian potensiometer diputar kemudian dibaca periode gelombang yang terjadi pada osciloskop dan diukur hambatannya pada potensiometer. Pembacaan dilakukan sebanyak 10 kali. Berikut tabel data frekuensi dari putaran potensio terhadap nilai hambatan pada variable resistor function generator/potensiometer.

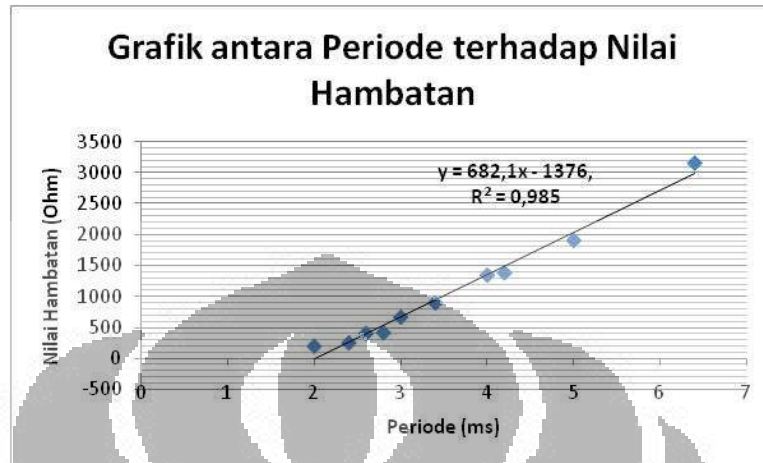
*Tabel 4.1 Nilai Frekuensi terhadap nilai Hambatan*

Periode (ms)	Frekuensi ( $s^{-1}$ )	Nilai Hambatan (Ohm)
2	500,0	200
2,4	416,7	255
2,6	384,6	408
2,8	357,1	418
3	333,3	670
3,4	294,1	900
4	250,0	1348
4,2	238,1	1388
5	200,0	1910
6,4	156,3	3160

Pada pengambilan data frekuensi pada potensio terhadap nilai hambatan pada variabel resistor, dapat diketahui pada saat kita akan mengatur frekuensi, berapa nilai hambatan



yang kita atur terlebih dahulu agar pengaturan frekuensi pada potensio menjadi lebih akurat.



Grafik 4.1 Grafik Periode terhadap Nilai Hambatan

Data yang dihasilkan tidak linier. Hal ini dapat disebabkan karena pengukuran yang dilakukan secara manual dengan bantuan osciloskop, sehingga data yang didapatkan kurang akurat.

#### 4.2 Pengujian perpindahan sensor terhadap putaran motor DC

Pengujian perpindahan sensor terhadap putaran motor DC bertujuan untuk memperoleh fungsi transfer antara jarak perpindahan sensor terhadap jumlah pulsa/cacahan yang dihasilkan dari pembacaan optocoupler. Rangkaian optocoupler sebagai rotary encoder/penghitung pulsa terdiri atas piringan hitam 36 lubang dan sensor optical encoder.

Motor DC memutar batang ulir yang pada salah satu ujungnya dipasang piringan hitam yang ikut berputar dengan indikator lampu LED bekerja secara ON – OFF. Ketika sensor optical encoder mendeteksi lubang terang maka lampu LED ON. Jika lampu LED ON maka dihitung pulsa = 1. Dengan bantuan alat pengukur/mistar yang ditempatkan pada rangkaian mekanik (holo besi), dapat dihitung pulsa yang diperoleh dari pembacaan optocoupler. Didapat nilai **48 pulsa untuk perpindahan setiap 1 cm**, maka dapat disimpulkan bahwa 1 pulsa yang dihasilkan oleh optocoupler, mampu menghasilkan perpindahan sensor sejauh **0.208 mm**. Berikut pengambilan data Jarak perpindahan sensor mikrofon terhadap jumlah pulsa yang terbaca pada optocoupler.

Tabel 4.2 Pengujian Perpindahan

Dari tabel data tersebut diatas, dibuat grafik hubungan linier antara Jarak perpindahan sebagai sumbu y dan jumlah pulsa/cacahan sebagai sumbu x agar diperoleh persamaan fungsi transfernya.



Grafik 4.2 Grafik Jarak perpindahan terhadap Jumlah Cacahan

Berikut cara perhitungan panjang gelombang, dengan menggunakan bahasa pemrograman BACSOM-AVR dengan logika sebagai berikut :

*Set posisi counter :*

Persamaan linier untuk jarak perpindahan terhadap jumlah cacahan

$$y = 48.40x - 11.13$$

kelinieran sebesar 0.997

dengan variabel  $y$  = jumlah pulsa/cacahan

$x$  = jarak perpindahan

maka fungsi transfer menjadi

$$x = \frac{y + 11,13}{48,40}$$

Bila, jumlah pulsa yang terhitung = 120 pulsa. Maka, jarak perpindahan (posisi minimum I) berada di **2,709 cm**.

Setelah diperoleh fungsi transfer antara jarak perpindahan sensor terhadap putaran motor yang diterjemahkan dalam bentuk pulsa dan kemudian dikonversikan ke dalam satuan cm maka akan diperoleh posisi minimum amplitudo gelombang. Diperoleh beberapa posisi minimum dalam satu kali pengamatan. Dari beberapa posisi minimum yang diperoleh dapat diketahui panjang gelombang bunyi yang menjalar, nantinya akan dijadikan variabel dalam perhitungan kecepatan bunyi dalam pipa organa.

### 4.3 Pengujian Sistem

Setelah melakukan pengujian perpindahan untuk mendapatkan nilai pulsa/cacahan dari encoder motor yang dikonversi ke jarak (cm), selanjutnya adalah menguji keseluruhan sistem kemudian mengambil data dan melakukan analisa terhadap data yang didapatkan.

Sesuai dengan alur flowchart, ketika sistem dinyalakan maka speaker akan menyala/mengeluarkan bunyi yang sebelumnya telah kita atur frekuensinya dengan menggunakan potensio. Pada saat speaker mengeluarkan bunyi, pada saat itu juga motor berputar menggerakkan sensor mikrofon untuk menangkap gelombang bunyi yang menjalar dalam medium pipa organa.

Sensor mikrofon melakukan scan terhadap tegangan output dari gelombang sinyal kemudian memberitahukan pada mikrokontroler ketika mencapai tegangan minimum dan membacanya sebagai titik simpul.

Ketika motor berputar, maka optocoupler akan membaca berapa kali putaran motor untuk kemudian diterjemahkan dalam bentuk putaran pulsa. Dapat dikatakan pada saat sensor mikrofon memperoleh tegangan minimum (titik simpul) pada proses scan-nya maka optocoupler akan membaca jumlah pulsa, pada saat itu juga dan membacanya sebagai posisi titik simpul gelombang dengan mengkonversi jumlah pulsa

ke dalam satuan cm menggunakan fungsi transfer yang sebelumnya diperoleh pada pengujian perpindahan sensor terhadap jumlah putaran motor.

Kemudian mikrokontroler menghitung panjang gelombang bunyi dengan perhitungan posisi minimum 3 dikurangi posisi minimum 2 atau posisi minimum 2 dikurangi posisi minimum 1 kemudian dikalikan 2 dan kecepatan gelombang bunyi di medium pipa organa diperoleh dengan mengalikan panjang gelombang dan frekuensinya. Lalu akan tampil pada LCD besarnya laju bunyi gelombang beserta frekuensinya.

- Pada pipa organa
- Panjang pipa 80 cm = 0.8 m

Perhitungan literatur kecepatan bunyi pada  $n = 1$

Frekuensi = 300 Hz

$$\lambda = 4/3 l = 4/3 \times 0.8$$

$$= 1.06 \text{ m}$$

$$V = f\lambda$$

$$= 300 \times 1.06$$

$$= 320 \text{ m/s}$$

Berikut data percobaan/pengamatan pada frekuensi  $\pm 300 \text{ s}^{-1}$  dengan variasi 5 nilai frekuensi yang berbeda. Diperoleh tegangan minimum dari pembacaan sensor mikrofon dan posisi minimum dari pembacaan optocoupler.

*Tabel 4.3 Data Percobaan tegangan minimum dari pembacaan sensor mikrofon dan posisi minimum dari pembacaan optocoupler pada pipa organa*

Frekuensi (1/s)	Tegangan Minimum (Volt) di Posisi II	Posisi I (pulsa)	Posisi I (cm)	Posisi II (pulsa)	Posisi II (cm)	Posisi III (pulsa)	Posisi III (cm)
300,4	-1	0	0	2646	54,9	-	-
302,3	-1	0	0	2565	53,2	-	-
305,9	-1	0	0	2602	54,0	-	-
309,9	-1	0	0	2562	53,2	-	-
311,1	-1	0	0	2481	51,5	-	-

dari tabel di atas tidak diperoleh posisi minimum 3 karena sudah tidak terukur oleh sensor mikrofon dikarenakan posisi minimum 3 berada di luar pipa organa.

Kemudian dari perolehan data posisi minimum 1,2 dan 3, dihitung panjang gelombang bunyi setelah dikonversi ke dalam satuan cm. Berikut tabel data perhitungan panjang gelombang dari frekuensi  $\pm 300 \text{ s}^{-1}$ .

Tabel 4.4 Data Perhitungan Panjang Gelombang pada pipa organa

Posisi I (pulsa)	Posisi I (cm)	Posisi II (pulsa)	Posisi II (cm)	Posisi III (pulsa)	Posisi III (cm)	Panjang Gelombang (1/2 $\lambda$ ) (cm)	Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) (cm)	Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) (m)
0	0	2646	54,9	-	-	54,9	109,8	1,1
0	0	2565	53,2	-	-	53,2	106,4	1,1
0	0	2602	54,0	-	-	54,0	108,0	1,1
0	0	2562	53,2	-	-	53,2	106,3	1,1
0	0	2481	51,5	-	-	51,5	103,0	1,0

Kemudian dari penentuan nilai frekuensi dan perhitungan panjang gelombang, dapat dihitung kecepatan bunyi di udara pada frekuensi  $\pm 300 \text{ s}^{-1}$ .

Tabel 4.5 Data Percobaan Laju Bunyi pipa organa

Frekuensi (1/s)	Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) (m)	Laju Bunyi (V) (m/s)
300,4	1,1	329,78
302,3	1,1	321,78
305,9	1,1	330,32
309,9	1,1	329,56
311,1	1,0	320,38
Rata - rata		326,36

Rata – rata kecepatan gelombang bunyi di udara dengan frekuensi  $\pm 300 \text{ s}^{-1}$  dan panjang pipa organa ( $l$ ) 0.8 m

= **326,36 m/s**

- **Kesalahan literatur pada pipa organa**

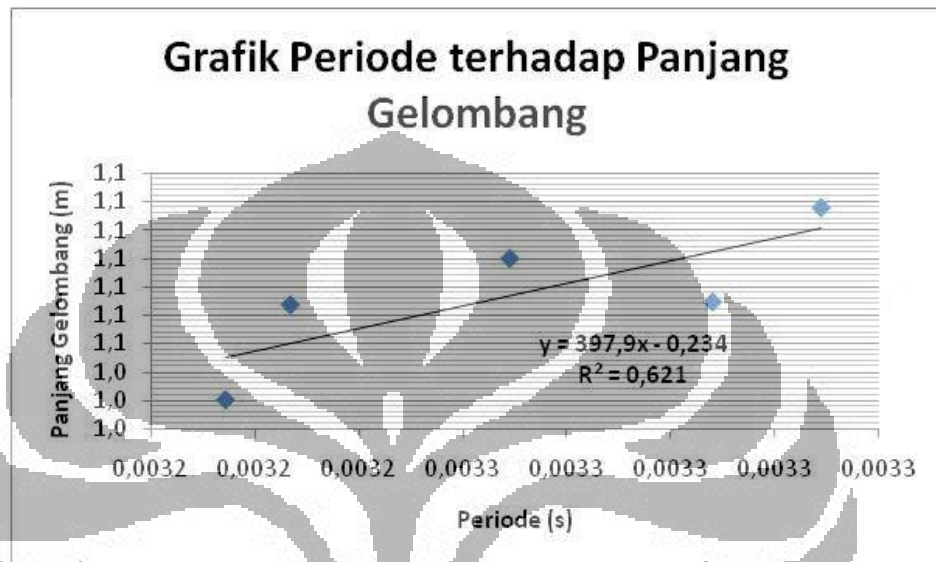
$$\text{kesalahan literatur} = \left| \frac{326,36 - 320}{320} \right| \times 100\%$$

$$= 1,98 \%$$

Tingkat error  $|\bar{e}| = 320 \pm 6,36 \text{ m/s}$

Data pada percobaan mengukur kecepatan gelombang bunyi di udara dengan menggunakan pipa organa yang dilakukan sebanyak 5 kali hasilnya tidak terlalu berbeda jauh, namun memiliki hasil yang cukup jauh dari kecepatan gelombang bunyi di udara sebenarnya yaitu sebesar 326,99 m/s. Digunakan kisaran frekuensi  $\pm 300 \text{ Hz}$  karena gelombang bunyi beresonansi atau terbentuk gelombang berdiri pada kisaran frekuensi tersebut. Hal tersebut disebabkan oleh sinyal gelombang sinusoidal bunyi sebagai keluaran dari function generator LM386 mengalami penguatan yang cukup besar sehingga memiliki bentuk gelombang yang beresilasi cukup cepat. Jadi cukup

sulit untuk dideteksi titik – titik simpul (yang terlihat pada osciloskop sebagai pembeding), sehingga mempengaruhi penentuan posisi minimum dan nilai kecepatan gelombang bunyi di udara menjadi kurang tepat. Dari percobaan ini didapatkan kesalahan literatur sebesar 1,98 %.



Grafik 4.3 Hubungan nilai Frekuensi  $300s^{-1}$  terhadap nilai Panjang Gelombang

Dari grafik tersebut di atas, diperoleh persamaan garis

$$y = 397,9x - 0,234$$

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

dengan nilai 397,9 sebagai konstanta kecepatan gelombang bunyi di udara.

Dari grafik tersebut di atas juga dapat disimpulkan bahwa variabel nilai periode dan besar panjang gelombang memiliki hubungan yang searah/berbanding lurus yang berarti semakin besar nilai periode maka semakin besar panjang gelombang bunyi yang menjalar dan berbanding terbalik dengan nilai frekuensi.

Perhitungan literatur kecepatan bunyi pada  $n = 2$

Frekuensi = 500 Hz

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{v}{f} = \frac{4}{5} \times 0.8 \\ &= 0.64 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= f\lambda \\
 &= 500 \times 0.64 \\
 &= 320 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Berikut data percobaan/pengamatan pada frekuensi  $\pm 500 \text{ s}^{-1}$  dengan variasi 5 nilai frekuensi yang berbeda. Diperoleh tegangan minimum dari pembacaan sensor mikrofon dan posisi minimum dari pembacaan optocoupler.

Tabel 4.6 Data Percobaan tegangan minimum dari pembacaan sensor mikrofon dan posisi minimum dari pembacaan optocoupler pada pipa organa

Frekuensi (1/s)	Tegangan Minimum (Volt) di Posisi II	Posisi I (pulsa)	Posisi I (cm)	Posisi II (pulsa)	Posisi II (cm)	Posisi III (pulsa)	Posisi III (cm)
500,9	-1	0	0	1565	32,6	3129	65,1
502,9	-1	0	0	1570	32,7	3141	65,4
504,8	-1	0	0	1552	32,3	3105	64,6
509,3	-1	0	0	1556	32,4	3112	64,8
501,3	-1	0	0	1569	32,7	3139	65,3

dari tabel di atas diperoleh posisi minimum 3 karena masih dapat terukur oleh sensor mikrofon dikarenakan posisi minimum 3 masih berada di dalam pipa organa.

Kemudian dari perolehan data posisi minimum 1,2 dan 3, dihitung panjang gelombang bunyi setelah dikonversi ke dalam satuan cm. Berikut tabel data perhitungan panjang gelombang dari frekuensi  $\pm 500 \text{ s}^{-1}$ .

Tabel 4.7 Data Perhitungan Panjang Gelombang pada pipa organa

Posisi I (pulsa)	Posisi I (cm)	Posisi II (pulsa)	Posisi II (cm)	Posisi III (pulsa)	Posisi III (cm)	Panjang Gelombang (1/2 $\lambda$ ) (cm)	Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) (cm)	Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) (m)
0	0	1565	32,6	3129	65,1	32,6	65,1	0,7
0	0	1570	32,7	3141	65,4	32,7	65,4	0,7
0	0	1552	32,3	3105	64,6	32,3	64,6	0,6
0	0	1556	32,4	3112	64,8	32,4	64,8	0,6
0	0	1569	32,7	3139	65,3	32,7	65,3	0,7

Kemudian dari penentuan nilai frekuensi dan perhitungan panjang gelombang, dapat dihitung kecepatan bunyi di udara pada frekuensi  $\pm 500 \text{ s}^{-1}$ .

Tabel 4.8 Data Percobaan Laju Bunyi pipa organa

Frekuensi (1/s)	Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) (m)	Laju Bunyi (V) (m/s)
500,9	0,7	326,13
502,9	0,7	328,67
504,8	0,6	326,13
509,3	0,6	329,78
501,3	0,7	327,38
Rata - rata		327,62

Rata – rata kecepatan gelombang bunyi di udara dengan frekuensi  $\pm 500 \text{ s}^{-1}$  dan panjang pipa organa ( $l$ ) 0.8 m

$$= 327,62 \text{ m/s}$$

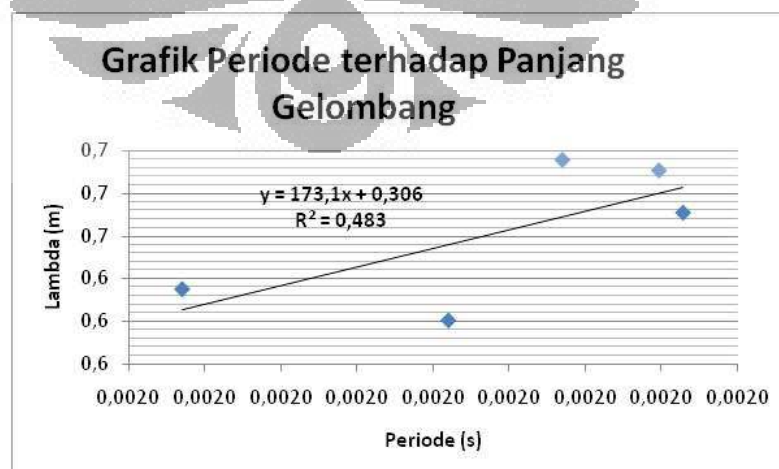
- **Kesalahan literatur pada pipa organa**

$$\text{kesalahan literatur} = \left| \frac{327,62 - 320}{320} \right| \times 100\%$$

$$= 2,38 \%$$

$$\text{Tingkat error } |\bar{e}| = 320 \pm 7,62 \text{ m/s}$$

Data pada percobaan mengukur kecepatan gelombang bunyi di udara dengan menggunakan pipa organa yang dilakukan sebanyak 5 kali hasilnya tidak terlalu berbeda jauh, namun memiliki hasil yang cukup jauh dari kecepatan gelombang bunyi di udara sebenarnya yaitu sebesar 327,62 m/s. Digunakan kisaran frekuensi  $\pm 500 \text{ Hz}$  karena gelombang bunyi beresonansi atau terbentuk gelombang berdiri pada kisaran frekuensi tersebut. Hal tersebut disebabkan oleh sinyal gelombang sinusoidal bunyi sebagai keluaran dari function generator LM386 mengalami penguatan yang cukup besar sehingga memiliki bentuk gelombang yang beresilasi cukup cepat. Jadi cukup sulit untuk dideteksi titik – titik simpul (yang terlihat pada osciloskop sebagai pembanding), sehingga mempengaruhi penentuan posisi minimum dan nilai kecepatan gelombang bunyi di udara menjadi kurang tepat. Dari percobaan ini didapatkan kesalahan literatur sebesar 2.38 %.



Grafik 4.4 Hubungan nilai Frekuensi  $500 \text{ s}^{-1}$  terhadap nilai Panjang Gelombang



Dari grafik tersebut di atas, diperoleh persamaan garis

$$y = 173,1x + 0,306$$

$$\begin{array}{ccc} \downarrow & & \downarrow \\ \lambda & & \frac{1}{f} \end{array}$$

dengan nilai 173,1 sebagai konstanta kecepatan gelombang bunyi di udara.

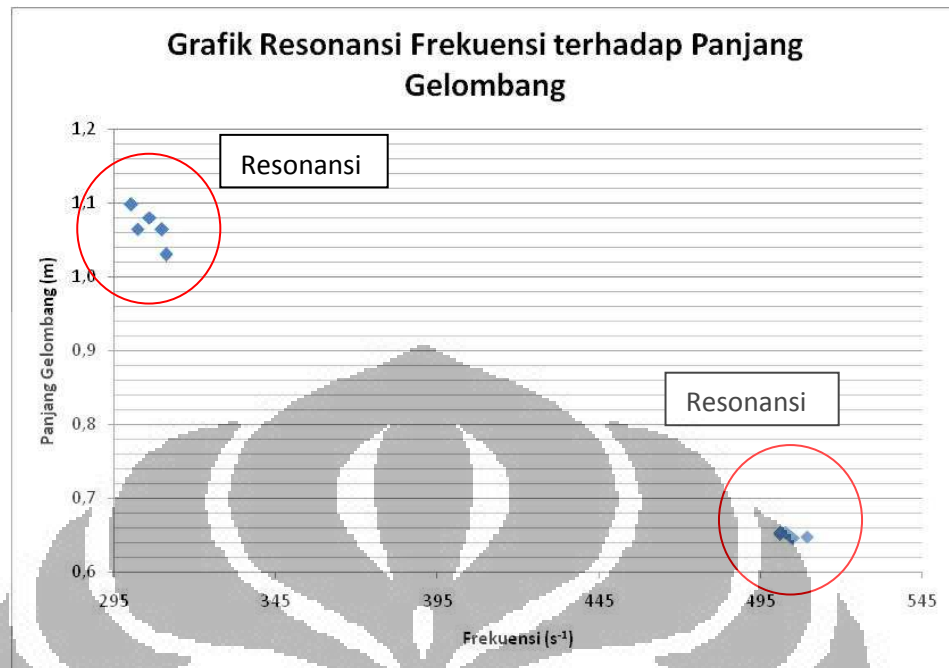
Dari grafik tersebut di atas juga dapat disimpulkan bahwa variabel nilai periode dan besar panjang gelombang memiliki hubungan yang searah/berbanding lurus yang berarti semakin besar nilai periode maka semakin besar panjang gelombang bunyi yang menjalar dan berbanding terbalik dengan nilai frekuensi.

Berikut data yang menunjukkan hubungan adanya resonansi antara frekuensi 300 Hz dan 500 Hz terhadap Panjang Gelombang dan Kecepatan bunyi di udara dengan melihat titik – titik simpul pada osciloskop kemudian dihitung panjang gelombang dari titik – titik simpul yang berdekatan dan kecepatan gelombang bunyi pada periode/frekuensi tersebut.

Tabel 4.9 Data Percobaan Laju Bunyi pipa organa

Periode (s)	Frekuensi (1/s)	Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) (m)	Laju Bunyi (V) (m/s)
0,0033	300,4	1,1	329,78
0,0033	302,3	1,1	321,78
0,0033	305,9	1,1	330,32
0,0032	309,9	1,1	329,56
0,0032	311,1	1,0	320,38
0,0020	500,9	0,7	326,13
0,0020	502,9	0,7	328,67
0,0020	504,8	0,6	326,13
0,0020	509,3	0,6	329,78
0,0020	501,3	0,7	327,38
Rata - rata			326,99

Grafik 4.5 Grafik Periode terhadap panjang gelombang



Dari grafik tersebut di atas, terlihat bahwa dengan panjang  $l$  pipa organa sepanjang 0.8 m, resonansi mulai terjadi pada frekuensi  $\pm 300 \text{ s}^{-1}$  dan  $\pm 500 \text{ s}^{-1}$

Rata – rata kecepatan gelombang bunyi

$$= 326,99 \text{ m/s}$$

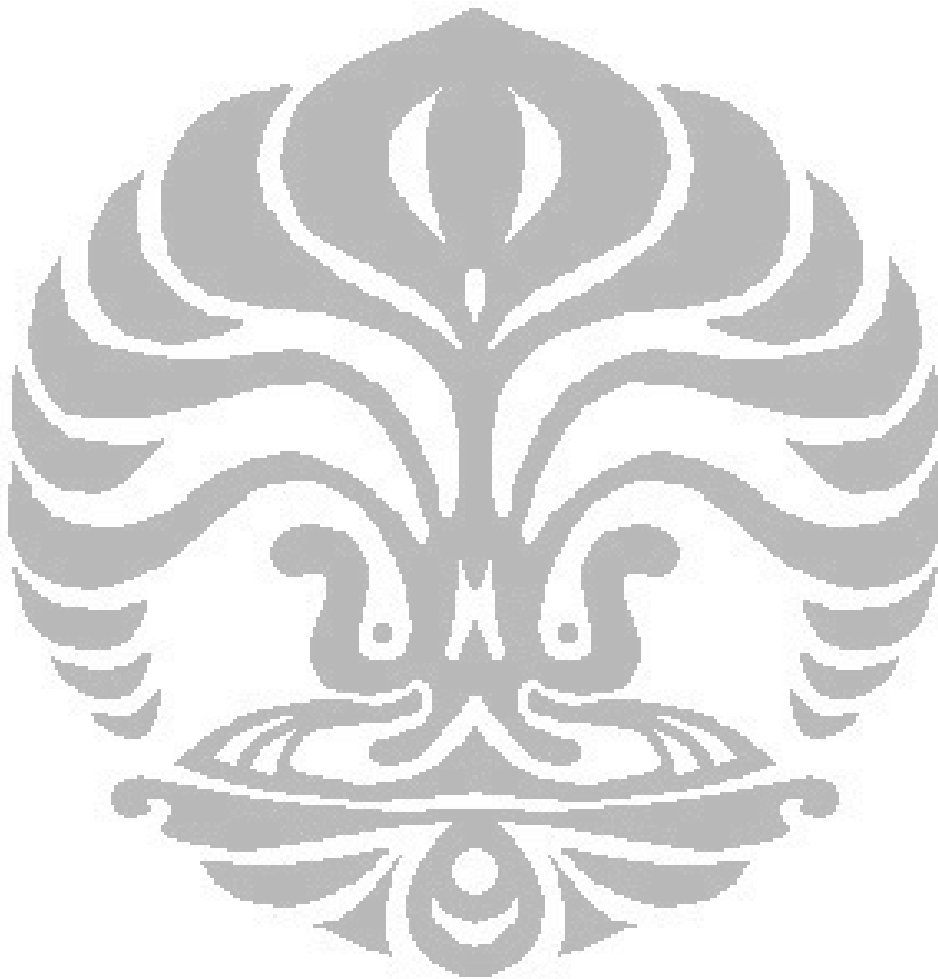
- *Kesalahan literatur pada pipa organa*

$$\begin{aligned} \text{kesalahan literatur} &= \left| \frac{326,99 - 320}{320} \right| \times 100\% \\ &= 2,18\% \end{aligned}$$

$$\text{Tingkat error } |\bar{e}| = 320 \pm 6,99 \text{ m/s}$$

Data pada percobaan mengukur kecepatan gelombang bunyi di udara dengan menggunakan pipa organa yang dilakukan sebanyak 10 kali hasilnya tidak terlalu berbeda jauh, namun memiliki hasil yang cukup jauh dari kecepatan gelombang bunyi di udara sebenarnya yaitu sebesar 326,99 m/s. Digunakan kisaran frekuensi  $\pm 300 \text{ Hz}$  dan  $\pm 500 \text{ Hz}$  karena gelombang bunyi beresonansi atau terbentuk gelombang berdiri pada kisaran frekuensi tersebut. Sinyal gelombang bunyi sebagai keluaran dari function generator mengalami penguatan yang cukup besar sehingga sinyal gelombang bunyi memiliki bentuk gelombang yang beresilasi cukup cepat sehingga cukup sulit untuk

dideteksi titik – titik simpul (yang terlihat pada osciloskop sebagai pembanding), sehingga penentuan posisi minimum dan nilai kecepatan gelombang bunyi di udara menjadi kurang tepat. Dari percobaan ini didapatkan kesalahan literatur sebesar 2,18 %.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

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

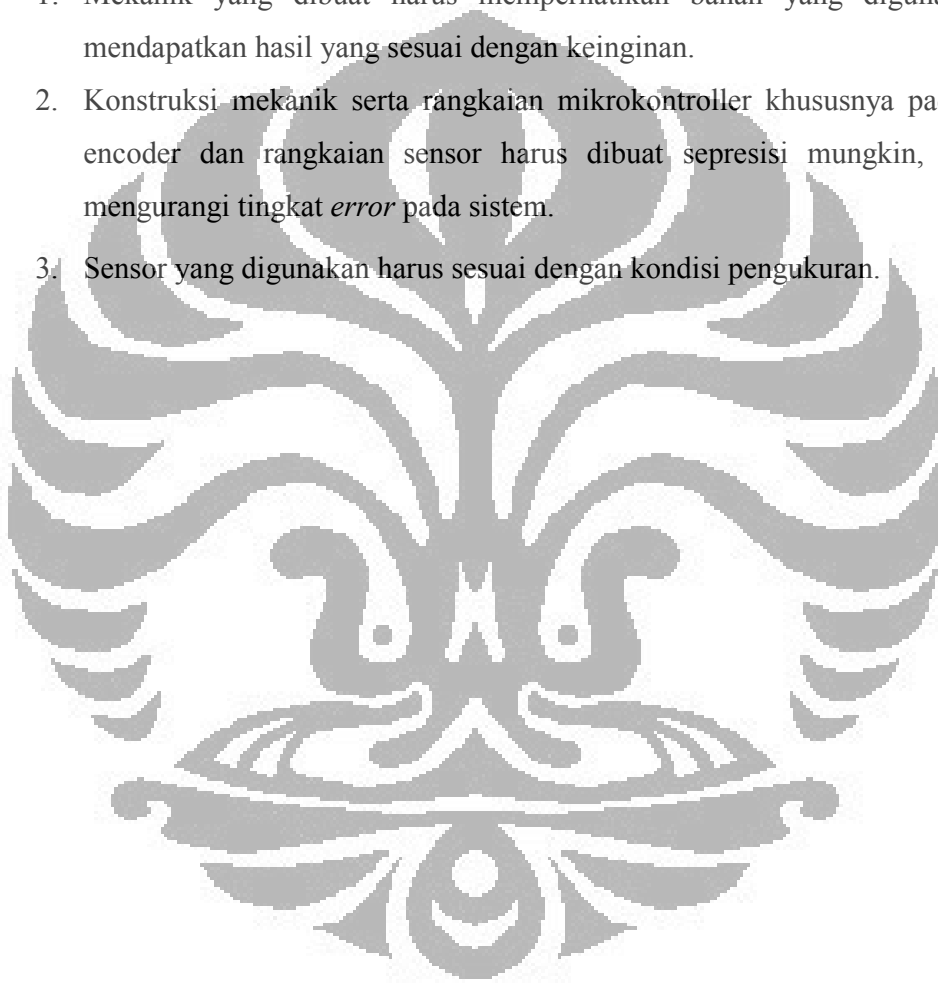
1. Optical encoder yang terdapat dalam pipa organa mampu melakukan perpindahan sejauh 1 cm/48 cacahan.
2. Dari pengamatan diketahui terbentuk gelombang bunyi yang beresonansi atau gelombang berdiri pada kisaran frekuensi  $\pm 300$  Hz ( $300 \text{ s}^{-1}$ ) dan  $\pm 500$  Hz ( $500 \text{ s}^{-1}$ ).
3. Pada frekuensi  $\pm 300$  Hz ( $300 \text{ s}^{-1}$ ) nada dasar 1 ( $n=1$ ) dihasilkan perhitungan panjang gelombang 1,1 m dan kecepatan gelombang bunyi di udara sebesar 326,36 m/s dengan kesalahan literatur sebesar 1,98% yang diperoleh dari pembacaan posisi – posisi titik simpul di 0 cm dan  $\pm 50$  cm.
4. Pada frekuensi  $\pm 500$  Hz ( $500 \text{ s}^{-1}$ ) nada dasar 2 ( $n=2$ ) dihasilkan perhitungan panjang gelombang  $\pm 0,6$  m dan kecepatan gelombang bunyi di udara sebesar 327,62 m/s dengan kesalahan literatur sebesar 2,38% yang diperoleh dari pembacaan posisi – posisi titik simpul di 0 cm,  $\pm 32$  cm dan  $\pm 65$  cm.
5. Dari data posisi minimum yang diperoleh serta penghitungan panjang gelombang terbukti bahwa semakin besar nilai frekuensi maka semakin kecil nilai panjang gelombang yang dihasilkan atau panjang gelombang berbanding lurus dengan nilai periode.
6. Dari beberapa kali melakukan pengamatan/pengambilan data dengan variasi nilai frekuensi diperoleh nilai kecepatan bunyi di udara = 326,99 m/s pada pipa organa.
7. Sinyal gelombang bunyi sebagai keluaran dari function generator mengalami penguatan yang cukup besar sehingga sinyal gelombang bunyi memiliki bentuk gelombang yang berosilasi cukup cepat sehingga cukup sulit untuk dideteksi titik – titik simpul (yang terlihat pada osciloskop sebagai pembanding), sehingga penentuan posisi minimum dan nilai kecepatan gelombang bunyi di udara

menjadi kurang tepat. Dari percobaan ini didapatkan kesalahan literatur sebesar 2,18%.

## 5.2 Saran

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

1. Mekanik yang dibuat harus memperhatikan bahan yang digunakan sehingga mendapatkan hasil yang sesuai dengan keinginan.
2. Konstruksi mekanik serta rangkaian mikrokontroler khususnya pada shaft/rotary encoder dan rangkaian sensor harus dibuat sepresisi mungkin, hal ini untuk mengurangi tingkat *error* pada sistem.
3. Sensor yang digunakan harus sesuai dengan kondisi pengukuran.



## DAFTAR ACUAN

- [1] Halliday, David.1989. *Fisika Jilid 1 (Terjemahan)*: Edisi Ketiga. Jakarta: Erlangga
- [2] Brey, B.Barry. 1984. *Microprocessor/Hardware Interfacing and Applications*. Columbus, Ohio : A Bell & Howell Company
- [3] Beckwith. G Thomas, dkk. *Mechanical Measurements*: Fifth Edition. Addison-Wesley Publishing Company
- [4] Lubis, Ashar Muda, dkk. 2005. *Jurnal Gradien Vol.1 No.1 Januari 2005*: Rancang Bangun Alat Penentuan Kecepatan Bunyi di Udara Berbasis Instrumentasi. Universitas Bengkulu, Indonesia
- [5] [www.robotindonesia.com](http://www.robotindonesia.com) diakses tahun 2010
- [6] <http://gudangilmufisikagratis.html> diakses tahun 2010
- [7] <http://SistemInstrumentasiStaklimBanjarbaruArticle.htm> diakses tahun 2010