

**ITS**Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

46657/18/12



RSE

617.533

Ana

p-1

2012

TUGAS AKHIR - TE091399**PERANCANGAN PROTOTIPE ELEKTROLARING
MENGUNAKAN H-BRIDGE SEBAGAI PENGGERAK
PLUNGER**Ahmad Delfhin Ananta
NRP 2209106082Dosen Pembimbing
Dr. Tri AriefSardjono, ST., MT.
Astria Nur Irfansyah, ST., MEng.JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2012

PERPUSSTARAAN ITS	
Tgl. Pinjam	26-1-2012
Tersm. Dari	H
No Agenda Prp.	-



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 091399

**DESIGN OF ELECTROLARYNX PROTOTYPE USING H-BRIDGE
AS A PLUNGER DRIVER**

Ahmad Delfhin Ananta
NRP 2209106082

Promotor
Dr. Tri Arief Sardjono, ST., M.T.
Astria Nur Irfansyah, ST., M.Eng.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2012

**ITS**Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember**ITS**Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

PERANCANGAN PROTOTIPE ELEKTROLARING MENGGUNAKAN H-BRIDGE SEBAGAI PENGGERAK PLUNGER

**ITS**Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember**ITS**Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR

**ITS**Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Elektronika
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**ITS**Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember**ITS**Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember**ITS**Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember**ITS**Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember**Menyetujui :****ITS**Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember**Dosen Pembimbing I****ITS**Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

Dr. Tri Arief Sardiono, ST, MT
NIP. 1970 0212 1995 12 1001

Dosen Pembimbing II**ITS**Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

Astria Nur Irfansyah, ST, M.Eng.
NIP. 1981 0325 2010 12 1002

**ITS**Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember**ITS**Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember**ITS**Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember**ITS**Institut
Teknologi**ITS**

Institut

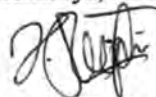
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“PERANCANGAN PROTOTIPE ELEKTROLARING MENGGUNAKAN H-BRIDGE SEBAGAI PENGGERAK *PLUNGER*”** adalah benar- benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2012



Ahmad Delfhin Ananta
2209106082



LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN PROTOTIPE
ELEKTROLARING MENGGUNAKAN *H-BRIDGE*
SEBAGAI PENGGERAK *PLUNGER***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Elektronika
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Dr. Tri Arief Sardjono, ST, MT
NIP. 1970 0212 1995 12 1001**

**Astria Nur Irfansyah, ST., M.Eng.
NIP. 1981 0325 2010 12 1002**

**SURABAYA,
JANUARI 2012**



ABSTRAK

ABSTRAK

Elektrolaring merupakan alat elektromekanik untuk membantu tuna laring berkomunikasi. Alat ini terdiri dari tiga blok rangkaian, yaitu blok pembangkit sinyal kotak, blok inverter, dan blok rangkaian driver *H-bridge*. Blok pembangkit sinyal kotak untuk mengatur frekuensi dari getaran yang akan dihasilkan oleh alat berdasarkan perubahan nilai tahanan. Blok inverter adalah blok untuk menghasilkan sinyal yang berkebalikan dari sinyal kotak yang dibangkitkan oleh blok pertama yang nantinya sinyal kotak dan kebalikan sinyal tersebut akan digunakan sebagai inputan pada blok ke tiga. Blok ketiga adalah blok rangkaian driver *H-bridge* yang memiliki dua inputan yaitu output dari rangkaian pembangkit sinyal kotak dan outputan dari rangkaian inverter yang akan membuat blok ini mengalirkan arus yang bergantian arahnya pada output rangkaian tersebut jika diberi beban.

Beban yang digunakan adalah beban induktor yang berupa solenoid yang menyatu dengan pemukul/*plunger*. Pemukul/*plunger* adalah bagian yang akan memukul *top head* untuk menghasilkan getaran. Inti dari solenoid ini adalah magnet permanen *neodymium* yang pemasangannya terpisah dari solenoid tersebut. Kedudukan magnet permanen dibuat tetap, sedangkan pemukul/*plunger* dibuat dapat bergerak naik turun secara bebas, agar saat output rangkaian *H-bridge* memberikan arah arus yang berubah-ubah pada solenoid, pemukul/*plunger* dapat bergerak naik turun karena adanya gaya tarik dan gaya dorong yang timbul antara magnet *neodymium* dan solenoid.

Dari hasil pengukuran, elektrolaring dapat menghasilkan sinyal kotak untuk menggetarkan pemukul/*plunger* dengan frekuensi penghasil getaran antara 79,37Hz hingga 196,5Hz. Untuk hasil pengujian yang dilakukan menggunakan elektrolaring yang dibuat, suara yang dihasilkan sudah dapat dimengerti maksudnya meskipun masih terdengar kurang jelas.

Kata Kunci : tuna laring, elektrolaring, magnet *neodymium*, solenoid.



ABSTRACT

ABSTRACT

Electrolarynx is an electromechanic device which help a laryngectomee communicate with other people. This device consist of three circuit block, they are square wave generator block, inverter block, and H-bridge driver block circuit. The function of square wave generator block is to adjust the frequency of vibration that generate by the device which based on resistance value changing. The function of inveter block is to generate the signal that oppsite from the output signal of first block. The function of H-bridge driver bolck circuit is to conduct the current from different direction alternately to the load.

This device uses a solenoid which is integrated with plunger. Plunger is a part that hit top head of device to generate the vibration. The core of the solenoide is a neodymium permanent magnet. It has separate installation from the solenoid. The position of permanent magnet is fixed in the top area of the tube, so that plunger can move up and down freely. The H-bridge circuit controls the solenoid, so that plunger can move up and down.

From the measurment result, electrolarynx can generate square wave to vobrate the plunger with frequency of vibratrion between 79,3Hz until 196,5Hz. For the testing result of electrolarynx, the resulting sound is understandable although it is still need to be amplified.

Keywords: laryngectomee, electrolarynx, neodymium magnet, solenoid.



KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil 'alamin. puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, atas berkat dan rahmat-Nya yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul :

PERANCANGAN PROTOTIPE ELEKTROLARING MENGUNAKAN *H-BRIDGE* SEBAGAI PENGGERAK *PLUNGER*

Tugas akhir yang mempunyai beban SKS 4 (Satuan Kredit Semester) ini merupakan salah satu persyaratan akademis yang harus ditempuh untuk menyelesaikan program studi *Strata-I* di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas akhir ini menuntut mahasiswa melakukan penelitian atau studi literatur terhadap suatu permasalahan, mensimulasikannya, merancang bangun, dan menganalisanya sesuai dengan teori yang didapat selama proses perkuliahan.

Penulis menyampaikan rasa syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan segala kemudahan disetiap jalan yang telah saya tempuh. Penulis juga tidak lupa menyampaikan terima kasih sebesar besarnya kepada beberapa pihak yang telah memberikan dukungan terhadap penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

Kedua orang tua yang telah senantiasa memberikan doa kepada anaknya, sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir.

Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, ST., M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah membantu dan membimbing hingga terselesaikannya tugas akhir ini.

Bapak Astria Nur Irfansyah, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing II yang telah membantu dan membimbing hingga terselesaikannya tugas akhir ini.

Semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan tugas akhir ini.

Semoga Allah SWT membalas segala budi baik yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Surabaya, Januari 2012

Penulis





DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Metodologi.....	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
1.6 Relevansi.....	3
BAB II	5
TEORI PENUNJANG	5
2.1 Laring.....	5
2.2 Cara Kerja Laring	7
2.3 Magnet	10
2.3.1 Jenis Magnet	11
2.3.2 Cara Membuat Magnet	12
2.3.3 Menghilangkan Sifat Kemagnetan.....	12
2.4 IC NE555.....	12
2.5 Solenoid	16

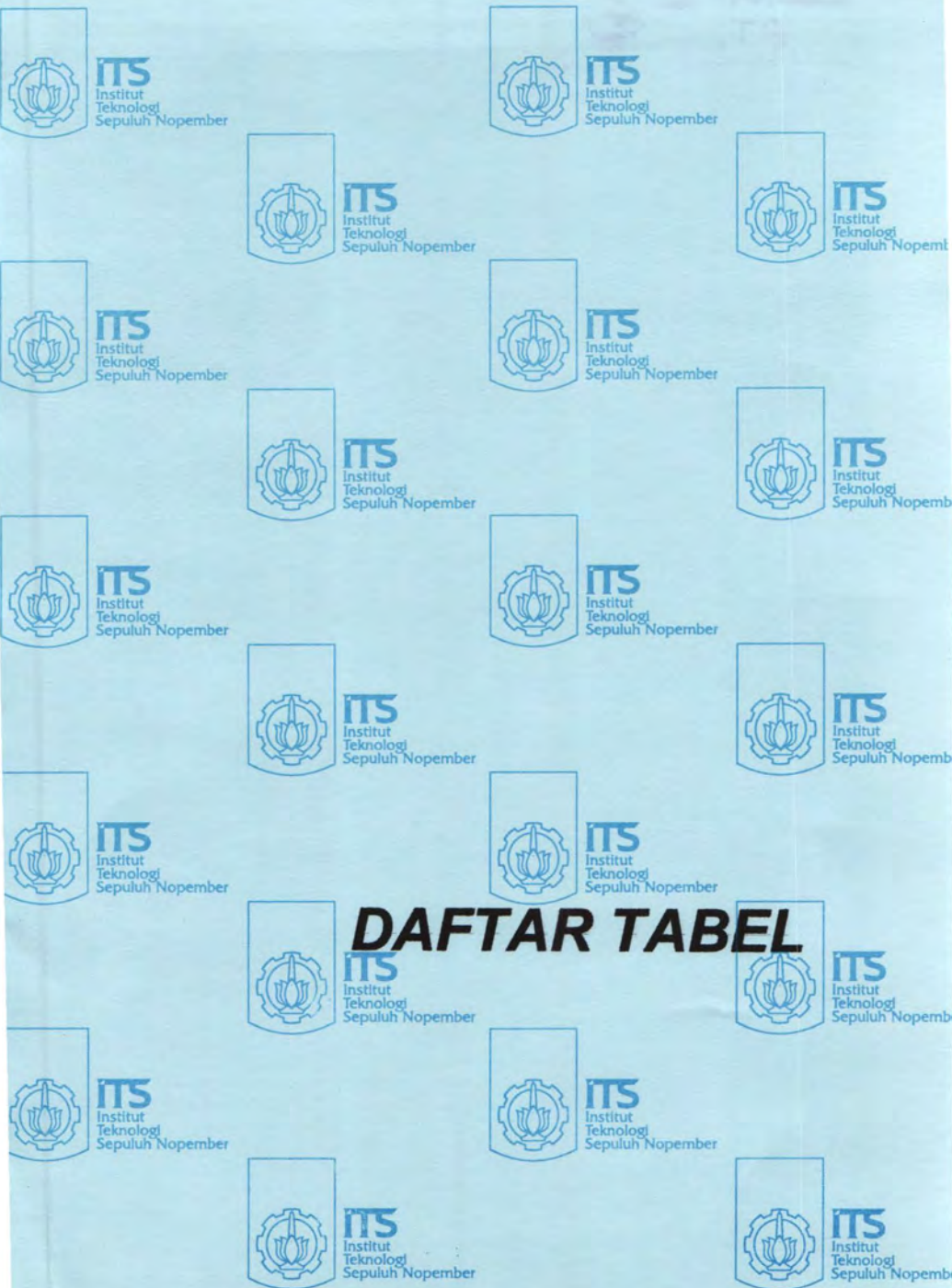
2.6	Transistor MOSFET	19
2.6.1	MOSFET Depletion Mode.....	20
2.6.2	Pabrikasi MOSFET Depletion Mode.....	21
2.6.3	Kurva Drain MOSFET Depletion Mode.....	21
2.6.4	MOSFET Enhancement Mode.....	22
2.6.5	Pabrikasi MOSFET Enhancement Mode.....	23
2.6.6	Kurva Drain MOSFET Enhancement Mode.....	24
2.6.7	Simbol Transistor MOSFET.....	25
2.7	Teori H-bridge MOSFET.....	25
BAB III.....		29
PERANCANGAN ALAT		29
3.1	Perancangan Mekanik.....	29
3.2.	Perancangan Elektronik	38
3.2.1	Perancangan Squar wave Generator.....	38
3.2.2	Perancangan Rangkaian Driver.....	41
3.2.3	Perancangan Solenoid.....	43
BAB IV.....		45
HASIL PERCOBAAN DAN ANALISA		45
4.1	Percobaan.....	45
4.1.1	Percobaan 1.....	45
4.1.2	Percobaan 2.....	45
4.1.3	Percobaan 3.....	46
4.1.4	Percobaan 4.....	46
4.1.5	Percobaan 5.....	47
4.1.6	Percobaan 6.....	47
4.1.7	Percobaan 7.....	48
4.1.8	Percobaan 8.....	48
4.1.9	Percobaan 9.....	49
4.1.10	Percobaan 10.....	49
4.1.11	Percobaan 11.....	50
4.1.12	Percobaan 12.....	50
4.2	Analisa	56



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tulang-tulang rawan pada laring.	5
Gambar 2.2 Menggambarkan bagian melalui pusat kepala dan leher.	7
Gambar 2.3 Ilustrasi bagaimana dokter memperlihatkan laring.	8
Gambar 2.4 Ilustrasi dua gambar dari pita suara.	9
Gambar 2.5 Pola medan magnet pada pasir besi yang ditaburkan di atas kertas.	11
Gambar 2.6 Block Diagram IC NE555.	13
Gambar 2.7 Astable.	15
Gambar 2.8 Pengukuran Sinyal.	16
Gambar 2.9 Solenoid.	17
Gambar 2.10 struktur MOSFET depletion-mode.	20
Gambar 2.11 Penampang D-MOSFET (depletion-mode).	21
Gambar 2.12 Kurva drain transistor MOSFET depletion-mode.	21
Gambar 2.13 Struktur MOSFET enhancement-mode.	22
Gambar 2.14 Penampang E-MOSFET (enhancement-mode).	23
Gambar 2.15 Kurva drain E-MOSFET.	24
Gambar 2.16 Simbol MOSFET, (a) kanal-n (b) kanal-p.	25
Gambar 2.17 Konfigurasi <i>H-bridge</i> MOSFET.	25
Gambar 2.18 <i>H-bridge</i> konfigurasi MOSFET A&D on, B&C off.	26
Gambar 2.19 <i>H-bridge</i> konfigurasi MOSFET A&D off, B&C on.	27
Gambar 3.1 Penampang dari samping membran kaku.	30
Gambar 3.2 Penampang dari bawah membran kaku.	30
Gambar 3.3 Penampang dari samping bagian tutup.	31
Gambar 3.4 Penampang dari atas bagian tutup.	31
Gambar 3.5 Penampang bawah dari bagian tutup.	32
Gambar 3.6 Penampang dari samping pemukul/ <i>plunger</i>	32
Gambar 3.7 Penampang dari bawah pemukul/ <i>plunger</i>	33
Gambar 3.8 Penampang atas dari pemukul/ <i>plunger</i>	33
Gambar 3.9 Penampang atas dari tabung.	34
Gambar 3.10 Penampang samping dari tabung.	34
Gambar 3.11 Penampang atas dari tutup bawah.	35
Gambar 3.12 Penampang samping dari tutup bawah.	35
Gambar 3.13 Perancangan rangkaian elektronik.	38
Gambar 3.14 Rangkaian pembangkit gelombang kotak (astable multivibrator).	39
Gambar 3.15 Switching Transistor.	42
Gambar 3.16 Rangkaian <i>H-bridge</i>	43

Gambar 4.1 Sinyal kotak dengan frekuensi 81.3 Hz pada output IC555	45
Gambar 4.2 Sinyal kotak dengan frekuensi 86.34 Hz pada Q_1	45
Gambar 4.3 Sinyal kotak dengan frekuensi 81.3 Hz pada	46
Gambar 4.4 Sinyal kotak dengan frekuensi 193.4 Hz pada	46
Gambar 4.5 Sinyal kotak dengan frekuensi 201.4 Hz pada output Q_1	47
Gambar 4.6 Sinyal kotak dengan frekuensi 199.2 Hz pada	47
Gambar 4.7 Sinyal kotak dengan frekuensi 195.7 Hz pada	48
Gambar 4.8 Sinyal kotak dengan frekuensi 196.9 Hz pada output Q_1	48
Gambar 4.9 Sinyal kotak dengan frekuensi 196.5 Hz pada	49
Gambar 4.10 Sinyal kotak dengan frekuensi 80.13 Hz pada	49
Gambar 4.11 Sinyal kotak dengan frekuensi 79.62 Hz pada output Q_1	50
Gambar 4.12 Sinyal kotak dengan frekuensi 79.37 Hz pada	50
Gambar 4.13 Sinyal suara dengan frekuensi output	51
Gambar 4.14 Spektrum sinyal suara dengan frekuensi output	51
Gambar 4.15 Sinyal suara dengan frekuensi output	52
Gambar 4.16 Spektrum sinyal suara dengan frekuensi output	52
Gambar 4.17 Sinyal suara orang-1 yang mengucapkan kata "saya"	53
Gambar 4.18 Spektrum sinyal suara orang-1 yang mengucapkan kata "saya"	53
Gambar 4.19 Sinyal suara orang-2 yang mengucapkan kata "saya"	54
Gambar 4.20 Spektrum sinyal suara orang-2 yang mengucapkan kata "saya"	54
Gambar 4.21 Sinyal suara getaran yang dihasilkan oleh elektrolaring sebelumnya	55
Gambar 4.22 Spektrum dari sinyal suara getaran dari elektrolaring sebelumnya	55
Gambar 4.23 Sinyal suara yang mengucapkan kata "saya" menggunakan elektrolaring sebelumnya	56
Gambar 4.24 Spektrum sinyal suara yang mengucapkan kata "saya" menggunakan elektrolaring sebelumnya	56



DAFTAR TABEL



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rumus induktansi	17
Tabel 3.1 Komponen mekanik penyusun elektrolaring	36



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

BAB I **PENDAHULUAN**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pasien penderita kanker laring stadium lanjut harus menjalani pengobatan untuk mencegah menyebarnya kanker ganas ini ke organ-organ yang berdekatan. Cara pengobatan yang dilakukan adalah dengan pengangkatan laring melalui operasi. Pengangkatan laring ini akan menyebabkan si penderita akan kehilangan suaranya untuk selamanya. Tetapi, ada beberapa cara yang dapat dilakukan agar penderita dapat berbicara kembali walaupun tidak seperti ketika memiliki laring. Di antaranya adalah *esophageal speech*, *tracheoesophageal*, dan *electrolarynx speech*.

Untuk *esophageal speech* yang merupakan bicara dengan menggunakan suara perut, membutuhkan waktu yang lama bagi pasien agar dapat berbicara kembali, karena berbicara dengan cara ini membutuhkan latihan agar bisa mengeluarkan suara dan berbicara sehingga dimengerti oleh orang lain. *Tracheoesophageal* adalah salah satu cara rehabilitasi bagi *laryngectomy* dengan menanamkan pita suara pengganti di antara saluran pernapasan dan saluran makan.

Cara yang lainnya adalah menggunakan elektrolaring, yang merupakan sebuah alat yang menggantikan fungsi pita suara, tetapi alat ini tidak ditanam di dalam tubuh. Alat ini bekerja di luar tubuh dan berbentuk seperti tabung dan bekerja dengan cara meletakkannya pada dagu bagian bawah dan alat akan bergetar seperti pita suara. Dengan alat ini pasien dapat langsung berkomunikasi dengan orang-orang disekitarnya pasca operasi, kendala yang ada pada saat ini adalah harga alat ini sangat mahal, sedangkan sebagian besar pasien berasal dari kelas ekonomi menengah ke bawah. Untuk itu alat yang sama dengan harga yang lebih murah sedang dicoba untuk dikembangkan agar dapat membantu pasien tersebut. Sebelumnya alat serupa telah dibuat^[1] dengan biaya produksi yang sangat terjangkau, hanya saja pada sistem penggetar alat belum optimal, sehingga pada saat pemakaian kita terlebih dahulu harus memutar tutup dari alat agar actuator dapat bergetar dengan baik. Selain itu ada beberapa penggunaan komponen yang mubazir dan bisa diganti dengan komponen yang harganya lebih murah dengan rangkaian yang lebih simpel. Untuk itu Tugas Akhir dengan Judul **"PERANCANGAN PROTOTIPE**

ELEKTROLARING MENGGUNAKAN *H-BRIDGE* SEBAGAI PENGGERAK PLUNGER” diajukan juga sebagai salah satu syarat pengambilan gelar sarjana.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Memodifikasi aktuator agar dapat bergetar dengan kecepatan yang sama pada saat menarik dan mendorong bagian pemukul/*plunger* top head ketika sedang bergetar.
2. Memodifikasi rangkaian penghasil gelombang kotak agar dapat menghasilkan gelombang kotak dalam dua siklus, positif dan negatif.
3. Merancang bagian tutup alat agar dapat meredam getaran yang dihasilkan sehingga suara pasien saat berbicara dapat terdengar dengan jelas, tetapi tidak mengurangi kerasnya suara yang dihasilkan.
4. Merancang rangkaian power supply agar dapat menghasilkan tegangan keluaran positif dan negatif.

1.3 Tujuan

Tujuan dari pembuatan alat ini adalah:

1. Menghasilkan elektrolaring dengan harga yang semurah mungkin.
2. Menghasilkan system penggetar yang bergetar dengan optimal (kecepatan saat menarik dan mendorong pada aktuator sama).
3. Menghasilkan elektrolaring dengan noise yang kecil.

1.4 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literature
Pada studi literature ini akan dipelajari lebih lanjut hal-hal sebagai berikut:
 - a. Laring.
 - b. Magnet.
 - c. *H-bridge*.
 - d. Pembangkit gelombang kotak.
 - e. Perancangan dan pembuatan mekanik elektrolaring.

- f. Pencarian data yang dibutuhkan dalam uji coba alat dan proses kalibrasi.
2. Perancangan alat
 - a. Pengadaan bahan dan peralatan.
 - b. Pengujian kondisi komponen.
 - c. Perakitan perangkat elektronika.
 - d. Pembuatan mekanik dan *casing*.
 - e. Pengujian secara manual dan otomatis.
3. Pengambilan data
Setelah alat diuji secara manual dan otomatis selanjutnya alat akan diukur dan diambil datanya untuk mengetahui apakah alat sudah bekerja sesuai dengan yang diharapkan.
4. Penulisan buku tugas akhir
Penulisan laporan dilakukan sebagai penggambaran kesimpulan dari tugas akhir ini. Kesimpulan tersebut merupakan jawaban dari permasalahan yang dianalisis. Selain itu juga akan diberikan saran sebagai masukan berkaitan dengan apa yang telah dilakukan.

1.5 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:

- | | |
|---------|---|
| BAB I | Pendahuluan membahas latar belakang, tujuan, perumusan masalah, metode, sistematika pembahasan, dan relevansi. |
| BAB II | Teori penunjang dan literatur yang berguna bagi tugas akhir ini. |
| BAB III | Perencanaan alat. |
| BAB IV | Hasil percobaan alat dibahas pada bab ini. |
| BAB V | Penutup berisi kesimpulan yang diperoleh dari pembuatan tugas akhir ini, serta saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut. |

1.6 Relevansi

Hasil dari tugas akhir ini diharapkan dapat membantu pasien *laringectomee* agar dapat berkomunikasi dengan orang lain dan dapat membantu kelanjutan dari penelitian-penelitian yang serupa.



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

BAB II **TEORI PENUNJANG**

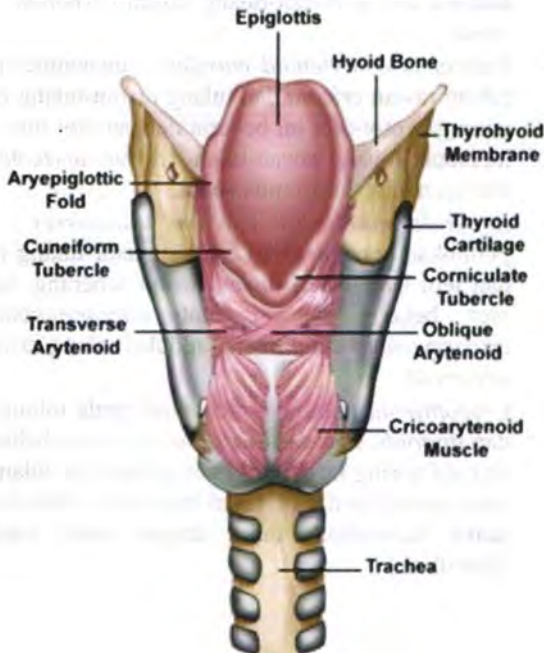
BAB II

TEORI PENUNJANG

Pada BAB II akan dibahas mengenai teori-teori dasar penunjang yang akan dijadikan sebagai referensi dalam menyusun tugas akhir, yang meliputi teori mengenai laring, magnet, solenoid, suara manusia, pembangkit gelombang kotak, dan rangkaian *H-bridge*.

2.1 Laring

Laring adalah bagian khusus dari tubuh yang berfungsi sebagai sebuah saluran udara ke paru-paru dan juga memungkinkan kita untuk melakukan komunikasi (vokalisasi) dengan keberadaannya. Fugsi-fungsi ini bisa terjadi karena adanya susunan tulang-tulang dan otot-otot yang bekerja padanya. Laring terletak melintang tepat di bawah pharing dan di atas trakea.^[2]

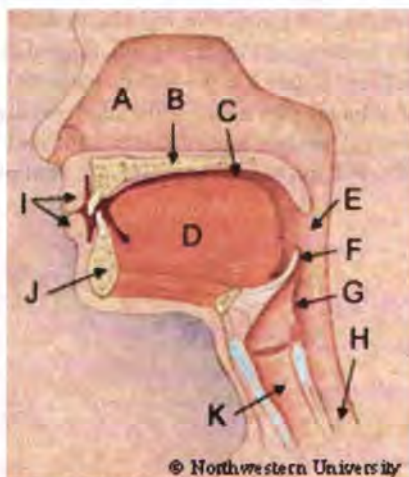


Gambar 2.1 Tulang-tulang rawan pada laring.^[2]

Enam set otot dari laring yang dinamai menurut tulang rawan-tulang rawan tempatnya menempel dan fungsi-fungsinya:

- *Thyroarytenoid muscle* – menempel pada dua tulang rawan dan bagian dalam dari tulang rawan *thyroid*, kontraksi otot thyroarytenoid menarik tulang rawan *arytenoid* menuju tulang rawan *thyroid*, menyebabkan penyusutan pita suara.
- *Posterior cricoarytenoid muscle* – menempel pada bagian belakang tulang rawan *cricoids* dan menuju tulang rawan *arytenoid*, pasangan otot-otot ini adalah otot *abductor* utama dari tulang rawan *arytenoid*. Otot-otot ini bertanggung jawab untuk pergerakan gerak goyang dari tulang rawan-tulang rawan *arytenoid* yang menyebabkan abduksi dari pita suara.
- *Interarytenoid muscle* – terletak di kanan dan di kiri tulang rawan *arytenoid*, tulang rawan ini bertanggung jawab untuk adduksi tulang rawan-tulang rawan *arytenoid*, dan hingga pita suara.
- *Lateral cricoarytenoid muscles* – menempel pada sisi lateral tulang rawan *cricoid* dan tulang rawan-tulang rawan *arytenoid*, pasangan otot-otot ini bekerja dengan otot *interarytenoid* untuk memutar tulang rawan-tulang rawan *arytenoid* ke dalam dan hingga mengadduksi pita suara.
- *Aryteroid muscles (oblique and transverse)* – menempel pada permukaan bagian belakang dari satu tulang rawan *arytenoid* dan tepi lateral dari tulang rawan seberang, serangkaian otot-otot bekerja dengan otot *interarytenoid* dan *lateral cricoarytenoid* untuk meng-adduksi tulang rawan-tulang rawan *arytenoid*.
- *Cricothyroid muscle* – menempel pada tulang rawan *cricoids* dan *thyroids*, kontraksi dari otot ini menyebabkan tulang rawan *thyroid* miring ke depan. Pada gilirannya, tulang rawan *thyroid* yang miring ke depan semakin panjang serta meng-abduksi pita suara. Kemudian, suara dengan nada yang lebih tinggi dihasilkan.

2.2 Cara Kerja Laring



Gambar 2.2 Menggambarkan bagian melalui pusat kepala dan leher.^[3]

Rongga hidung(A), rongga mulut(C), lidah(D), langit-langit (B), rahang(J) and bibir(I). Posterior ke rongga mulut dan hidung terletak faring(E). Di leher, di dalam laring(K) ditunjukkan anterior ke pharynx dan esophagus(H). Posisi epiglottis(F) memperluas ke dalam dari atas masuk ke dalam laring dari (G).

Laring terletak dibawah trakea, yang menuju ke paru-paru di dada dan membawa udara saat bernafas. Tepat di belakang laring terletak faring yang berbentuk seperti tabung yang meleber pada batas atas dari esophagus, yang terletak di bawah laring, sepanjang rongga mulut dan hidung. Batas atas laring membuka ke faring. Dengan demikian, udara yang kita hirup berjalan melalui batas atas dari faring menuju ke laring. Salah satu kenyataan yang disayangkan dari evolusi manusia adalah fakta bahwa makanan yang kita makan dan udara yang kita hirup berbagi bagian dari faring, dan jika seseorang mencoba berbicara ketika menelan makanan, makanan dapat masuk ke laring dan menyebabkan orang tersebut tersedak. Tersedak sebenarnya memiliki fungsi yang penting, menjaga makanan tetap di luar atau membunuh makanan dari laring dan trakea untuk melindungi paru-paru. Perlindungan lain dari laring adalah sebuah tuang rawan yang agak kaku yang dikenal sebagai

epiglotis. Epiglotis menutup sekeliling jalan masuk ke laring selama menelan untuk membantu agar makanan tidak masuk ke laring.^[3]

Di dalam bagian bawah laring adalah bulat dan berbentuk seperti silinder. Ketika udara naik ke laring, udara tersebut akan menemukan dua pita yang melintang dari kiri ke kanan pada sisi laring. Kedua pita ini yang disebut sebagai pita suara. Pita suara sering disebut sebagai 'pita suara sebenarnya' karena tepat di atas ventrikel ada sepearangkat pita kedua yang disebut 'pita suara yang palsu', atau pita ventricle.^[3]



Gambar 2.3 Ilustrasi bagaimana dokter memperlihatkan laring.^[3]

Ini disebut 'palsu' karena dokter-dokter dahulu melihat ke dalam tenggorokan pasien dengan bantuan cermin bengkok, selalu salah mengira pita yang palsu sebagai pita yang sebenarnya. Bagaimanapun, fungsi pita suara palsu tidak terlalu penting untuk perlindungan aliran udara atau vokalisasi seperti pada pita suara sebenarnya.



Gambar 2.4 Ilustrasi dua gambar dari pita suara.^[3]

Pita suara yang sebenarnya terletak di dalam tulang rawan tiroid. Secara posterior, pita suara terletak pada satu set tulang rawan yang dikenal sebagai tulang arytenoid. Ada beberapa set dari otot yang melekat pada tulang rawan arytenoid, dan dengan kontraksinya, bisa menggerakkan arytenoid bersama bagian posterior dari pita suara. Karena hubungan anatomi, ruang di tengah laring di antara kedua pita suara menjadi bentuk segitiga, dengan bagian sempit dari 'V' mengarah ke depan. Ketika otot-otot posterior crycoat tiroid berkontraksi, tulang rawan arytenoid dan pita suara ditarik secara lateral untuk membuka glottis. Setiap kita menghirup nafas, kita membuka glottis dengan cara ini.

Sebagian besar dari otot-otot yang lain juga menarik ariteroid untuk menutup glottis atau menencangkan pita suara. Otot-otot krikotinoid lateral dan interenoid menarik proses-proses otot dari arytenoid dan pita suara ke tengah glottis, kemudian menutupnya. Sebuah otot yang sama, tiroaritenoid, membantu dalam penutupan glottis dan sebagai tambahan membuat pita suara menjadi sangat kencang. Ketika ketiga otot-otot ini berkontraksi, glottis tertutup dengan rapat. Ini merupakan susunan yang penting untuk menelan, menahan nafas, atau menghasilkan tekanan perut yang tinggi yang terkait dengan proses buang air besar, muntah, dan pernafasan anak. Otot terakhir adalah krikotiroid yang terletak di depan laring dan menyebabkan pergerakan berputar antara otot tiroid dan krikoid. Karena otot arytenoid terletak di belakang tulang rawan krikoid, dan pita suara terletak di tulang rawan tiroid dan ariteroid, pergerakan berputar ini menyebabkan peregangan longitudinal dari pita suara. Peregangan ini adalah cara utama kita mengubah nada suara. Kinerja dari otot-otot dan tulang rawan yang disebutkan di atas sama dengan yang kita gunakan ketika kita bersuara untuk berbicara atau menyanyi. Agar bersuara, tepi dari pita suara yang bertemu dengan pertengahan dari glottis di bawah maju ke tengah, tetapi mereka tidak di tekan dengan kuat secara bersamaan sebagaimana mereka ketika kita tersedak, menelan, atau menahan nafas kita. Sebaliknya, tepian dari pita diposisikan sehingga mereka bersentuhan satu sama lain atau menutup satu sama lain. Proses bersuara kemudian dihasilkan dari meniupkan udara ke atas dari paru-paru melewati pinggir dari pita suara. Aliran udara mengawali siklus yang berulang-ulang dari gerakan-gerakan bergetar pita suara. Tekanan udara yang tinggi dari

bawah meniup pita suara menjauh, dan kemudian secara elastis pita suara menyebabkan mereka kembali ke tengah. Setiap waktu pita di tiup menjauh, sebuah tiupan kecil dari hembusan udara yang melalui ruang antara pita-pita dan 'menguatkan' udara dalam bagian teratas dari laring dan faring. Penguatan adalah istilah yang digunakan untuk menggantikan pembangkitan suara oleh kualitas ledakan dari tiupan udara. Rangkaian getaran yang terjadi ini berulang-ulang rata-rata kira-kira 110 kali per detik untuk seorang laki-laki dewasa dan kira-kira 220 kali untuk wanita dewasa. Rangkaian dari tiupan-tiupan udara ini terjadi pada kualitas tonal keika diulang pada frekuensi tinggi, dan itu mengapa suara kita seperti sebuah nada bukan seperti serangkaian ledakan kecil. Ketika menyanyi, dan meningkatkan pitch dari suara kita untuk alasan lain, kita mengerutkan otot krikotiroid untuk meregangkan pita suara, dan pita menjadi kaku, semakin tinggi frekuensi mereka bergetar.^[3]

2.3 Magnet

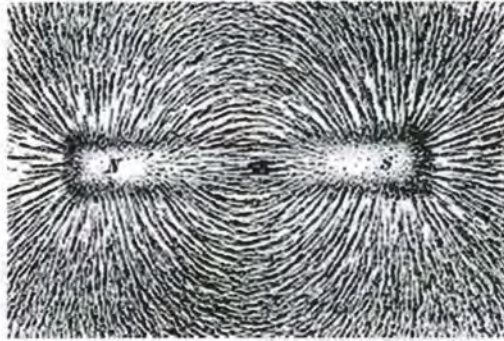
Magnet atau magnit adalah suatu obyek yang mempunyai suatu medan magnet. Kata magnet (magnit) berasal dari bahasa Yunani *magnítis lithos* yang berarti batu Magnesian. Magnesia adalah nama sebuah wilayah di Yunani pada masa lalu yang kini bernama Manisa (sekarang berada di wilayah Turki) di mana terkandung batu magnet yang ditemukan sejak zaman dulu di wilayah tersebut.

Pada saat ini, suatu magnet adalah suatu materi yang mempunyai suatu medan magnet. Materi tersebut bisa dalam berwujud magnet tetap atau magnet tidak tetap. Magnet yang sekarang ini ada hampir semuanya adalah magnet buatan.

Magnet selalu memiliki dua kutub yaitu: kutub utara (north/ N) dan kutub selatan (south/ S). Walaupun magnet itu dipotong-potong, potongan magnet kecil tersebut akan tetap memiliki dua kutub.

Magnet dapat menarik benda lain. Beberapa benda bahkan tertarik lebih kuat dari yang lain, yaitu bahan logam. Namun tidak semua logam mempunyai daya tarik yang sama terhadap magnet. Besi dan baja adalah dua contoh materi yang mempunyai daya tarik yang tinggi oleh magnet. Sedangkan oksigen cair adalah contoh materi yang mempunyai daya tarik yang rendah oleh magnet.

Satuan intensitas magnet menurut sistem metrik pada Satuan Internasional (SI) adalah Tesla dan SI unit untuk total fluks magnetik adalah weber. $1 \text{ weber/m}^2 = 1 \text{ tesla}$, yang memengaruhi satu meter persegi.



Gambar 2.5 Pola medan magnet pada pasir besi yang ditaburkan di atas kertas.^[5]

2.3.1 Jenis Magnet

Magnet tetap

Magnet tetap tidak memerlukan tenaga atau bantuan dari luar untuk menghasilkan daya magnet (berelektromagnetik).

Jenis magnet tetap selama ini yang diketahui terdapat pada:

- Magnet *neodymium*, merupakan magnet tetap yang paling kuat. Magnet *neodymium* (juga dikenal sebagai NdFeB, NIB, atau magnet Neo), merupakan sejenis magnet tanah jarang, terbuat dari campuran logam *neodymium*,
- Magnet Samarium-Cobalt: salah satu dari dua jenis magnet bumi yang langka, merupakan magnet permanen yang kuat yang terbuat dari paduan samarium dan kobalt.
- Ceramic Magnets
- Plastic Magnets
- Alnico Magnets

Magnet Tidak Tetap

Magnet tidak tetap (remanen) tergantung pada medan listrik untuk menghasilkan medan magnet. Contoh magnet tidak tetap adalah elektromagnet.

Magnet Buatan

Magnet buatan meliputi hampir seluruh magnet yang ada sekarang ini.

Bentuk magnet buatan antara lain:

- Magnet U
- Magnet ladam

- Magnet batang
- Magnet lingkaran
- Magnet jarum (kompas)

2.3.2 Cara Membuat Magnet

Cara membuat magnet antara lain:

- Digosok dengan magnet lain secara searah.
- Induksi magnet.
- Magnet diletakkan pada solenoida(kumparan kawat berbentuk tabung panjang dengan lilitan yang sangat rapat) dan dialiri arus listrik searah (DC).

Bahan yang biasa dijadikan magnet adalah]. Besi lebih mudah untuk dijadikan magnet daripada baja. Tapi sifat kemagnetan besi lebih mudah hilang daripada baja. Oleh sebab itu, besi lebih sering digunakan untuk membuat elektromagnet.

2.3.3 Menghilangkan Sifat Kemagnetan

Cara menghilangkan sifat kemagnetan antara lain:

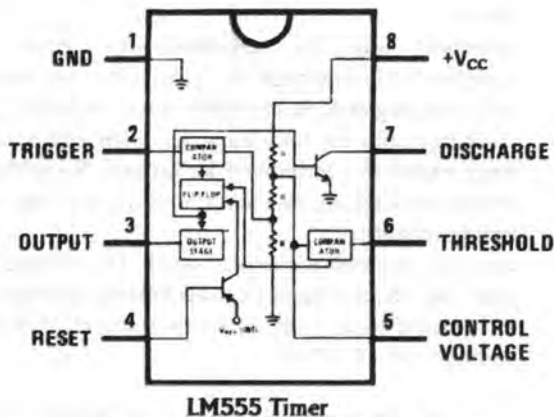
- Dibakar.
- Dibanting-banting.
- Dipukul-pukul.
- Magnet diletakkan pada solenoida(kumparan kawat berbentuk tabung panjang dengan lilitan yang sangat rapat) dan dialiri arus listrik bolak-balik (AC).

2.4 IC NE555

IC timer 555 atau sering disebut dengan IC 555 adalah salah satu IC yang sangat populer. Populer disini karena banyak sekali kegunaan dari IC ini, dan banyak orang tertarik menggunakannya dengan berbagai fungsi yang ada didalamnya. Bagi penggemar elektronika pastinya sudah banyak tau dan tidak asing lagi dengan IC yang satu ini. IC ini pertama kali diperkenalkan oleh *signetics corporation* sebagai SE555/NE555 dan disebut "*The IC Time Machine*" yang merupakan mesin timer pertama dan dikomersialkan. Sampai saat ini, sudah berpuluh-puluh tahun, IC ini masih tetap populer walaupun sudah banyak variasinya. Ada yang membuat versi CMOS nya, contohnya dari Motorola MC1455 yang cukup populer juga karena sering digunakan. Seperti yang kita ketahui bahwa rangkaian dengan transistor

berteknologi CMOS sangat sedikit dalam hal konsumsi daya, dengan kata lain tidak boros energy, selain itu CMOS juga lebih cepat dalam hal switching dari high ke low dan juga sebaliknya(responsenya cepat, secara logika rangkaian tidak ada time constant). Selain NE555, saat ini banyak dipasaran adalah dari National yaitu LM555. Adapun 556 yang merupakan versi dual dari 555. Kalau pada 555 terdapat 8-pin dalam packagenya, 556 tampil dengan 14-pin. Akan tetapi IC556 ini tidak mudah untuk didapatkan. Toko komponen elektronik berskala kecil biasanya tidak menyimpan stok IC yang satu ini.

Fungsi dari IC555 bisa bermacam-macam, karena dapat menghasilkan sinyal pendetak/sinyal kotak. Tergantung kreativitas saja untuk merangkainya, beberapa diantaranya adalah sebagai clock untuk jam digital, hiasan menggunakan lampu LED, menyalakan 7-segment dengan rangkaian astable, metronome dalam industry music, timer counter, atau dengan lebih dalam mengutak-atik lagi dapat memberikan PWM (*pulse width modulation*) yang mengatur frekuensi sinyal logika high untuk mengatur *duty cycle* yang diinginkan.



Gambar 2.6 Block Diagram IC NE555

Definisi dan fungsi masing-masing pin :

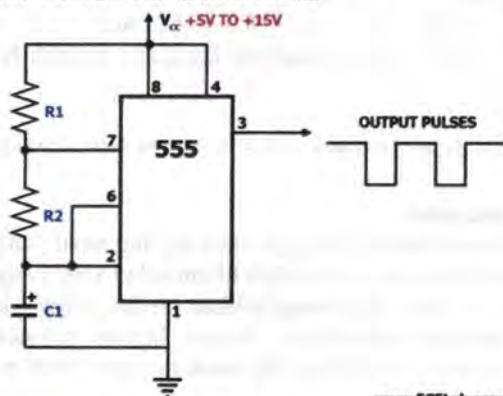
1. ground, adalah pin input dari sumber tegangan DC paling negative

2. trigger, input negative dari lower komparator (komparator B) yang menjaga osilasi tegangan terendah kapasitor di $1/3 V_{cc}$ dan mengatur RS flip-flop
3. output, pin ini disambungkan ke beban yang akan diberi pulsa dari keluaran IC ini. IC555 bisa mengeluarkan arus 100mA pada outputnya bahkan 200mA pada LM555
4. reset, adalah pin yang berfungsi untuk me reset latch didalam IC yang akan berpengaruh untuk me-reset kerja IC. Pin ini tersambung ke suatu gate transistor bertipe PNP, jadi transistor akan aktif jika diberi logika low. Biasanya pin ini langsung dihubungkan ke V_{cc} agar tidak terjadi reset latch, yang akan langsung berpengaruh mengulang kerja IC555 dari keadaan low state
5. control voltage, pin ini berfungsi untuk mengatur kestabilan tegangan referensi input negative upper comparator (komparator A). pin ini bisa dibiarkan digantung, tetapi untuk menjamin kestabilan referensi komparator A, biasanya dihubungkan dengan kapasitor berorde sekitar 10nF ke pin ground
6. threshold, pin ini terhubung ke input positif *upper comparator* (komparator A) yang akan me-reset RS flip-flop ketika tegangan pada kapasitor mulai melebihi $2/3 V_{cc}$
7. discharge, pin ini terhubung ke *open collector* transistor Q1 yang emittersnya terhubung ke ground. Switching transistor ini berfungsi untuk meng-clamp node yang sesuai ke ground pada timing tertentu
8. vcc, pin ini untuk menerima supply DC voltage (most positive) yang diberikan. Biasanya akan bekerja optimal jika diberi 5 – 15V(maksimum). supply arusnya dapat dilihat di datasheet, yaitu sekitar 10 -15mA.

Ada dua macam rangkaian dasar yang banyak digunakan untuk mengaplikasikan IC timer ini, yaitu rangkaian monostable dan rangkaian astable. Tapi untuk pembuatan elektrolaring ini kita hanya menggunakan rangkaian astable.

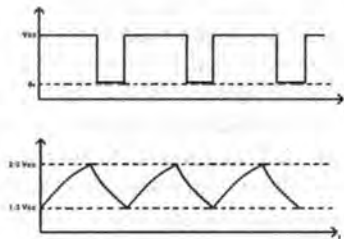
Rangkaian Astable agak berbeda dari rangkaian monostable. Rangkaian astable akan menghasilkan sinyal kotak yang terus berdetak dengan *duty cycle* tertentu selama catu tegangan tidak dilepaskan. Prinsip kerjanya, jika pada rangkaian monostable dipicu dengan

tegangan berlogika high ke low (kurang dari $\frac{1}{3} V_{cc}$) pada pin-2, rangkaian astable ini dibuat untuk memicu dirinya sendiri. Rangkaian ini memanfaatkan osilasi tegangan pada kapasitor disekitar $\frac{1}{3} V_{cc}$ sampai $\frac{2}{3} V_{cc}$. Komponen eksternal yang diperlukan adalah sebuah kapasitor (C_1) dan dua buah resistor (R_A dan R_B). Adapun untuk kestabilan tegangan referensi komparator-A, digunakan sebuah kapasitor lagi (C_2) pada pin-5 sebesar 10nF ke ground. Sedikit terkait dengan deskripsi pin yang telah dibahas diatas, saat transistor Q1 ON maka resistansi menuju ground pada emitternya sangat kecil, sehingga ground seakan-akan tersambung diantara kedua resistor. Namun ketika transistor Q1 off, resistansi antara collector dan emitternya sangat besar dan sulit dilewati arus, seakan terjadi *open circuit*. Pada akhirnya output yang terjadi berupa sinyal kotak akan mendetak secara kontinu dengan frekuensi tertentu seiring dengan berosilasinya tegangan pada kapasitor di $\frac{1}{3} V_{cc}$ sampai $\frac{2}{3} V_{cc}$. Osilasi yang dimaksud disini dapat dijelaskan yaitu, sesaat tegangan kapasitor melebihi $\frac{2}{3} V_{cc}$ komparator-A mengeluarkan output high yang akan me-reset RS flip-flop dan tegangan pada kapasitor akan turun(discharging) secara transient. Sesaat tegangan pada kapasitor C_1 berkurang dari $\frac{1}{3} V_{cc}$, output komparator-B akan berlogika high dan men-set RS flip-flop, selanjutnya tegangan kapasitor akan naik secara transient (charging) dan begitu seterusnya berosilasi menghasilkan pulsa. Jadi, saat berosilasi tegangan kapasitor tidak akan kurang dari $\frac{1}{3} V_{cc}$ dan melebihi $\frac{2}{3} V_{cc}$.



www.ECELab.com

Gambar 2.7 Astable



Gambar 2.8 Pengukuran Sinyal

Duty cycle yang merupakan persentase waktu sinyal output berlogika high dalam satu periode. Untuk memudahkan perhitungan, misalkan t_1 adalah lamanya pulsa berlogika high dalam satu periode, sedangkan t_2 adalah lamanya waktu berlogika low. Maka, secara matematis,

Persamaan umum orde-1 :

$$V' = V \cdot \exp(-t/RC)$$

t_1 adalah waktu saat charging kapasitor melalui R_A dan R_B dengan $V = 1/3 V_{cc}$ dan $V' = 2/3 V_{cc}$

$$t_1 = -(R_A + R_B)C \cdot \ln 2 \rightarrow |t_1| = (R_A + R_B)C \cdot \ln 2$$

t_2 adalah waktu saat discharging kapasitor melalui R_B dengan $V = 2/3 V_{cc}$ dan $V' = 1/3 V_{cc}$

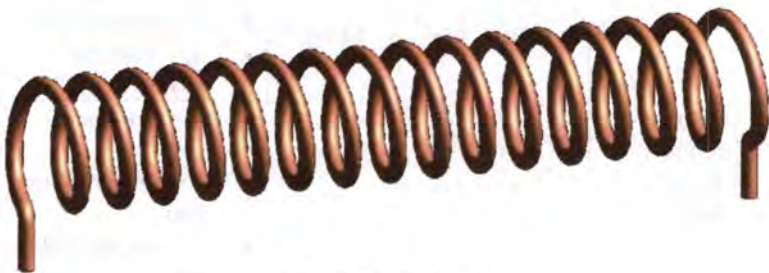
$$t_2 = R_B C \cdot (\ln 2)$$

duty cycle dapat dihitung : $(t_1/T) \times 100 \% = (t_1 / \{t_1 + t_2\}) \times 100 \%$

2.5 Solenoid

Solenoid adalah gulungan kawat yang rapat yang berbentuk spiral. Di dalam fisika solenoid adalah lilitan kabel yang panjang dan tipis yang meliputi inti besi dan menghasilkan medan magnet ketika sebuah arus listrik mengalir melaluinya. Secara khusus solenoid mengacu pada sebuah magnet yang dirancang untuk menghasilkan medan magnet yang beraturan.

Secara singkat medan magnet pada solenoid yang panjangnya tak hingga adalah sama dan kuatnya tidak tergantung pada jarak dari sumbu maupun daerah perpotongan solenoid.



Gambar 2.9 Solenoid

Kuat medan magnet untuk solenoid ideal adalah:

$B = \mu_0 i n$ di mana:

- B adalah kuat medan magnet,
- μ_0 adalah permeabilitas ruang kosong,
- i adalah kuat arus yang mengalir, dan n adalah jumlah lilitan.

Solenoid sebenarnya merupakan sebuah induktor yang merupakan sebuah kawat penghantar yang dibentuk menjadi kumparan. Lilitan membantu membuat medan magnet yang kuat di dalam kumparan dikarenakan hukum induksi faraday. Kemampuan induktor untuk menyimpan energi magnet ditentukan oleh induktansinya.

Rumus Induktansi:

Tabel 2.1 Rumus induktansi^[19]

Konstruksi	Rumus	Besaran
Lilitan silinder	$L = \frac{\mu_0 K N^2 \pi r^2}{l}$	• L = induktansi • μ_0 = permeabilitas vakum • K = koefisien Nagaoka • N = jumlah lilitan • r = jari-jari lilitan • l = panjang lilitan

Kawat lurus	$L = 200l \left(\ln \frac{4l}{d} - 1 \right) 10^{-9}$	• L = induktansi • l = panjang kawat • d = diameter kawat
Lilitan silinder pendek berinti udara	$L = \frac{N^2 r^2}{9r + 10l}$	• L = induktansi (μH) • r = jari-jari lilitan (in) • l = panjang lilitan (in) • N = jumlah lilitan
Lilitan berlapis-lapis berinti udara	$L = \frac{0.8N^2 r^2}{6r + 9l + 10d}$	• L = induktansi (μH) • r = rerata jari-jari lilitan (in) • l = panjang lilitan (in) • N = jumlah lilitan • d = tebal lilitan (in)
Lilitan spiral datar berinti udara	$L = \frac{N^2 r^2}{(2r + 2.8d) 10^5}$	• L = induktansi • r = rerata jari-jari spiral • N = jumlah lilitan • d = tebal lilitan
Inti toroid	$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2 r^2}{D}$	• L = induktansi • μ_0 = permeabilitas vakum • μ_r = permeabilitas relatif bahan inti • N = jumlah lilitan • r = jari-jari gulungan

		• D = diameter keseluruhan
--	--	------------------------------

Rumus induktansi secara umum:

$$L = \frac{\mu \mu_o N^2 A}{l}$$

Dimana:

L : induktansi dalam H (Henry)

μ : permeability inti (core)

μ_o : permeability udara vakum

$$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$$

N : jumlah lilitan induktor

A : luas penampang induktor (m^2)

l : panjang induktor (m)

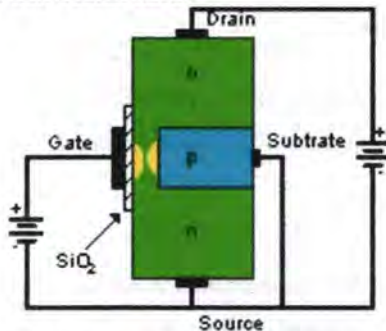
2.6 Transistor MOSFET

Mirip seperti JFET, transistor **MOSFET** (*Metal oxide FET*) memiliki drain, source dan gate. Namun perbedaannya gate terisolasi oleh suatu **bahan oksida**. Gate sendiri terbuat dari bahan **metal** seperti aluminium. Oleh karena itulah transistor ini dinamakan *metal-oxide*. Karena gate yang terisolasi, sering jenis transistor ini disebut juga **IGFET** yaitu *insulated-gate FET*.

Ada dua jenis MOSFET, yang pertama jenis *depletion-mode* dan yang kedua jenis *enhancement-mode*. Jenis MOSFET yang kedua adalah komponen utama dari gerbang logika dalam bentuk IC (*integrated circuit*), uC (*micro controller*) dan uP (*micro processor*) yang tidak lain adalah komponen utama dari komputer modern saat ini.

2.6.1 MOSFET Depletion Mode

Gambar berikut menunjukkan struktur dari transistor jenis ini. Pada sebuah kanal semikonduktor tipe n terdapat semikonduktor tipe p dengan menyisakan sedikit celah. Dengan demikian diharapkan elektron akan mengalir dari source menuju drain melalui celah sempit ini. Gate terbuat dari metal (seperti aluminium) dan terisolasi oleh bahan oksida tipis SiO_2 yang tidak lain adalah kaca.



Gambar 2.10 struktur MOSFET depletion-mode

Semikonduktor tipe p di sini disebut substrat p dan biasanya dihubungkan singkat dengan source. Ingat seperti pada transistor JFET lapisan deplesi mulai membuka jika $V_{GS} = 0$.

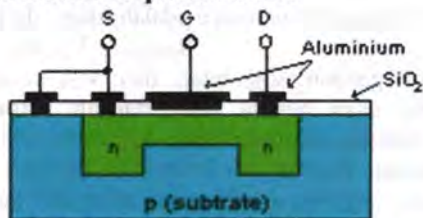
Dengan menghubungkan singkat substrat p dengan source diharapkan ketebalan lapisan deplesi yang terbentuk antara substrat dengan kanal adalah maksimum. Sehingga ketebalan lapisan deplesi selanjutnya hanya akan ditentukan oleh tegangan gate terhadap source. Pada gambar, lapisan deplesi yang dimaksud ditunjukkan pada daerah yang berwarna kuning.

Semakin negatif tegangan gate terhadap source, akan semakin kecil arus drain yang bisa lewat atau bahkan menjadi 0 pada tegangan negatif tertentu. Karena lapisan deplesi telah menutup kanal. Selanjutnya jika tegangan gate dinaikkan sama dengan tegangan source, arus akan mengalir. Karena lapisan deplesi mulai membuka. Sampai di sini prinsip kerja transistor MOSFET *depletion-mode* tidak berbeda dengan transistor JFET.

Karena gate yang terisolasi, tegangan kerja V_{GS} boleh positif. Jika V_{GS} semakin positif, arus elektron yang mengalir dapat semakin besar.

Di sini letak perbedaannya dengan JFET, transistor MOSFET *depletion-mode* bisa bekerja sampai tegangan gate positif.

2.6.2 Pabrikasi MOSFET Depletion Mode

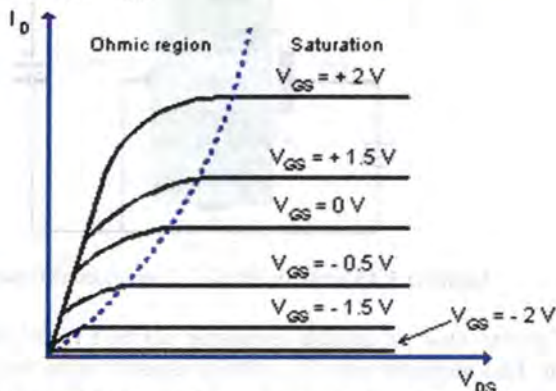


Gambar 2.11 Penampang D-MOSFET (depletion-mode)

Struktur ini adalah penampang MOSFET *depletion-mode* yang dibuat di atas sebuah lempengan semikonduktor tipe p. Implant semikonduktor tipe n dibuat sedemikian rupa sehingga terdapat celah kanal tipe n. Kanal ini menghubungkan drain dengan source dan tepat berada di bawah gate. Gate terbuat dari metal aluminium yang diisolasi dengan lapisan SiO_2 (kaca). Dalam beberapa buku, transistor MOSFET *depletion-mode* disebut juga dengan nama **D-MOSFET**.

2.6.3 Kurva Drain MOSFET Depletion Mode

Analisa kurva drain dilakukan dengan mencoba beberapa tegangan gate V_{GS} konstan, lalu dibuat grafik hubungan antara arus drain I_D terhadap tegangan V_{DS} .



Gambar 2.12 Kurva drain transistor MOSFET depletion-mode

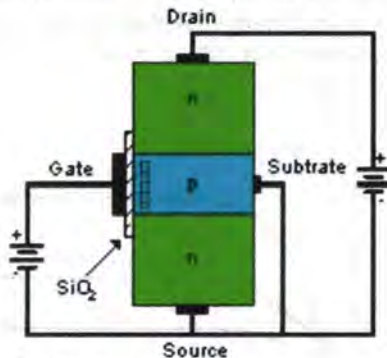
Dari kurva ini terlihat jelas bahwa transistor MOSFET *depletion-mode* dapat bekerja (ON) mulai dari tegangan V_{GS} negatif sampai positif. Terdapat dua daerah kerja, yang pertama adalah **daerah ohmic** dimana resistansi drain-source adalah fungsi dari :

$$R_{DS(on)} = V_{DS}/I_{DS}$$

Jika tegangan V_{GS} tetap dan V_{DS} terus dinaikkan, transistor selanjutnya akan berada pada **daerah saturasi**. Jika keadaan ini tercapai, arus I_{DS} adalah konstan. Tentu saja ada tegangan $V_{GS(max)}$, yang diperbolehkan. Karena jika lebih dari tegangan ini akan dapat merusak isolasi gate yang tipis alias merusak transistor itu sendiri.

2.6.4 MOSFET Enhancement Mode

Jenis transistor MOSFET yang kedua adalah MOSFET *enhancement-mode*. Transistor ini adalah evolusi jenius berikutnya setelah penemuan MOSFET *depletion-mode*. Gate terbuat dari metal aluminium dan terisolasi oleh lapisan SiO_2 sama seperti transistor MOSFET depletion-mode. **Perbedaan** struktur yang mendasar adalah, subtrat pada transistor MOSFET *enhancement-mode* sekarang dibuat sampai **menyentuh gate**, seperti terlihat pada gambar berikut ini. Lalu bagaimana elektron dapat mengalir ?. Silahkan terus menyimak tulisan berikut ini.



Gambar 2.13 Struktur MOSFET enhancement-mode

Gambar atas ini adalah transistor MOSFET *enhancement mode* kanal n. Jika tegangan gate V_{GS} dibuat negatif, tentu saja arus elektron tidak dapat mengalir. Juga ketika $V_{GS}=0$ ternyata arus belum juga bisa

mengalir, karena tidak ada lapisan deplesi maupun celah yang bisa dialiri elektron. Satu-satunya jalan adalah dengan memberi tegangan V_{GS} positif. Karena substrat terhubung dengan source, maka jika tegangan gate positif berarti tegangan gate terhadap substrat juga positif.

Tegangan positif ini akan menyebabkan elektron tertarik ke arah substrat p. Elektron-elektron akan bergabung dengan hole yang ada pada substrat p. Karena potensial gate lebih positif, maka elektron terlebih dahulu tertarik dan menumpuk di sisi substrat yang berbatasan dengan gate. Elektron akan terus menumpuk dan tidak dapat mengalir menuju gate karena terisolasi oleh bahan insulator SiO_2 (kaca).

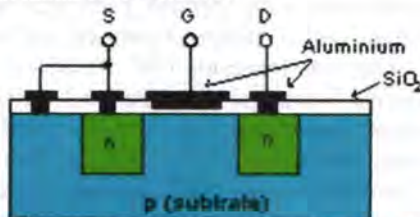
Jika tegangan gate cukup positif, maka tumpukan elektron akan menyebabkan terbentuknya semacam lapisan n yang negatif dan seketika itulah arus drain dan source dapat mengalir. Lapisan yang terbentuk ini disebut dengan istilah *inversion layer*. Kira-kira terjemahannya adalah lapisan dengan tipe yang berbalikan. Di sini karena substratnya tipe p, maka lapisan *inversion* yang terbentuk adalah bermuatan negatif atau tipe n.

Tentu ada tegangan minimum dimana lapisan *inversion* n mulai terbentuk. Tegangan minimum ini disebut tegangan *threshold* $V_{GS(th)}$. Tegangan $V_{GS(th)}$ oleh pabrik pembuat tertera di dalam datasheet.

Di sini letak perbedaan utama prinsip kerja transistor MOSFET *enhancement-mode* dibandingkan dengan JFET. Jika pada tegangan $V_{GS} = 0$, transistor JFET sudah bekerja atau ON, maka transistor MOSFET *enhancement-mode* masih OFF. Dikatakan bahwa JFET adalah komponen **normally ON** dan MOSFET adalah komponen **normally OFF**.

2.6.5 Pabrikasi MOSFET Enhancement Mode

Transistor MOSFET *enhancement mode* dalam beberapa literatur disebut juga dengan nama E-MOSFET.

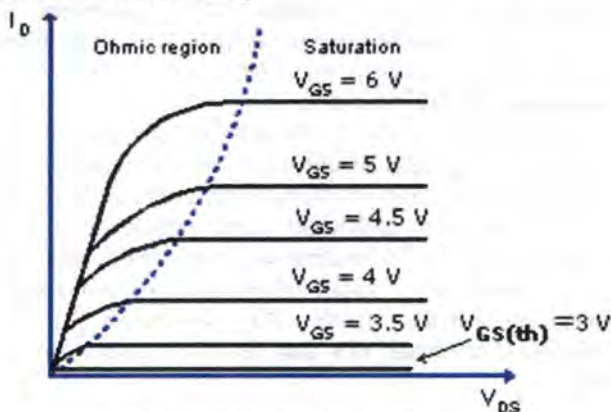


Gambar 2.14 Penampang E-MOSFET (enhancement-mode)

Gambar diatas adalah bagaimana transistor MOSFET *enhancement-mode* dibuat. Sama seperti MOSFET *depletion-mode*, tetapi perbedaannya disini tidak ada kanal yang menghubungkan drain dengan source. Kanal n akan terbentuk (*enhanced*) dengan memberi tegangan V_{GS} diatas tegangan *threshold* tertentu. Inilah struktur transistor yang paling banyak di terapkan dalam IC digital.

2.6.6 Kurva Drain MOSFET Enhacement Mode

Mirip seperti kurva D-MOSFET, kurva drain transistor E-MOSFET adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut. Namun di sini V_{GS} semua bernilai positif. Garis kurva paling bawah adalah garis kurva dimana transistor mulai ON. Tegangan V_{GS} pada garis kurva ini disebut tegangan *threshold* $V_{GS(th)}$.

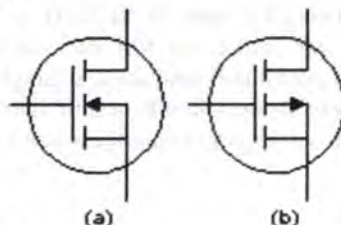


Gambar 2.15 Kurva drain E-MOSFET

Karena transistor MOSFET umumnya digunakan sebagai saklar (*switch*), parameter yang penting pada transistor E-MOSFET adalah resistansi drain-source. Biasanya yang tercantum pada datasheet adalah resistansi pada saat transistor ON. Resistansi ini dinamakan $R_{DS(on)}$. Besar resistansi bervariasi mulai dari 0.3 Ohm sampai puluhan Ohm. Untuk aplikasi *power switching*, semakin kecil resistansi $R_{DS(on)}$ maka semakin baik transistor tersebut. Karena akan memperkecil rugi-rugi disipasi daya dalam bentuk panas. Juga penting diketahui parameter arus drain maksimum $I_{D(max)}$ dan disipasi daya maksimum $P_{D(max)}$.

2.6.7 Simbol Transistor MOSFET

Garis putus-putus pada simbol transistor MOSFET menunjukkan struktur transistor yang terdiri drain, source dan subtrat serta gate yang terisolasi. Arah panah pada subtrat menunjukkan type lapisan yang terbentuk pada subtrat ketika transistor ON sekaligus menunjukkan type kanal transistor tersebut.

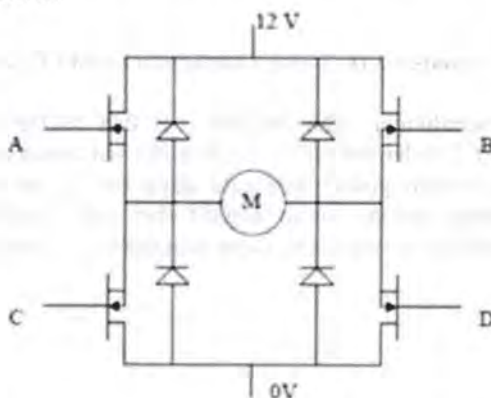


Gambar 2.16 Simbol MOSFET, (a) kanal-n (b) kanal-p

Kedua simbol di atas dapat digunakan untuk menggambarkan D-MOSFET maupun E-MOSFET.

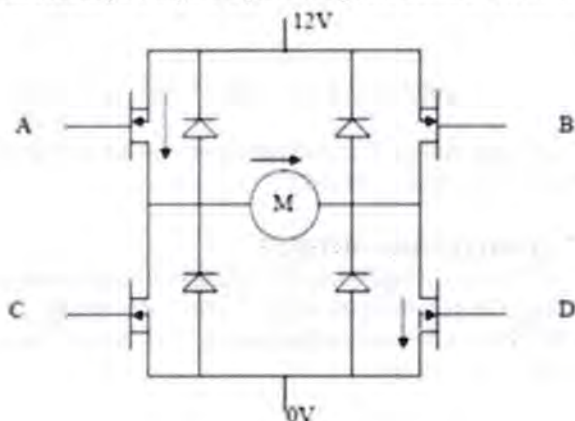
2.7 Teori *H-bridge* MOSFET

H-bridge adalah sebuah perangkat keras berupa rangkaian yang berfungsi untuk menggerakkan motor. Rangkaian ini diberi nama *H-bridge* karena bentuk rangkaiannya yang menyerupai huruf H seperti pada Gambar berikut.



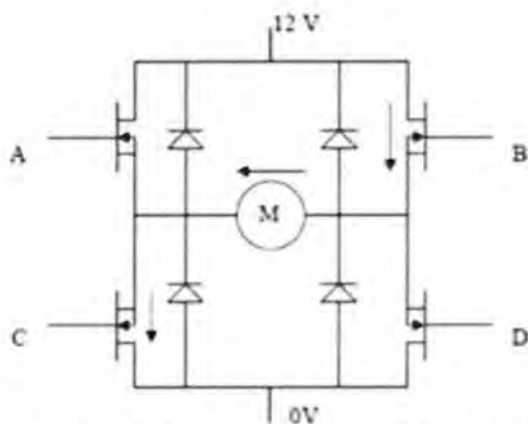
Gambar 2.17 Konfigurasi *H-bridge* MOSFET

Rangkaian ini terdiri dari dua buah MOSFET kanal P dan dua buah MOSFET kanal N. Prinsip kerja rangkaian ini adalah dengan mengatur mati-hidupnya ke empat MOSFET tersebut. Huruf M pada gambar adalah motor DC yang akan dikendalikan. Bagian atas rangkaian akan dihubungkan dengan sumber daya kutub positif, sedangkan bagian bawah rangkaian akan dihubungkan dengan sumber daya kutub negatif. Pada saat MOSFET A dan MOSFET D *on* sedangkan MOSFET B dan MOSFET C *off*, maka sisi kiri dari gambar motor akan terhubung dengan kutub positif dari catu daya, sedangkan sisi sebelah kanan motor akan terhubung dengan kutub negatif dari catu daya sehingga motor akan bergerak searah jarum jam dijelaskan pada Gambar berikut.



Gambar 2.18 H-bridge konfigurasi MOSFET A&D *on*, B&C *off*

Sebaliknya, jika MOSFET B dan MOSFET C *on* sedangkan MOSFET A dan MOSFET D *off*, maka sisi kanan motor akan terhubung dengan kutub positif dari catu daya sedangkan sisi kiri motor akan terhubung dengan kutub negatif dari catu daya. Maka motor akan bergerak berlawanan arah jarum jam dijelaskan pada Gambar berikut.



Gambar 2.19 *H-bridge konfigurasi MOSFET A&D off, B&C on*

Konfigurasi lainnya adalah apabila MOSFET A dan MOSFET B sedangkan MOSFET C dan MOSFET D *off*. Konfigurasi ini akan menyebabkan sisi kiri dan kanan motor terhubung pada kutub yang sama yaitu kutub positif sehingga tidak ada perbedaan tegangan diantara dua buah polaritas motor, sehingga motor akan diam. Konfigurasi seperti ini disebut dengan konfigurasi *break*. Begitu pula jika MOSFET C dan MOSFET D saklar on, sedangkan MOSFET A dan MOSFET C off, kedua polaritas motor akan terhubung pada kutub negatif dari catu daya. Maka tidak ada perbedaan tegangan pada kedua polaritas motor, dan motor akan diam. Konfigurasi yang harus dihindari adalah pada saat MOSFET A dan MOSFET C *on* secara bersamaan atau MOSFET B dan MOSFET D *on* secara bersamaan. Pada konfigurasi ini akan terjadi hubungan arus singkat antara kutub positif catu daya dengan kutub negatif catu daya.



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

BAB III **PERANCANGAN ALAT**

BAB III

PERANCANGAN ALAT

Pada bab ini akan dibahas mengenai perancangan elektrolaring mulai dari rancangan mekanik hingga elektronik.

3.1 Perancangan Mekanik

Untuk pembuatan elektrolaring ini bentuk mekanik merupakan salah satu faktor yang perlu diperhitungkan untuk mendapatkan performa yang optimal dari kinerja alat tersebut.

Adapun bagian-bagian mekanik yang elektrolaring ini adalah sebagai berikut:

1. **Bagian top head**

Bagian ini merupakan bagian tutup elektrolaring. Pada bagian ini sebenarnya memiliki dua buah bagian, yaitu tutup itu sendiri, kemudian membran kaku oleh aktuator nantinya sekaligus bagian yang menempel pada leher pengguna nantinya. Bagian tutup dan membran kaku atau yang menempel pada leher pengguna tidak menyatu. Hal ini bertujuan agar getaran yang dihasilkan oleh elektrolaring terpusat di tengah saja, tidak menyebar ke bagian lain dari elektrolaring. Selain itu nantinya akan dipasang bantalan diantara tutup dan bahan yang dipukul untuk mencegah terjadinya perambatan getaran ke bagian lain dari elektrolaring.

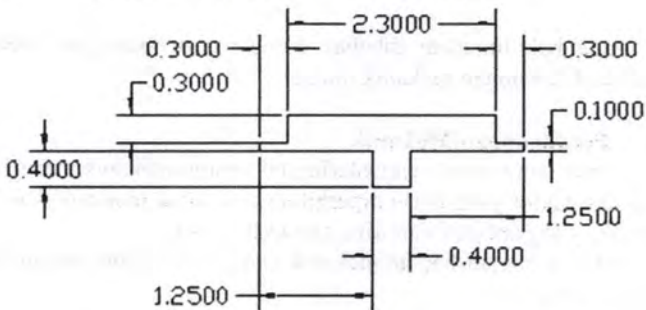
2. **Pemukul/*plunger***

Pemukul atau *plunger* adalah bagian yang akan memukul top head untuk menghasilkan getaran pada elektrolaring. Pada *plunger* terdapat solenoid yang akan berperan dalam pergerakan *plunger* nantinya. Karena solenoid nantinya akan menjadi magnet sementara karena dialiri oleh arus yang dihasilkan dari rangkaian *H-bridge*. Nantinya agar pemukul/*plunger* tepat memukul bagian top head akan ditahan oleh sebuah membran yang dibuat dari balon. Dibuat menggunakan balon dengan tujuan agar elastis dan tidak memberi beban yang terlalu besar pada pemukul atau *plunger* pada saat bergerak.

3. **Bagian tabung**

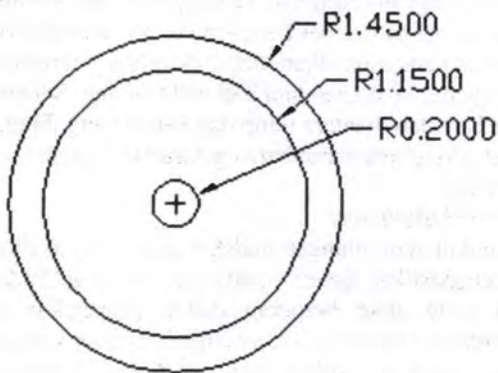
Bagian ini merupakan tempat diletakkannya rangkaian dan baterai, serta interface dengan pengguna. Berikut adalah gambar-gambar dari perancangan mekanik dengan ukuran millimeter.

- Rancangan membran kaku
 - Tampak samping



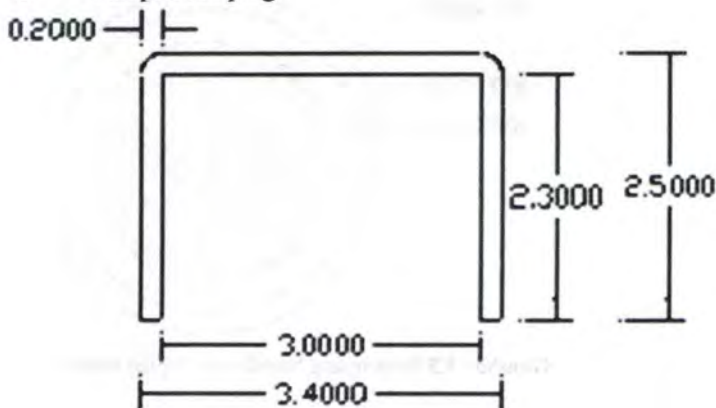
Gambar 3.1 Penampang dari samping membran kaku.

- Tampak bawah



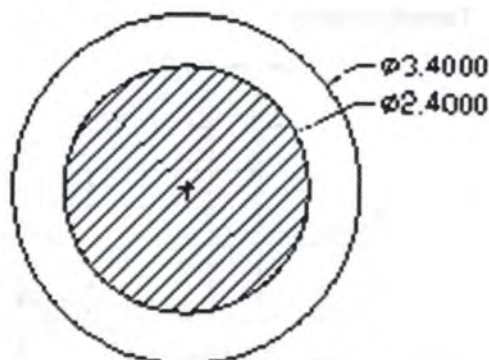
Gambar 3.2 Penampang dari bawah membran kaku

- Rancangan tutup
 - Tampak samping



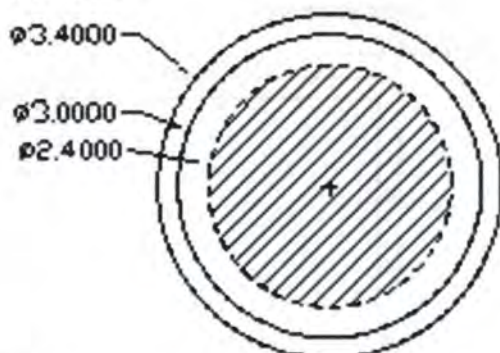
Gambar 3.3 Penampang dari samping bagian tutup.

- Tampak atas



Gambar 3.4 Penampang dari atas bagian tutup.

- Tampak bawah

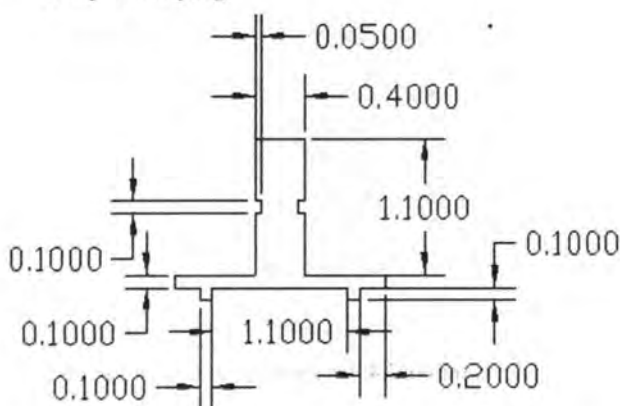


Gambar 3.5 Penampang bawah dari bagian tutup.

Bagian yang diarsir merupakan tempat membran kaku, jadi bagian ini sebenarnya berongga jika membran kaku belum dipasang.

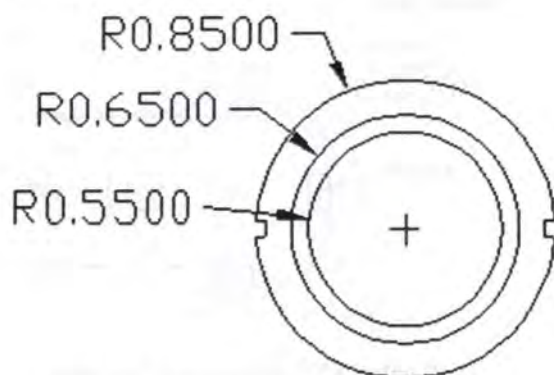
- Rancangan pemukul/*plunger*

- Tampak samping



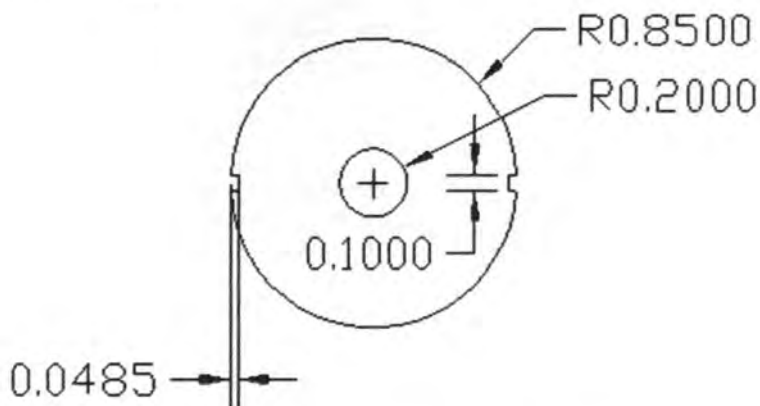
Gambar 3.6 Penampang dari samping pemukul/*plunger*.

- Tampak bawah



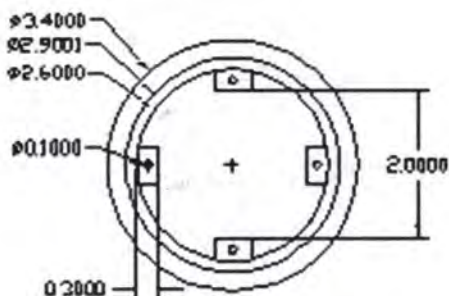
Gambar 3.7 Penampang dari bawah pemukul/*plunger*.

- Tampak atas



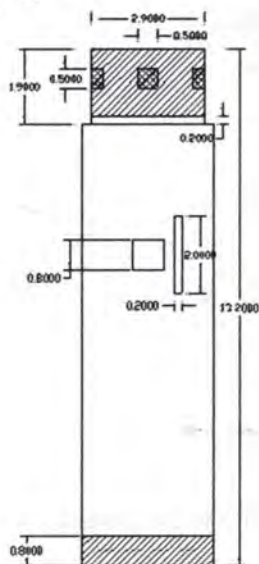
Gambar 3.8 Penampang atas dari pemukul/*plunger*.

- Rancangan tabung
 - Tampak atas



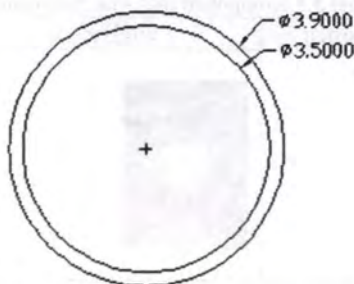
Gambar 3.9 Penampang atas dari tabung.

- Tampak samping



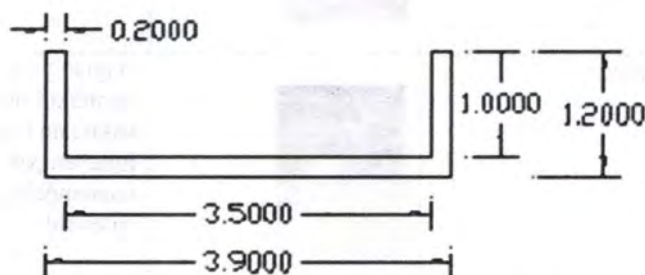
Gambar 3.10 Penampang samping dari tabung.

- Rancangan tutup bawah
 - Tampak atas



Gambar 3.11 Penampang atas dari tutup bawah.

- Tampak samping



Gambar 3.12 Penampang samping dari tutup bawah.

Dari perancangan mekanik yang telah dilakukan berikut adalah gambar-gambar bagian mekanik dari elektrolaring yang telah dibuat.

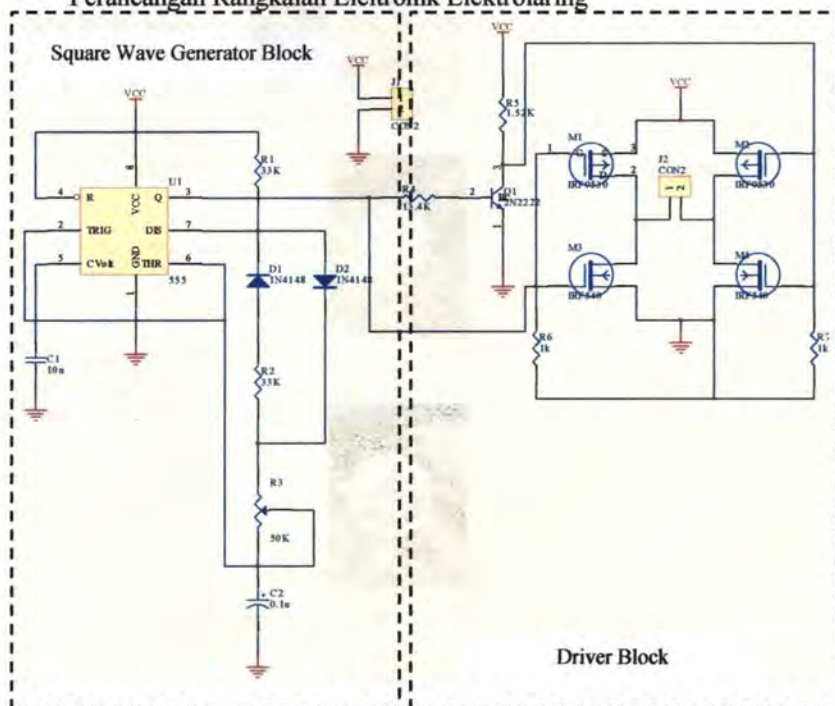
Tabel 3.1 Komponen mekanik penyusun elektrolaring

Nama Komponen	Gambar	Keterangan
Membran kaku		Merupakan bagian yang akan dipukul oleh <i>plunger</i>
Tutup		Tutup untuk menutup bagian <i>plunger</i> , membran, dan membran kaku
Plunger		Bagian yang akan memukul membrane kaku dan bagian ini juga tempat menempelnya solenoid
Tabung		Berfungsi melindungi rangkaian. Selain itu tempat meletakkan baterai, dan bagian mekanik yang lainnya

Membran		Berfungsi untuk menahan plunger pada posisi yang tepat untuk melakukan tugasnya
Tutup bawah		Untuk menutup bagian baterai
Magnet		Merupakan inti solenoid untuk menarik dan mendorong plunger saat polaritas solenoid berubah-ubah

3.2. Perancangan Elektronik

Perancangan Rangkaian Elektronik Elektrolaring

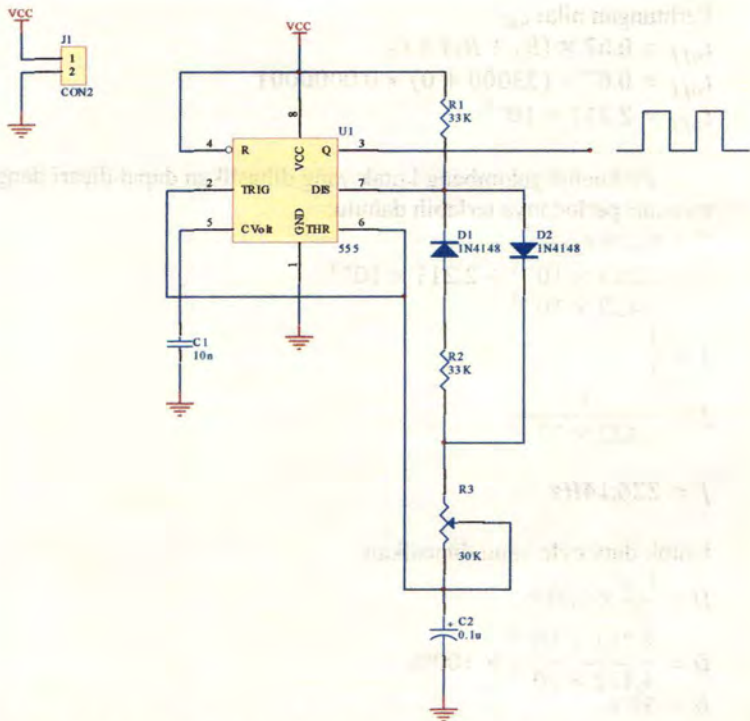


Gambar 3.13 Perancangan rangkaian elektronik

Seperti terlihat pada gambar di atas, terdapat dua buah blok utama dari elektrolaring. Pertama adalah blok pembangkit gelombang kotak yang akan menghasilkan gelombang kotak dengan frekuensi antara 110 Hz-200 Hz dan blok driver untuk men-drive solenoid.

3.2.1 Perancangan Squar wave Generator

Pada rangkaian pembangkit gelombang kotak ini digunakan IC LM555 untuk menghasilkan gelombang kotak atau bisa juga disebut sebagai astable multivibrator. Untuk rangkaian square wave generator digunakan nilai-nilai komponen seperti pada gambar 34.



Gambar 3.14 Rangkaian pembangkit gelombang kotak(astable multivibrator)

$$V_s = \pm 8.20V$$

$$R_1 = 33K\Omega$$

$$R_2 = 33K\Omega$$

$$R_3 = 50K\Omega$$

$$C_2 = 0.1 \mu F$$

$$C_1 = 10 \text{ nF}$$

$$V_r = 20K\Omega$$

Untuk nilai $R_3 = 0\Omega$

Perhitungan nilai t_{on} :

$$t_{on} = 0.67 \times (R_1 + R_3) \times C_2$$

$$t_{on} = 0.67 \times (33000 + 0) \times 0.0000001$$

$$t_{on} = 2.211 \times 10^{-3}s$$

Perhitungan nilai t_{off} :

$$t_{off} = 0.67 \times (R_2 + R_3) \times C_2$$

$$t_{off} = 0.67 \times (33000 + 0) \times 0.0000001$$

$$t_{off} = 2.211 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Frekuensi gelombang kotak yang dihasilkan dapat dicari dengan mencari periodanya terlebih dahulu:

$$T = t_{on} + t_{off}$$

$$T = 2.211 \times 10^{-3} + 2.211 \times 10^{-3}$$

$$T = 4.422 \times 10^{-3}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{4.422 \times 10^{-3}}$$

$$f = 226,14 \text{ Hz}$$

Untuk duty cyle yang dihasilkan:

$$D = \frac{t_{on}}{T} \times 100\%$$

$$D = \frac{2.211 \times 10^{-3}}{4.422 \times 10^{-3}} \times 100\%$$

$$D = 50\%$$

Untuk nilai $R_3 = 50 \text{ K}\Omega$

Perhitungan nilai t_{on} :

$$t_{on} = 0.67 \times (R_1 + R_3) \times C_2$$

$$t_{on} = 0.67 \times (33000 + 50000) \times 0.0000001$$

$$t_{on} = 5.561 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Perhitungan nilai t_{off} :

$$t_{off} = 0.67 \times (R_2 + R_3) \times C_2$$

$$t_{off} = 0.67 \times (33000 + 50000) \times 0.0000001$$

$$t_{off} = 5.561 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Frekuensi gelombang kotak yang dihasilkan dapat dicari dengan mencari periodanya terlebih dahulu:

$$T = t_{on} + t_{off}$$

$$T = 5.561 \times 10^{-3} + 5.561 \times 10^{-3}$$

$$T = 11.112 \times 10^{-3}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{11.112 \times 10^{-3}}$$

$$f = 89.99\text{Hz}$$

Untuk duty cyle yang dihasilkan:

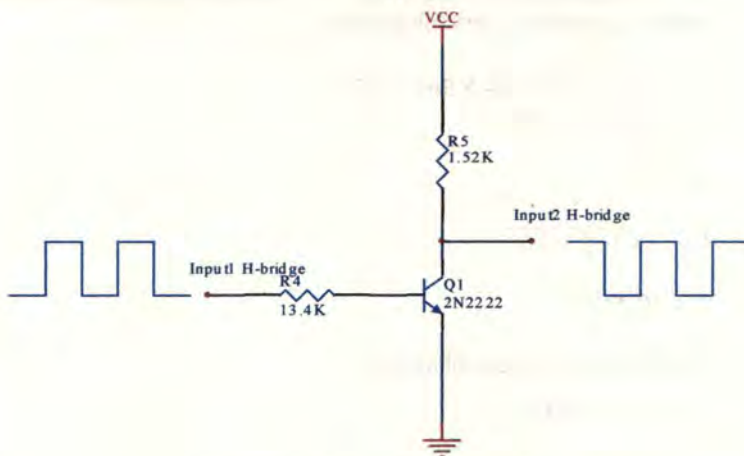
$$D = \frac{t_{on}}{T} \times 100\%$$

$$D = \frac{5.561 \times 10^{-3}}{11.112 \times 10^{-3}} \times 100\%$$

$$D = 50\%$$

3.2.2 Perancangan Rangkaian Driver

Untuk rangkaian driver menggunakan rangkaian *H-bridge*. Rangkaian ini terdiri dari dua buah komponen MOSFET kanal P yaitu IRF9530 dan dua buah MOSFET kanal N yaitu IRF540. Rangkaian ini berfungsi untuk memberi arus pada solenoid dengan interval waktu yang sama dengan interval waktu gelombang yang dihasilkan oleh IC LM555. Untuk memberi logika yang bergantian pada input rangkaian *H-bridge* agar bisa memberikan arus yang dapat berganti-ganti arahnya pada solenoid, digunakan sebuah transistor untuk menghasilkan logika 1 dan 0 dalam waktu yang bersamaan.



Gambar 3.15 Switching Transistor

Berdasarkan datasheet yang ada nilai $I_c=15$ mA dan nilai $I_b=150$ mA pada saat saturasi dengan nilai $V_{be}=1.3$. Maka harga R_b dan R_c dapat dicari. Dimana harga $V_i=8$ V.

Untuk mencari nilai R_b yang tepat.

$$\begin{aligned}
 V_i - I_b R_b - V_{be} &= 0 \\
 8 - 0.015 R_b - 1.3 &= 0 \\
 R_b &= \frac{-8 + 1.3}{-0.015}
 \end{aligned}$$

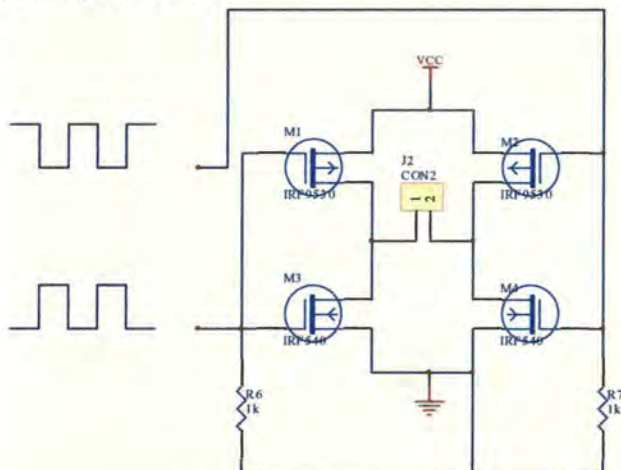
$$R_b = 446.67 \text{ Ohm}$$

Untuk mencari nilai R_c digunakan nilai $V_{cc}=8$ V, $V_{ce}=0.4$ V.

$$\begin{aligned}
 V_{cc} - I_c R_c - V_{ce} &= 0 \\
 8 - 0.15 R_c - 0.4 &= 0 \\
 R_c &= \frac{-8 + 0.4}{-0.15}
 \end{aligned}$$

$$R_c = 50.67 \text{ Ohm}$$

Untuk rangkaian *H-bridge* kedua input diberi tegangan yang melebihi tegangan ambang gerbangnya untuk mengaktifkan masing-masing pasangan MOSFET.



Gambar 3.16 Rangkaian *H-bridge*

3.2.3 Perancangan Solenoid

Solenoid digunakan pada bagian pemukul/*plunger* sebagai aktuator pemukul/*plunger*. Pada bagian pemukul/*plunger* diberi kumparan dengan spesifikasi seperti dibawah ini.

Jari-jari(<i>r</i>)	= 0.0075 m
Permeability inti(μ)	= 1 (udara)
Permeability vakum	= $4\pi \times 10^{-7}$
Jumlah lilitan(<i>N</i>)	= 66 lilitan
Luas penampang(<i>A</i>)	= $r^2 \pi \text{ m}^2$
Panjang induktor(<i>l</i>)	= 0.008 m

$$L = \frac{\mu \mu_o N^2 A}{l}$$

$$L = \frac{1 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 66^2 \times 0.0075^2 \pi}{0.008}$$

$$L = 1.21 \times 10^{-4} \text{ H}$$



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

BAB IV

HASIL PERCOBAN

DAN ANALISA



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

BAB IV

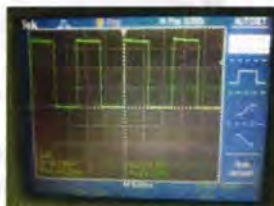
HASIL PERCOBAAN DAN ANALISA

4.1 Percobaan

Setelah perancangan elektrolaring selesai, dilakukan beberapa percobaan terkait dengan kemampuan elektrolaring menghasilkan sinyal penggetar dan bergetar untuk menggantikan fungsi dari pita suara itu sendiri.

4.1.1 Percobaan 1

Menguji sinyal output yang dihasilkan oleh rangkaian square wave generator.

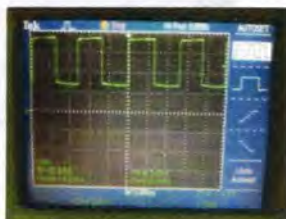


Gambar 4.1 Sinyal kotak dengan frekuensi 81.3 Hz pada output IC555

Gambar 4.1 merupakan hasil pengukuran pada keluaran rangkaian pembangkit sinyal kotak yaitu IC555. Bentuk sinyal di atas di dapat dengan mengatur tahanan $R_3 = 0$ ohm. Dan pengukuran di atas dilakukan sebelum rangkaian dihubungkan dengan solenoid.

4.1.2 Percobaan 2

Menguji sinyal output pada kaki kolektor transistor Q_1 .



Gambar 4.2 Sinyal kotak dengan frekuensi 86.34 Hz pada Q_1

Gambar 4.2 merupakan hasil pengukuran pada keluaran rangkaian not yaitu pada kolektor transistor Q_1 . Bentuk sinyal di atas di dapat dengan mengatur tahanan $R_3 = 0$ ohm. Dan pengukuran di atas dilakukan sebelum rangkaian dihubungkan dengan solenoid.

4.1.3 Percobaan 3

Menguji sinyal output yang dihasilkan oleh rangkaian *H-bridge*.



Gambar 4.3 Sinyal kotak dengan frekuensi 81.3 Hz pada output rangkaian *H-bridge*

Gambar 4.3 merupakan hasil pengukuran pada keluaran rangkaian *H-bridge*. Bentuk sinyal di atas di dapat dengan mengatur tahanan $R_3 = 0$ kohm. Dan pengukuran di atas dilakukan sebelum rangkaian dihubungkan dengan solenoid.

4.1.4 Percobaan 4

Menguji sinyal output yang dihasilkan oleh rangkaian clockwave generator.



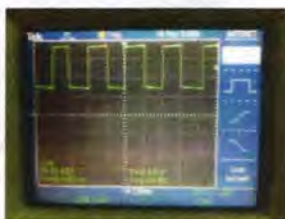
Gambar 4.4 Sinyal kotak dengan frekuensi 193.4 Hz pada output IC555

Gambar 4.4 merupakan hasil pengukuran pada keluaran rangkaian pembangkit sinyal kotak yaitu IC555. Bentuk sinyal di atas di dapat

dengan mengatur tahanan $R_3 = 50 \text{ kohm}$. Dan pengukuran di atas dilakukan sebelum rangkaian dihubungkan dengan solenoid.

4.1.5 Percobaan 5

Menguji sinyal output pada kaki kolektor transistor Q_1 .

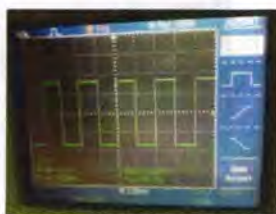


Gambar 4.5 Sinyal kotak dengan frekuensi 201.4 Hz pada output Q_1

Gambar 4.5 merupakan hasil pengukuran pada keluaran rangkaian not yaitu pada kolektor transistor Q_1 . Bentuk sinyal di atas di dapat dengan mengatur tahanan $R_3 = 50 \text{ kohm}$. Dan pengukuran di atas dilakukan sebelum rangkaian dihubungkan dengan solenoid.

4.1.6 Percobaan 6

Menguji sinyal output yang dihasilkan oleh rangkaian *H-bridge*.

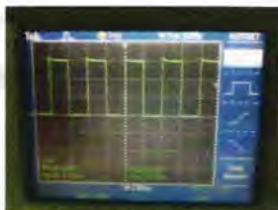


Gambar 4.6 Sinyal kotak dengan frekuensi 199.2 Hz pada output rangkaian *H-bridge*

Gambar 4.6 merupakan hasil pengukuran pada keluaran rangkaian *H-bridge*. Bentuk sinyal di atas di dapat dengan mengatur tahanan $R_3 = 0 \text{ kohm}$. Dan pengukuran di atas dilakukan sebelum rangkaian dihubungkan dengan solenoid.

4.1.7 Percobaan 7

Menguji sinyal output yang dihasilkan oleh rangkaian clockwave generator.

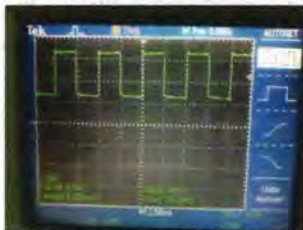


Gambar 4.7 Sinyal kotak dengan frekuensi 195.7 Hz pada output IC555

Gambar 4.7 merupakan hasil pengukuran pada keluaran rangkaian pembangkit sinyal kotak yaitu IC555. Bentuk sinyal di atas di dapat dengan mengatur tahanan $R_3 = 0$ ohm. Dan pengukuran di atas dilakukan pada saat rangkaian dihubungkan dengan solenoid.

4.1.8 Percobaan 8

Menguji sinyal output pada kaki kolektor transistor Q_1 .

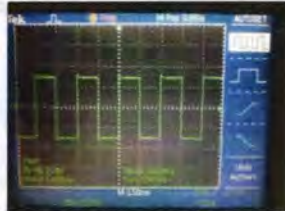


Gambar 4.8 Sinyal kotak dengan frekuensi 196.9 Hz pada output Q_1

Gambar 4.8 merupakan hasil pengukuran pada keluaran rangkaian not yaitu pada kolektor transistor Q_1 . Bentuk sinyal di atas di dapat dengan mengatur tahanan $R_3 = 0$ ohm. Dan pengukuran di atas dilakukan pada saat rangkaian dihubungkan dengan solenoid.

4.1.9 Percobaan 9

Menguji sinyal output yang dihasilkan oleh rangkaian *H-bridge*.

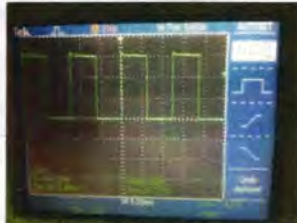


Gambar 4.9 Sinyal kotak dengan frekuensi 196.5 Hz pada output rangkaian *H-bridge*

Gambar 4.9 merupakan hasil pengukuran pada keluaran rangkaian *H-bridge*. Bentuk sinyal di atas di dapat dengan mengatur tahapan $R_3 = 0$ kohm. Dan pengukuran di atas dilakukan pada saat dihubungkan dengan solenoid.

4.1.10 Percobaan 10

Menguji sinyal output yang dihasilkan oleh rangkaian clockwave generator.



Gambar 4.10 Sinyal kotak dengan frekuensi 80.13 Hz pada output IC555

Gambar 4.10 merupakan hasil pengukuran pada keluaran rangkaian pembangkit sinyal kotak yaitu IC555. Bentuk sinyal di atas di dapat dengan mengatur tahapan $R_3 = 50$ kohm. Dan pengukuran di atas dilakukan pada saat rangkaian dihubungkan dengan solenoid.

4.1.11 Percobaan 11

Menguji sinyal output pada kaki kolektor transistor Q_1 .

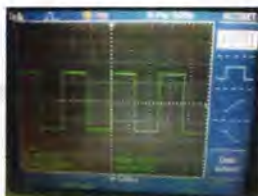


Gambar 4.11 Sinyal kotak dengan frekuensi 79.62 Hz pada output Q_1

Gambar 4.11 merupakan hasil pengukuran pada keluaran rangkaian not yaitu pada kolektor transistor Q_1 . Bentuk sinyal di atas di dapat dengan mengatur tahanan $R_3 = 50$ kohm. Dan pengukuran di atas dilakukan pada saat rangkaian dihubungkan dengan solenoid.

4.1.12 Percobaan 12

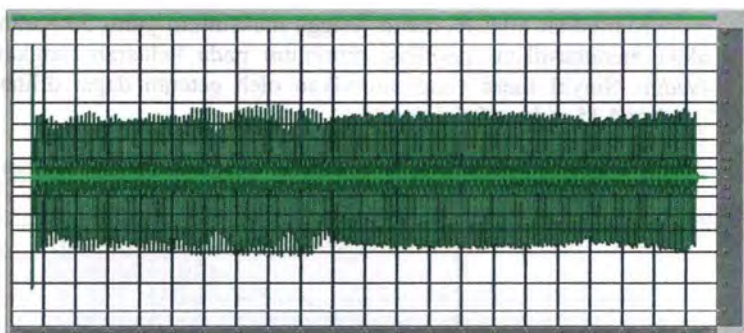
Menguji sinyal output yang dihasilkan oleh rangkaian *H-bridge*.



Gambar 4.12 Sinyal kotak dengan frekuensi 79.37 Hz pada output rangkaian *H-bridge*

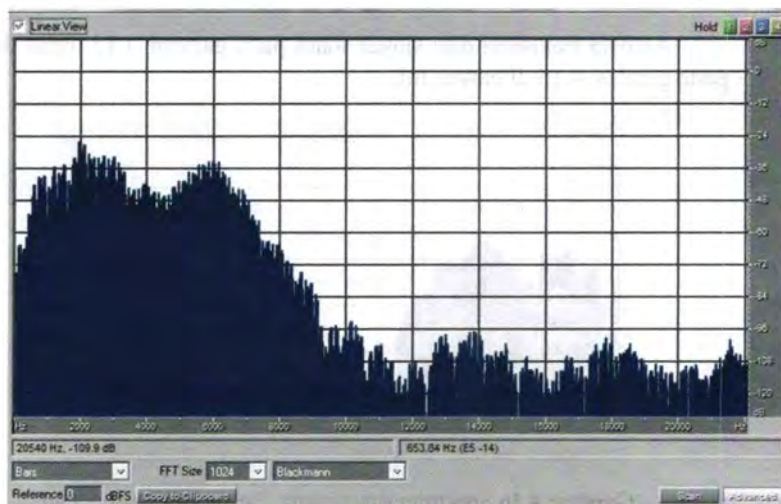
Gambar 4.12 merupakan hasil pengukuran pada keluaran rangkaian *H-bridge*. Bentuk sinyal di atas di dapat dengan mengatur tahanan $R_3 = 50$ kohm. Dan pengukuran di atas dilakukan pada saat dihubungkan dengan solenoid.

Setelah solenoid dihubungkan pada rangkaian maka solenoid tersebut akan menggerakkan pemukul/*plunger* untuk memukul bagian top head sehingga menghasilkan getaran yang menghasilkan sinyal suara seperti gambar 4.13.



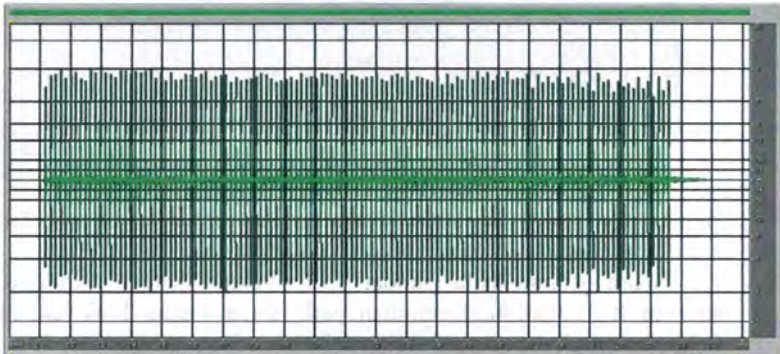
Gambar 4.13 Sinyal suara dengan frekuensi output rangkaian *H-bridge* maksimum (sumbu x: waktu(s); sumbu y: amplitudo(dB))

Suara getaran pada gambar 4.13 direkam dengan mengatur nilai tahanan $R_3 = 0$ ohm. Kemudian pada sinyal suara dilakukan analisa frekuensi untuk mengamati frekuensi yang ada pada sinyal tersebut. Hasil analisa frekuensi dari gambar 4.13 di atas dapat dilihat pada gambar 4.14.



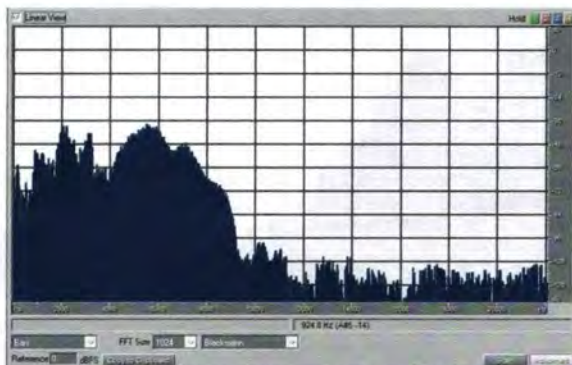
Gambar 4.14 Spektrum sinyal suara dengan frekuensi output rangkaian *H-bridge* maksimum (sumbu x: frekuensi(Hz); sumbu y: amplitudo(dB))

Kemudian nilai R_3 diatur hingga maksimum yaitu 50 Kohm yang akan menghasilkan frekuensi minimum pada keluaran rangkaian *H-bridge*. Sinyal suara yang dihasilkan oleh geteran dapat dilihat pada gambar 4.15 di bawah ini.



Gambar 4.15 Sinyal suara dengan frekuensi output rangkaian *H-bridge* minimum
(sumbu x: waktu(s); sumbu y: amplitudo(dB))

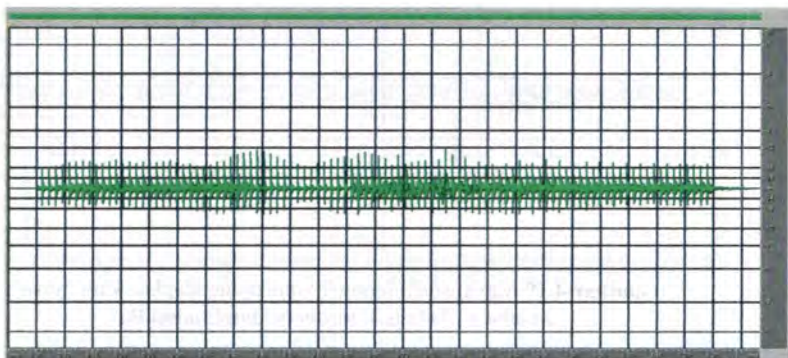
Analisa frekuensi dari sinyal suara pada gambar 4.15 dapat dilihat pada gambar 4.16 di bawah ini.



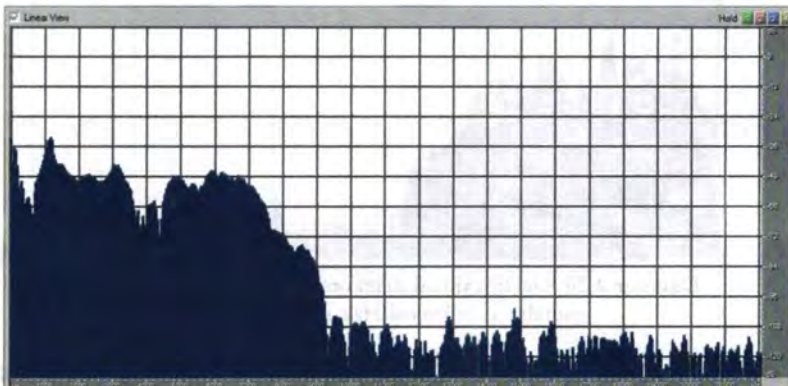
Gambar 4.16 Spektrum sinyal suara dengan frekuensi output rangkaian *H-bridge* minimum
(sumbu x: frekuensi(Hz); sumbu y: amplitudo(dB))

Untuk pengujian kinerja alat dilakukan dengan mengambil sampel suara 2 orang relawan lakik-laki untuk mengucapkan kata “saya” menggunakan elektrolaring yang dibuat.

Untuk pengujian pada orang pertama dapat dilihat sinyal suara dan spektrumnya pada gambar 4.17 dan 4.18.

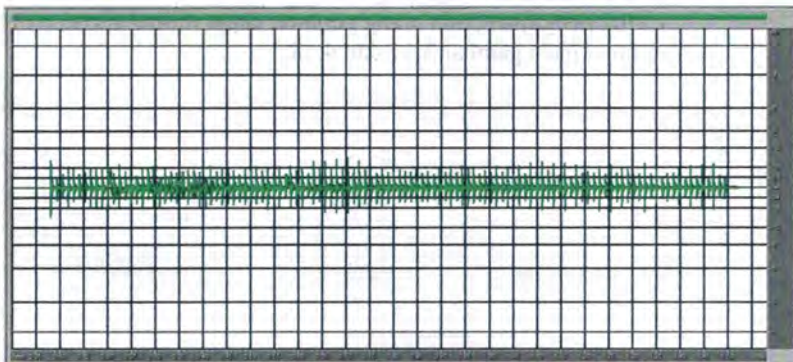


Gambar 4.17 Sinyal suara orang-1 yang mengucapkan kata “saya”
(sumbu x: waktu(s); sumbu y: amplitudo(dB))

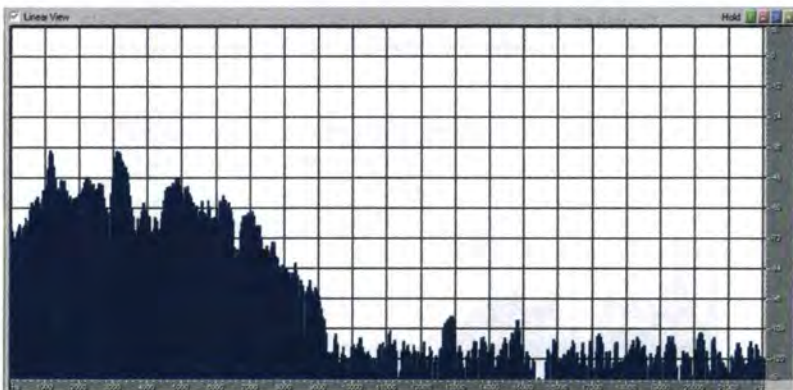


Gambar 4.18 Spektrum sinyal suara orang-1 yang mengucapkan kata “saya”
(sumbu x: frekuensi(Hz); sumbu y: amplitudo(dB))

Untuk pengujian pada orang pertama dapat dilihat sinyal suara dan spektrumnya pada gambar 4.19 dan 4.20.

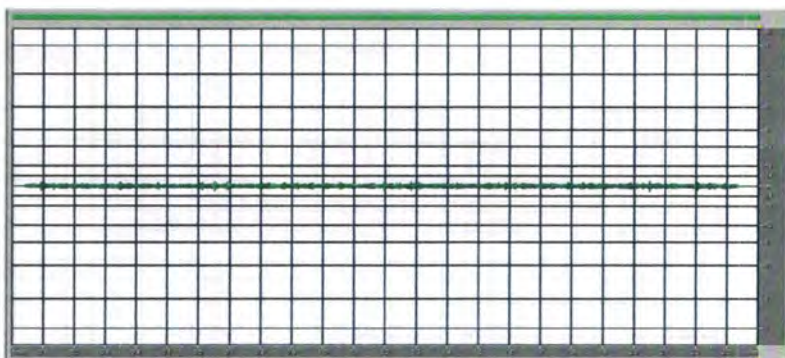


Gambar 4.19 Sinyal suara orang-2 yang mengucapkan kata “saya”
(sumbu x: waktu(s); sumbu y: amplitudo(dB))



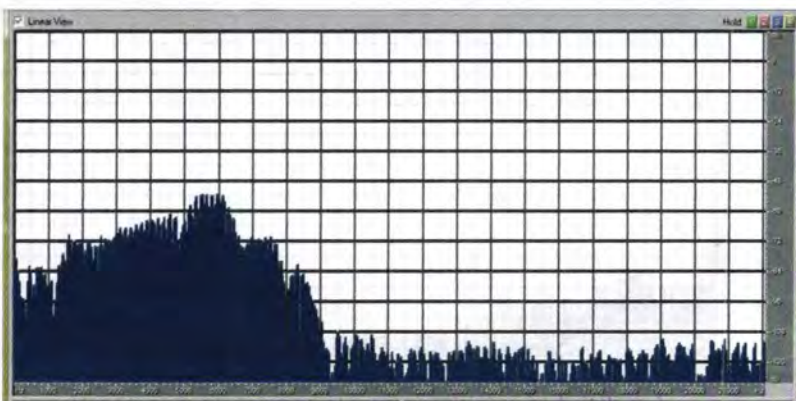
Gambar 4.20 Spektrum sinyal suara orang-2 yang mengucapkan kata “saya”
(sumbu x: frekuensi(Hz); sumbu y: amplitudo(dB))

Berikutnya dilakukan pengujian pada elektrolaring yang pernah dibuat sebelumnya. Alat ini bekerja dengan menggunakan suplay sebesar 4,61 V. sinyal yang akan ditampilkan merupakan sinyal suara yang dihasilkan oleh getaran yang dihasilkan oleh elektrolaring.



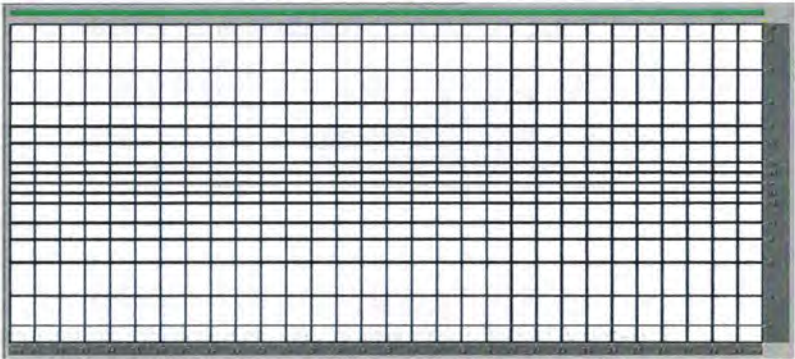
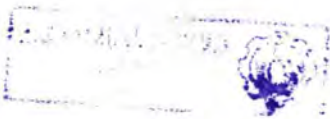
Gambar 4.21 Sinyal suara getaran yang dihasilkan oleh elektrolaring sebelumnya^[1] (sumbu x: waktu(s); sumbu y: amplitudo(dB))

Kemudian analisa frekuensi dari sinyal suara getaran di atas.

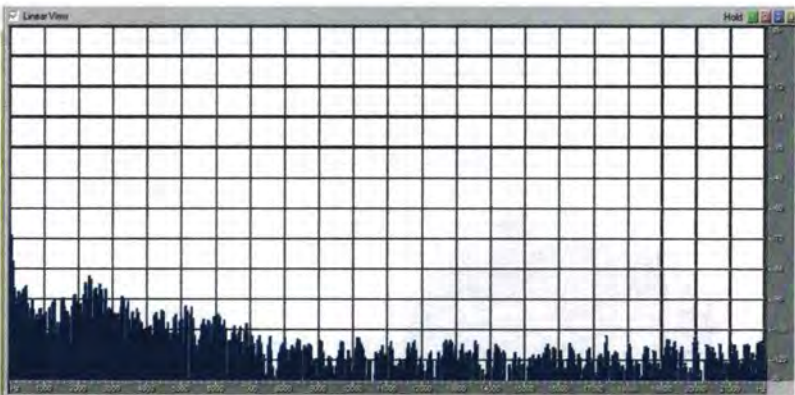


Gambar 4.22 Spektrum dari sinyal suara getaran dari elektrolaring sebelumnya^[1] (sumbu x: frekuensi(Hz); sumbu y: amplitudo(dB))

Untuk mengamati kinerja elektrolaring yang telah dibuat sebelumnya dilakukan pengujian dengan mengucapakan kata “saya”. Sinyal suara dan spektrum yang dihasilkan dapat dilihat seperti pada gambar 4.23 dan gambar 4.24.



Gambar 4.23 Sinyal suara yang mengucapkan kata “saya” menggunakan elektrolaring sebelumnya^[1] (sumbu x: waktu(s); sumbu y: amplitudo(dB))



Gambar 4.24 Spektrum sinyal suara yang mengucapkan kata”saya” menggunakan elektrolaring sebelumnya^[1] (sumbu x: frekuensi(Hz); sumbu y: amplitudo(dB))

4.2 Analisa

Dari seluruh pengukuran di atas perubahan nilai R_3 mengakibatkan berubahnya frekuensi dari gelombang kotak yang dihasilkan. Dimana semakin besar nilai R_3 maka semakin kecil nilai frekuensi yang dihasilkan dan sebaliknya. Hal ini diakibatkan semakin besarnya nilai R_3 maka semakin lamanya terjadi pengisian dan pengosongan C_2 maka arus

yang masuk ke kapasitor akan menjadi sedikit. Sedangkan jika nilai R_3 kecil maka proses pengisian dan pengosongan resistor akan menjadi lebih cepat karena arus yang mengalir lebih besar.

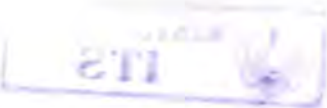
Perubahan nilai amplitudo tegangan akan sedikit turun saat diberi beban solenoid. Hal ini disebabkan terjadinya pembagian arus dari rangkaian semula dengan rangkaian saat diberi beban.

Pada gambar 4.13 dan 4.15 menunjukkan sinyal suara dengan frekuensi maksimum dari rangkaian *H-bridge* dan frekuensi minimum dari rangkaian *H-bridge*. Dapat dilihat sinyal pada gambar 4.13 lebih rapat dari sinyal pada gambar 4.15 dengan waktu perekaman yang kurang lebih sama, hal ini menjelaskan bahwa sesuai dengan gelombang yang dihasilkan rangkaian *H-bridge* bahwa sinyal suara pada gambar 4.13 memiliki frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan gambar 4.15 dengan melihat hasil analisa frekuensi dari gambar 4.14 dan 4.16 dapat dilihat juga perbedaan bahwa pada gambar 4.14 spektrum memiliki amplitudo yang lebih tinggi hampir di setiap nilai frekuensi yang ada dari pada gambar 4.16 yang berarti bahwa hampir pada setiap nilai frekuensi terdapat amplitudo yang menandakan adanya sinyal suara.

Perbedaan frekuensi dan bentuk sinyal suara yang dihasilkan dengan sinyal pembangkit getaran dikarenakan pada saat bagian pemukul/*plunger* dari elektrolaring memukul membran kaku menimbulkan getaran pada setiap bagian elektrolaring dan memmbulkan sinyal-sinyal suara yang lain. Bagian-bagian elektrolaring juga memantulkan sinyal-sinyal suara tersebut, sehingga terbentuklah sinyal suara yang terekam yang merupakan gabungan dari sinyal-sinyal tersebut.

Untuk hasil pengujian pada gambar 4.17 dan 4.19 dapat dilihat bahwa setiap orang menghasilkan sinyal suara yang berbeda bentuknya walaupun kata yang diucapkan adalah sama. Hal ini disebabkan cara berbicara dan komponen bunyi yang ada setiap orang berbeda-beda. Pada gambar 4.18 dan 4.20 dapat dilihat spektrum suara dari sinyal suara yang dihasilkan terlihat bahwa frekuensi yang dihasilkan oleh setiap orang meskipun berjenis kelamin sama juga berbeda.

Perbandingan antara elektrolaring yang dibuat saat ini dan elektrolaring yang dibuat sebelumnya, dapat dilihat dengan jelas pada gambar 4.17 dan 4.18 dengan gambar 4.23 dan 4.24. Sinyal suara yang dihasilkan dengan mengucapkan kata "saya" pada gambar 4.17 dan 4.18, memperlihatkan adanya suara yang terekam dan cukup tingginya amplitudo yang dihasilkan pada beberapa nilai frekuensi. Hal itu



menunjukkan bahwa adanya suara yang dihasilkan dan bisa didengar. Sedangkan pada gambar 4.23 dan 4.24 tidak memperlihatkan adanya sinyal suara yang dihasilkan dan amplitudo memiliki nilai yang hampir sama pada setiap nilai frekuensi yang ada. Hal ini dikarenakan kurang tingginya amplitudo sinyal kotak yang diberikan pada solenoid agar pemukul/*plunger* dapat memukul dengan kuat. Selain itu solenoid yang digunakan hanya bisa digerakkan dengan siklus positif saja, tidak seperti solenoid yang dibuat sekarang bisa digerakkan dalam dua siklus positif dan negatif, sehingga pukulan yang dihasilkan lebih keras dan waktu antara menarik dan mendorong pemukul/*plunger* sama besar.

Selain itu kelemahan alat yang pernah dibuat sebelumnya adalah dari segi elektronik. Kekurangannya adalah penggunaan komponen yang harganya mahal tetapi fungsi yang dihasilkan tidak lebih baik dari komponen yang harganya lebih murah. Misalnya pada elektrolaring yang dibuat sebelumnya menggunakan ATMEGA 8 untuk menghasilkan sinyal kotak. Pada elektrolaring yang dibuat sekarang sinyal kotak dihasilkan dengan menggunakan IC 555 dan beberapa komponen pasif yang harganya sangat murah.



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

BAB V

KESIMPULAN DAN

SARAN

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Sebagai penutup ada beberapa hal yang dapat disimpulkan dari tugas akhir ini. Setelah melakukan pengujian dari keseluruhan sistem pada tugas akhir ini, dan berdasarkan data yang telah didapat dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan perancangan dan pengukuran, sistem yang dibuat telah dapat menghasilkan gelombang kotak dengan frekuensi yang cukup mendekati frekuensi yang diinginkan dengan besar error sebesar 12,02% untuk frekuensi maksimum dan 11,81% untuk frekuensi minimum.
2. Untuk nilai amplitudo tegangan pada saat rangkaian terhubung ke beban solenoid, terjadi penurunan tegangan dari tegangan pada saat rangkaian tidak terhubung ke beban solenoid sebesar 10,5% frekuensi maksimum dan 9,3% untuk frekuensi minimum.
3. Frekuensi penggetar yang dihasilkan oleh rangkaian pembangkit sinyal kotak adalah antara 79,37Hz hingga 196,5Hz.
4. Rangkaian *H-bridge* mengatur kinerja *plunger* dengan frekuensi 79,37Hz hingga 196,5Hz yang dihasilkan oleh rangkaian pembangkit sinyal kotak dan amplitudo 9V sesuai nilai tegangan input pada rangkaian *H-bridge*.
5. Suara yang dihasilkan elektrolaring masih kurang jelas, dikarenakan besarnya noise yang ditimbulkan oleh kinerja mekanik alat.

5.2 Saran

Saran-saran yang dapat diberikan untuk pengembangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Gunakan jasa pembuatan mekanik alat yang bagus.
2. Untuk rangkaian power suplai, sebaiknya dirancang dengan kemampuan untuk menyuplai arus yang besar.
3. Gunakan filter suara untuk menghasilkan suara yang lebih bagus.



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Harlianto, Tantra, *"Rancang Bangun Elektrolaring Berbasis AVR Atmega 8 untuk Pasien Tuna Laring"*, Surabaya, 2010
- [2] <http://www.genericlook.com/anatomy/Larynx/>
Thursday, October 13, 2011, 4:09:03 AM
- [3] Larson, Charles R., "How The Larynx (Voice Box) Works"
<URL: <http://www.oto-hns.northwestern.edu/Voice/Voice/How%20the%20Larynx.pdf>>, Northwestern University, USA.
Thursday, October 13, 2011, 3:43:16 AM
- [4] http://id.wikipedia.org/wiki/Penguat_operasional
Thursday, October 13, 2011, 3:43:16 AM
- [5] <http://id.wikipedia.org/wiki/Magnet>
Thursday, October 13, 2011, 3:43:16 AM
- [6] <http://home.comcast.net/~wnor/lesson11.htm>
Thursday, October 13, 2011, 4:06:26 AM
- [7] [http://www.singwise.com/cgi-bin/main.pl?section= articles&doc =LarynxStructureAndFunction](http://www.singwise.com/cgi-bin/main.pl?section=articles&doc=LarynxStructureAndFunction)
Thursday, October 13, 2011, 4:10:52 AM
- [8] <http://en.wikipedia.org/wiki/Solenoid>
Tuesday, November 08, 2011, 12:03:23 PM
- [9] [http://www.play-hookey.com/ analog/ square_ wave_ generator .html](http://www.play-hookey.com/analog/square_wave_generator.html)
Tuesday, November 08, 2011, 12:33:23 PM
- [10] <http://www.obat-penyakit.comkanker-laring.html>
Tuesday, November 08, 2011, 12:53:23 PM

- [11] [http://www.news-mdeical.net/health/Laryngeal-Cancer-What-is-Laryngeal-Cancer-\(Indonesian\).aspx.htm](http://www.news-mdeical.net/health/Laryngeal-Cancer-What-is-Laryngeal-Cancer-(Indonesian).aspx.htm)
Tuesday, November 08, 2011, 15:03:23 PM
- [12] <http://fatchul-uny.blogspot.com/2010/03/agar-para-penderitatauna-larynx-dapat.html>
Tuesday, November 08, 2011, 22:03:23 PM
- [13] <http://www.national.com/ds/LM/LMC7660.pdf>
Friday, June 03, 2011, 11:07:18 PM
- [14] Hong-Shik Choi, Yong Jae Park, Sung Min Lee, and Kwang Moon Kim. 2001. *Functional Characteristics of a New Elektrolaring "Evada" Having a Force Sensing Resistor Sensor*. Department of Otorhinolaryngology, The Institute of Logopedics and Phoniatrics, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea; Division of Medical Engineering, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea
- [15] Liu, Hanjun, dan Ng, Manwa. L. 2006. *Elektrikarync in Voice Rehabilitation*. Department of Communication Sciences and Disorders, Northwestern University, 2240 Campus Drive, Evanston, IL 60208, USA Division of Speech and Hearing Sciences, The University of Hong Kong, Hong Kong, China
- [16] Heather L. Kubert, Cara E. Stepp, Steven M. Zeitels, John E. Gooley, Michael J. Walsh, S.R. Prakash, Robert E. Hillman, James T. Heaton, 2008. *Electromyographic Control of a Hands-Free Elektrolaring using Neck Strap Muscles*. The Institute of Logopedics and Phoniatrics, Yonsei University College of Medicine: Seoul, Korea.
- [17] <http://fahmizaleeits.wordpress.com/2011/12/04/driver-motor-dc-pada-robot-beroda-dengan-konfigurasi-H-bridge-mosfet/>
Friday, June 03, 2011, 11:07:18 PM
- [18] <http://www.google.co.id/url?sa=t&rct=j&q=frekuensi+suara+yang+dihasilkan+manusia&source=web&cd=1&ved=0CCAQFjAA&url=http%3A%2F%2Flecturer.ukdw.ac.id%2Fanton%2Fdo>

wnload%2Fmultimedia3.pdf&ei=c7AkT_u9KYvKrAe1zOCcC
A&usg=AFQjCNEyI_B9YRq6x_d5ZYex2wu72S31fg
Friday, June 03, 2011, 11:07:18 PM

- [19] <http://id.wikipedia.org/wiki/Induktor>
Monday, October 31, 2011, 4:59:59 PM



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

RIWAYAT HIDUP PENULIS

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis dilahirkan di Pekanbaru pada tanggal 17 Juni 1988 bernama Ahmad Delfhin Ananta. Putra pertama dari empat bersaudara. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif sebagai anggota kegiatan komunitas robot di Jurusan Teknik Elektro dan ITS dari tahun 2010 sampai sekarang.

Riwayat Pendidikan :

- Teknik Elektro Politeknik Universitas Andalas, angkatan 2006,
- SMAN 9 Pekanbaru, Kec. Lima puluh, Riau, lulus tahun 2006,
- SMPN 1 Pekannbaru, Kec. Lima puluh, Riau, lulus tahun 2003,
- SDN 007 Kec. Tampan, Pekanbaru, Riau, lulus tahun 2000.