

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT UKUR VISKOSITAS  
OLI DENGAN GELOMBANG ULTRASONIK**

**TUGAS AKHIR**

Oleh :  
**AGUS KADARMANTO**  
0001100111 – 93

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**MALANG**  
**2007**

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT UKUR VISKOSITAS  
OLI DENGAN GELOMBANG ULTRASONIK**

**TUGAS AKHIR**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Oleh :  
**AGUS KADARMANTO**  
0001100111 – 93

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2007**





**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**  
**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT UKUR VISKOSITAS**  
**OLI DENGAN GELOMBANG ULTRASONIK**

Oleh :  
**AGUS KADARMANTO**  
**0001100111 – 93**

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji  
Pada tanggal .....  
Dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang fisika

**Pembimbing I**

**Dr. -Ing Setyawan P.S, M.Eng**  
**NIP. 131 879 401**

**Pembimbing II**

**Drs. Hari A. Dharmawan, M.Eng**  
**NIP. 132 125 706**

**Mengetahui,**  
**Ketua Jurusan Fisika**  
**Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

**Drs. Adi Susilo, PhD.**  
**NIP.131 960 447**





**LEMBAR PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

**Nama** : Agus Kadarmanto  
**NIM** : 0001100111-93  
**Jurusan** : Fisika  
**Penulisan Tugas Akhir berjudul** : Perancangan dan Pembuatan  
**Alat Ukur Viskositas Oli dengan Gelombang Ultrasonik**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari tugas akhir yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam Tugas Akhir ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata Tugas Akhir yang saya tulis terbukti menjiplak, maka saya bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 20 Juni 2007  
Yang menyatakan;

(Agus Kadarmanto)  
NIM. 0001100111 – 93



# PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT UKUR VISKOSITAS OLI DENGAN GELOMBANG ULTRASONIK

## ABSTRAK

Oli sangat vital bagi kendaraan bermotor, karena oli berfungsi sebagai *protection* yaitu, memberikan lapisan (film) untuk melindungi metal bergerak dari keausan, meminimalisasi kemacetan pada komponen yang bergerak dari panas, yang diakibatkan oleh gesekan. Setiap mesin membutuhkan oli dengan kualitas dan kekentalan yang berbeda-beda, maka diperlukan pengujian untuk mengetahui kekentalan oli. Dengan dilakukannya penelitian ini, kita dapat mengetahui kekentalan oli dari respon amplitudo yang dihasilkan oleh gelombang ultrasonik berdasar dari serapan energi gelombang ultrasonik oleh oli. Adapun manfaat yang didapat dari penelitian ini ialah dihasilkan alat pengukur kekentalan oli dengan efisiensi tinggi dan praktis, membantu pemilik kendaraan bermotor untuk menentukan apakah oli pada kendaraannya masih memiliki kekentalan yang sesuai dengan kendaraannya, ketika kendaraan tersebut telah digunakan dalam beberapa waktu yang lama, sehingga kerusakan pada kendaraan tersebut dapat dicegah, mengurangi polusi udara dari kendaraan bermotor yang diakibatkan oleh penggunaan oli yang tidak tepat, sebagai penelitian awal untuk menemukan metode baru dalam mengukur kekentalan zat cair dengan menggunakan transduser ultrasonik. Sedangkan besaran yang terbaca pada alat ukur adalah Amplitudo gelombang ultrasonik. Amplitudo gelombang ultrasonik menggambarkan besarnya tegangan yang diterima oleh transduser setelah melalui oli, semakin tinggi kekentalan oli semakin tinggi tegangannya, hal ini dikarenakan gelombang ultrasonik yang merambat pada suatu medium akan lebih mudah merambat dalam medium yang lebih rapat dibanding dengan medium yang renggang. Oleh karena itu getaran yang diterima oleh transduser penerima akan lebih kuat pada bahan medium rapat dibanding dengan bahan bermedium renggang, dan hasil amplitudo keluaran akan lebih besar pada medium rapat dibanding pada medium renggang. Alat yang digunakan pada percobaan ini terdiri dari catu daya, pembangkit gelombang ultrasonik, transduser ultrasonik yang berfungsi sebagai pengirim dan penerima gelombang ultrasonik yang ditempatkan pada kotak oli, penerima gelombang ultrasonik, yang merupakan penguat tegangan, penyearah tegangan dan multimeter.



# DESIGNING AND MANUFACTURING OF VISCOSITY MEASUREMENT FOR LUBRICATING OIL BY USING ULTRASONIC WAVE

## ABSTRACT

Lubricating oil is the most important part for automotive because it functioned as protection that gives layer (film) to protect metal move from worn-out, minimalizing stagnation from moving component from heat that is caused by friction. Any machine needs lubricating oil by different quality and viscosity so that there should be any examination to know the viscosity of lubricating oil. By having this project, we able to know the viscosity of lubricating oil from amplitudo response resulting in ultrasonic wave base on energy absorption of ultrasonic wave by lubricating oil. The uses that would be obtained from this project are manufacturing of viscosity measurement for lubricating oil with high efficient and practice. Beside it is helping the owner of automotive to determine whether lubricating oil in his vehicle still has appropriate viscosity when it is used in long time so that damage in vehicle can be avoided. Furthermore, it reduces air pollution from automotive that is used by inappropriate lubricating oil usege. As the initial project to find the new method in measuring liquid viscosity by using ultrasonic transducer as measuring sensor, while value read in measuring instrument is ultrasonic amplitude of wave. Amplitude in ultrasonic wave draws the magnitude receiving by transducer after passing lubricating oil, high lubricating oil viscosity, and the strain also high. It is caused by ultrasonic wave better to spreads in dense medium than in wide apart medium. Therefore, accepted vibration by received transducer would be stronger in dense medium that in wide apart medium. The tool that is used in this project comprises of power rotation, ultrasonic wave generator, ultrasonic transducer function as transmitter and receiver ultrasonic wave that is located in lubricating oil box, receiver of ultrasonic wave, which represent lasing of tension, rectifier of multimeter and tension.



## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, taufik, hidayah serta inayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir / Skripsi dengan judul “Perancangan dan Pembuatan Alat Ukur Viskositas Oli dengan Gelombang Ultrasonik”.

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam meraih gelar Sarjana Sains (S.Si) dalam bidang ilmu Fisika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Malang

Penyusun menyadari bahwa Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik karena adanya bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penyusun menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Adi Susilo, Ph.D, selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Dr.-Ing. Setyawan P.S., M.Eng., selaku pembimbing I yang banyak memberikan dorongan, arahan dan bimbingan dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Drs. Hari Arief. Dharmawan., M.Eng., selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan dorongan, arahan dan bimbingan dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak, Ibu, Pak De, Pak Lek, Kakak, Adik-adikku dan saudara-saudaraku serta semua keluarga di rumah yang selalu memberikan nasehat, semangat, serta doa semoga kelak penyusun bisa membalasnya dan semoga Allah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada mereka.
5. Seluruh bapak dan ibu dosen fisika yang telah banyak memberikan ilmu-ilmu yang dimilikinya kepada penulis.
6. Teman-teman ngelab (Mas Bagus, Mas Ribby, Mbak Mamik, Mbak Yuswan, Mbak Atik,.....) yang telah sama-sama ngelab dari pagi sampai sore, dari malam sampai pagi.
7. Teman-teman fisika 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 dan 2005 yang telah banyak memberikan arahan dan fasilitas.
8. Teman seperjuangan Arif Fathqur Rohman selama mengerjakan tugas akhir sebagai teman ngobrol, canda dan cerita menariknya

9. Teman-teman di jln Mayjen panjaitan 17A No 86 tetap rukun dan saling tolong-menolong untuk terwujudnya suatu kebersamaan.
10. Semua yang ada di Kertoleksono 66, terima kasih atas bantuannya, dan semua permasalahan hidup yang pernah ada disana.
11. Teman-teman yang pernah ada di Gajahyana 11A.
12. Moh. Sholihul Hadi yang mau mengajariku cara merangkai komponen elektronika.
13. Semua pelatih dan teman-teman di RTD atas didikan dan kebersamaannya dari hari ke hari, dari bulan ke bulan dan dari tahun ke tahun semoga ilmu ini terus berkembang dan bermanfaat seiring berjalannya waktu ke masa depan.
14. For my *Greed's*.....
15. *My Dream Friends* (Prianda Milani, Jimmy, Noer Farida Ahmad, Nanik, Ida Ifana, Uli, Ana Maryana, Sri Nur Rosidah, Siti Nur Hanis,.....) kehadiran kalian telah memberi warna tersendiri dalam hidupku.
16. *Specially for my sister*, Dwi Yeny Rohimah, yang telah memberiku semangat untuk menyelesaikan laporan ini

Penyusun menyadari bahwa laporan ini jauh dari sempurna, jika di dalam laporan ini terdapat kebenaran maka itu semua merupakan hidayah dari Allah SWT, dan jika terdapat kesalahan, merupakan kekhilafan penulis sebagai makhluk yang lemah dan penuh khilaf.

Akhirnya penulis berharap semoga Laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat serta hidayah kepada kita semua.

Malang, 31 Mei 2007

Penyusun

DAFTAR ISI

Halaman

**HALAMAN JUDUL..... i**  
**HALAMAN PENGESAHAN ..... iii**  
**HALAMAN PERNYATAAN ..... v**  
**ABSTRAK..... vii**  
**ABSTRACT ..... ix**  
**KATA PENGANTAR ..... xi**  
**DAFTAR ISI..... xiii**  
**DAFTAR GAMBAR ..... xvi**  
**DAFTAR TABEL..... xvii**  
**DAFTAR GRAFIK ..... xviii**  
**DAFTAR LAMPIRAN ..... xix**

**BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang ..... 1  
 1.2 Perumusan Masalah ..... 3  
 1.3 Batasan Masalah ..... 3  
 1.4 Tujuan Penelitian ..... 3  
 1.5 Manfaat Penelitian ..... 4

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Gelombang ..... 5  
 2.2 Gelombang Mekanis ..... 5  
 2.3 Gelombang Bunyi ..... 6  
 2.4 Kecepatan Gelombang Bunyi..... 7  
 2.5 Intensitas Gelombang Bunyi ..... 8  
 2.6 Atenuasi Gelombang ..... 9  
 2.7 Gelombang Ultrasonik ..... 10  
 2.8 Viskositas ..... 11  
 2.9 Hukum Stokes ..... 12  
 2.10 Jenis-Jenis Oli ..... 13  
 2.11 Efek Piezoelektrik ..... 14  
 2.12 Transduser Ultrasonik ..... 15  
 2.13 IC Timer 555 ..... 15  
 2.14 Rangkaian Monostable ..... 18  
 2.15 Rangkaian Astable ..... 19  
 2.16 Penguat Operasional..... 21

2.17	Karakteristik Penguat Operasional (Op Amp).....	23
2.18	Inverting Amplifier.....	24
2.19	Non-Inverting Amplifier .....	25
2.20	Integrator .....	26
2.21	Diferensiator .....	27

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	29
3.2	Alat dan Bahan Penelitian .....	29
3.3	Perancangan dan Pembuatan Alat .....	30
3.3.1	Diagram blok sistem .....	30
3.3.2	Tranduser ultrasonik .....	31
3.3.3	Rangkaian pembangkit gelombang.....	31
3.3.4	Rangkaian penerima .....	32
3.3.5	Rangkaian deteksi gelombang ultrasonik .....	34
3.4	Pengujian Alat Ukur .....	
3.4.1	Pengujian tranduser ultrasonik.....	34
3.4.2	Pengujian rangkaian pembangkit gelombang ultrasonik .....	35
3.4.3	Pengujian rangkaian penerima gelombang ultrasonik .....	36
3.4.4	Pengujian keseluruhan alat .....	37
3.5	Prosedur Penelitian.....	38

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1	Sistem Kerja Alat .....	41
4.2	Karakteristik Alat .....	41
4.3	Data Hasil Percobaan .....	42
4.3.1	Data hasil percobaan menggunakan gelombang ultrasonik .....	42
4.3.2	Pengulangan dengan menggunakan gelombang ultrasonik.....	43
4.3.3	Data hasil percobaan dengan Menggunakan hukum stokes .....	44
4.4	Pembahasan .....	
4.4.1	Analisa data .....	45
4.4.2	Analisa hasil .....	46
4.4.3	Grafik.....	54
4.4.4	Analisa grafik .....	56

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran .....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>59</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>61</b>



**DAFTAR GAMBAR**

**Halaman**

Gambar 2.1	Rangkaian internal Ic 555.....	16
Gambar 2.2	Rangkaian pewaktu monostable .....	19
Gambar 2.3	Rangkaian osilator astable .....	20
Gambar 2.4	Bentuk gelombang pada rangkaian astable multivibrator .....	21
Gambar 2.5a	Diagram blok internal dari penguat operasional.....	22
Gambar 2.5b	Simbol penguat operasional.....	22
Gambar 2.5c	Diagram pin penguat operasional .....	22
Gambar 2.6	Untai ekuivalen ideal penguat operasional .....	23
Gambar 2.7	Penguat inverter.....	24
Gambar 2.8	Penguat non-inverter.....	25
Gambar 2.9	Integrator .....	26
Gambar 2.10	Diferensiator .....	28
Gambar 3.1	Diagram blok sistem sitem alat ukur viskositas oli	30
Gambar 3.2	Tranduser ultrasonik.....	31
Gambar 3.3	Rangkaian pemancar gelombang ultrasonik.....	32
Gambar 3.4	Rangkaian penerima gelombang ultrasonik.....	33
Gambar 3.5	Rangkaian deteksi gelombang ultrasonik .....	34
Gambar 3.6	Pengujian tranduser ultrasonik .....	34
Gambar 3.7	Pengujian rangkaian pembangkit gelombang .....	35
Gambar 3.8	Sinyal keluaran rangkaian pembangkit gelombang .....	35
Gambar 3.9	Frekuensi rangkaian pembangkit gelombang .....	36
Gambar 3.10	Pengujian rangkaian penerima.....	36
Gambar 3.11	Sinyal masukan pada rangkaian penerima dan sinyal hasil penguatan.....	37
Gambar 3.12	Sinyal keluaran rangkaian keseluruhan .....	38
Gambar 3.13	Susunan alat uji.....	38
Gambar 3.14	Rangkaian tranduser ultrasonik .....	39



## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Pengukuran rangkaian penerima .....	37
Tabel 4.1 Amplitudo keluaran setelah melewati oli .....	43
Tabel 4.2 Pengulangan data amplitudo keluaran setelah melewati oli .....	43
Tabel 4.3 Waktu tempuh bola .....	44
Tabel 4.4 Hubungan amplitudo dan viskositas.....	45
Tabel 4.5 Pengulangan data hubungan amplitudo dan viskositas .....	46
Tabel 4.6 Koefisien penyerapan energi oleh oli.....	49
Tabel 4.7 Pengulangan data koefisien penyerapan energi oleh oli .....	49



## DAFTAR GRAFIK

### Halaman

Grafik 4.1 Hubungan viskositas dan amplitudo .....	54
Grafik 4.2 Hubungan viskositas dan amplitudo pengulangan data.....	55
Grafik 4.3 Perbedaan data awal dan pengulangan data .....	55



## DAFTAR LAMPIRAN

### Halaman

Lampiran I	: Perhitungan data percobaan dengan menggunakan gelombang ultrasonik.....	61
Lampiran II	: Perhitungan pengulangan data dengan menggunakan gelombang ultrasonik.....	67
Lampiran III	: Perhitungan data percobaan dengan menggunakan hukum stokes.....	73
Lampiran IV	: Perhitungan data koefisien penyerapan energi oleh oli.....	79
Lampiran V	: Perhitungan pengulangan data koefisien penyerapan energi oleh oli.....	85
Lampiran VI	: Gambar alat .....	91
Lampiran VII	: Rangkaian keseluruhan alat ukur viskositas Oli dengan gelombang ultrasonik.....	97
Lampiran VIII	: Transduser ultrasonik.....	99
Lampiran VIII	: Data sheet .....	101





## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada abad ini ilmu pengetahuan dan teknologi berkembang pesat, hal ini menyebabkan perubahan pola hidup manusia dalam kehidupan sehari-hari, misalnya banyak diantara mereka yang menggunakan kendaraan bermotor sebagai alat bantu dalam melakukan aktivitasnya. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, maka kebutuhan hidup manusia yang harus dipenuhi dalam waktu yang singkat juga bertambah, karena itu manusia membutuhkan metode-metode yang efisien, terutama dalam hal waktu dan tepat sasaran, biasanya manusia cenderung untuk menyatakan besaran fisis, misalnya temperatur, kekentalan, tekanan dan lain-lain menggunakan besaran listrik, alasannya kemudahan dalam pengamatan, perhitungan, penyimpanan data dan kemudahan-kemudahan lainnya.

Kendaraan bermotor, misalnya mobil dan sepeda motor yang banyak digunakan oleh manusia, memerlukan oli sebagai pelumas agar dapat berfungsi dengan baik. Oli memiliki peran vital bagi kendaraan bermotor, tanpa minyak tersebut, mesin kendaraan bisa aus, bahkan rusak. Karena kebutuhannya yang teramat vital, berbagai merek banyak ditawarkan dipasaran. Fungsi oli yang utama adalah *protection* yaitu, memberikan lapisan (*film*) untuk melindungi metal bergerak dari keausan, meminimalisasi kemacetan pada komponen yang bergerak, dan membantu mendinginkan komponen-komponen yang bergerak dari panas yang diakibatkan oleh gesekan, seandainya tidak ada pelumas, maka mesin tidak dapat berfungsi. Adanya oli maka gesekan pada metal dapat diminimalkan. Selain mencegah keausan, pelumas juga berfungsi sebagai pendingin. Jika komponen-komponen mesin saling bergesekan tanpa oli, maka timbul panas yang berlebihan. Mesin juga mendapat tekanan langsung dari piston. Pelumas berperan sebagai perapat. Tanpa oli maka gerakan turun naik piston tidak mencapai angka kompresi. Memakai oli yang tidak sesuai dengan mesin bisa membuat kompresi tidak mencapai target.

Oli sebagai pelumas mesin tentu mempunyai masa pakai yang terbatas. Ini disebabkan selama bekerja, oli tentu mengalami kondisi-kondisi seperti temperatur yang tinggi dan terkontaminasi dengan zat asing seperti aditif, kotoran (*sludge*), atau bahan-bahan lainnya.

Temperature tinggi membuat oli mengalami oksidasi. Pada setiap kenaikan suhu  $10^{\circ}\text{C}$ , oksidasi akan meningkat dua kali lipat.

Pada saat oli mengalami oksidasi, oksigen akan bereaksi dengan molekul-molekul pelumas dan menghasilkan asam dan lumpur oksidasi. Seperti yang telah diketahui, zat yang bersifat asam akan memicu terjadinya korosi. Sedangkan lumpur oksidasi menyebabkan viskositas oli jadi meningkat, tetapi viskositas indeksinya menurun. Pada tingkat yang tinggi akan membuat oli jadi lebih kental dan pada kondisi dingin, oli bisa sampai membentuk gel. Hal ini yang menyebabkan pemakai kendaraan bermotor mengalami kesulitan ketika menghidupkan mesin di pagi hari. Daya hantar panasnya juga mulai berkurang karena larutan pelumas sudah tidak satu senyawa dengan ukuran partikel yang tidak sama lagi. Oleh sebab itu, oli perlu segera diganti.

Menurut beberapa mekanik bengkel, saat mengganti oli yang tepat pada umumnya adalah 5.000 km untuk oli mineral, sedangkan untuk oli sintetik mempunyai masa pakai yang lebih panjang hingga tiga kali lipatnya. Ada satu hal yang perlu diketahui, bahwa untuk mengetahui saat yang lebih tepat mengganti oli adalah berdasarkan *work hour* (jam kerja) mesin, bukan jarak tempuh (*mileage*) kendaraan. Pada kondisi jalan yang macet, mesin terus bekerja meskipun kendaraan tidak bergerak sehingga oli pun terus bekerja melakukan tugasnya.

Setiap mesin sebenarnya membutuhkan oli dengan kualitas dan kekentalan yang berbeda-beda, maka perlu dilakukan pengujian untuk menguji tingkat kekentalan oli tersebut. Pengujian kekentalan oli tersebut juga berfungsi untuk mengetahui kelayakan oli, apakah oli masih dapat dipakai atau sudah kadaluarsa? Sebenarnya setiap pembuat mesin mempunyai oli sendiri, namun karena banyaknya mesin yang dibuat, maka banyak pula berdiri pabrik-pabrik oli di dunia, setiap produk oli sudah diuji kekentalannya oleh perusahaan yang bersangkutan dan tertera pada kemasan produknya, misalkan SAE 40. Namun bila oli tersebut disimpan dalam waktu yang lama, apalagi ditempat yang terbuka maka kemungkinan akan terjadi perubahan pada oli tersebut. Sehingga sangat baik apabila sebelum digunakan oli tersebut diuji terlebih dahulu.

Dengan adanya permasalahan tersebut maka muncullah ide penelitian untuk menemukan cara baru yang lebih mudah untuk menentukan kadar aditif atau lapisan film yang terdapat pada oli.

Transduser ultrasonik merupakan salah satu transduser yang dapat digunakan sebagai sensor untuk menganalisa respon dari penyinaran gelombang ultrasonik dalam oli, diharapkan dengan metode penyinaran gelombang ultrasonik ini dapat menjadi suatu terobosan baru dalam menemukan suatu alat ukur kekentalan oli yang lebih praktis dan terjangkau.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Dari latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana merancang pemancar gelombang ultrasonik dan penerima gelombang ultrasonik
2. Bagaimana mengetahui adanya serapan energi gelombang ultrasonik pada oli
3. Berapa besar serapan energi gelombang ultrasonik setelah melewati oli sebagai penghalang

### **1.3 Batasan Masalah**

Dalam menyusun tugas akhir ini, agar permasalahan pada perancangan dan pembuatan alat yang dibahas tidak meluas maka penyusunan laporan dibatasi sebagai berikut :

1. Alat yang dibuat digunakan hanya untuk mengetahui besar tegangan keluaran gelombang ultrasonik setelah melewati oli.
2. Penelitian tidak membahas mengenai kondisi oli setelah dilalui gelombang ultrasonik
3. Parameter kekentalan oli yang digunakan dalam penelitian ini sebagai pembanding adalah tingkat kekentalan oli.
4. Tidak membahas tentang senyawa kimia pada oli yang digunakan sebagai bahan penelitian

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang akan dicapai pada penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Merancang dan membuat alat ukur viskositas oli dengan gelombang ultrasonik
2. Mengetahui karakteristik respon amplitudo gelombang ultrasonik pada oli dengan mengukur tegangan keluaran gelombang ultrasonik setelah melewati oli.

3. Mengetahui besar tegangan keluaran gelombang ultrasonik setelah melewati oli dengan mengukur tingkat kekentalan oli.
4. Mengetahui tingkat kekentalan oli dari respon amplitudo yang dihasilkan oleh gelombang ultrasonik berdasarkan serapan energi gelombang ultrasonik oleh oli.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan didapat dari penelitian tugas akhir ini ialah :

1. Dihasilkan alat pengukur kekentalan oli dengan efisiensi tinggi dan praktis
2. Membantu para pemilik kendaraan bermotor, untuk menentukan apakah oli pada kendaraannya masih memiliki tingkat kekentalan (viskositas) yang baik, ketika kendaraan tersebut telah digunakan dalam beberapa waktu yang lama, sehingga kerusakan pada kendaraan tersebut dapat dicegah.
3. Mengurangi polusi udara dari kendaraan bermotor yang diakibatkan oleh penggunaan oli yang tidak tepat.
4. Sebagai penelitian awal untuk menemukan metode baru dalam mengukur kekentalan zat cair dengan menggunakan transduser ultrasonik, sebagai sensor pengukur.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Gelombang

Gelombang adalah getaran yang merambat. Berdasarkan medium yang dilaluinya, gelombang dibedakan menjadi gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik. Gelombang mekanik ialah suatu gangguan yang menjalar dalam suatu medium. Yang dimaksud dengan medium ialah sekumpulan benda yang saling berinteraksi dimana gangguan itu menjalar. Sedangkan gelombang elektromagnetik adalah suatu gelombang medan yang tidak memerlukan medium mekanik, karena dapat menjalar di dalam vakum. Berdasarkan arah getarannya gelombang dibedakan menjadi gelombang transversal dan gelombang longitudinal, gelombang transversal adalah gelombang yang arah rambatannya tegak lurus dengan arah getarannya, gelombang longitudinal adalah gelombang yang arah rambatan dan arah getarannya sama. (Sutrisno, 1982)

### 2.2 Gelombang Mekanis

Gelombang di medium elastis contohnya gelombang bunyi di dalam udara dapat dinamakan gelombang mekanis (mechanical wave). Gelombang mekanis berasal dari dalam pergeseran suatu bagian medium elastis dari kedudukan normalnya. Karena sifat-sifat elastis dari medium tersebut, maka gangguan-gangguan pada medium ditransmisikan dari satu lapisan ke lapisan berikutnya. Gangguan ini akan bergerak maju melalui medium, sedangkan medium itu sendiri tidak bergerak secara keseluruhan bersama gerak gelombang, semua bagian pada medium hanya berosilasi di dalam medium yang terbatas. Tenaga yang terdapat pada gelombang mekanis dapat ditransmisikan sepanjang jarak yang cukup jauh oleh gerak gelombang. Tenaga di dalam gelombang adalah tenaga kinetik dan tenaga potensial dari materi, tetapi transmisi tenaga terjadi karena gelombang tersebut dilalukan sepanjang satu bagian materi ke bagian berikutnya, bukan oleh sebuah gerak jangkauan panjang dari materi itu sendiri. Gelombang mekanis dicirikan oleh pengangkutan tenaga melalui materi, oleh gerak suatu gangguan di dalam materi tersebut tanpa suatu gerak menggumpal yang bersangkutan dari materi itu sendiri. (Halliday, 1997)

Ada beberapa perbedaan antara gelombang mekanis dan elektromagnetik yaitu untuk mentransmisikan gelombang mekanis diperlukan sebuah medium bahan, akan tetapi tidak diperlukan sebuah medium bahan untuk mentransmisikan gelombang elektromagnetik sehingga gelombang tersebut dapat lewat dengan bebas. Sifat-sifat medium yang menentukan laju sebuah gelombang yang melalui medium adalah inersia dan elastisitas medium. Semua medium bahan memiliki kedua sifat-sifat tersebut dan dapat mentransmisikan gelombang mekanis. Elastisitas medium dapat menimbulkan gaya-gaya pemulih pada setiap bagian medium yang dipindahkan dari kedudukan kesetimbangannya, sedangkan inersia medium menunjukkan bagaimana bagian yang dipindahkan dari medium tersebut akan menanggapi gaya-gaya pemulih. Kedua faktor ini akan menentukan laju gelombang. (Halliday, 1997)

### 2.3 Gelombang Bunyi

Bunyi dapat terdengar karena adanya gangguan yang menjalar ke telinga. Karena gangguan ini, selaput gendang telinga bergetar dan getaran ini diubah menjadi denyut listrik yang dilaporkan ke otak lewat urat syaraf pendengaran. Bunyi dijalar sebagai gelombang mekanik longitudinal yang dapat menjalar dalam medium padat, cair ataupun gas. Medium gelombang bunyi adalah molekul yang membentuk bahan medium mekanik. Karena adanya gangguan gelombang bunyi yang bersifat longitudinal, molekul melakukan getaran dalam arah yang sejajar dengan arah penjalaran bunyi. (Sutrisno, 1982)

Bila suatu gas, cairan, atau benda padat secara mekanis diganggu, maka akan dihasilkan gelombang bunyi. Di dalam gelombang ini, molekul-molekul zatnya bergetar dan bertumbukan satu sama lain tetapi selalu mempertahankan kedudukan rata-rata yang sama. Karena gerakannya terkoordinasi, maka sebuah gelombang dihasilkan dan ditransmisikan, walaupun tidak terjadi pergeseran netto dari partikel. (Kane W. Joseph, 1991)

Bunyi merupakan gelombang mekanik longitudinal dengan frekuensi dalam daerah pendengaran, yaitu antara 20 cps sampai kira-kira 20.000 cps. Gelombang mekanik longitudinal dengan frekuensi di bawah daerah pendengaran disebut gelombang infrasonik. Gelombang ini biasanya dihasilkan oleh sumber yang besar, misalnya gempa bumi. Untuk frekuensi diatas daerah

pendengaran, gelombang mekanik longitudinal disebut gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik dapat dihasilkan oleh getaran mekanik pada kwarsa yang diberi tegangan listrik bolak-balik dengan frekuensi ultrasonik. Dengan cara ini dapat dihasilkan gelombang mekanik dengan frekuensi setinggi  $6 \times 10^8$  cps, dengan panjang gelombang kira-kira sebesar  $5 \times 10^{-5}$  cm; sama besarnya dengan panjang gelombang cahaya. Gelombang ultrasonik sering digunakan untuk pemeriksaan kualitas produksi di dalam industri. Sumber gelombang bunyi atau gelombang sonik ialah benda yang bergetar pada frekuensi di dalam daerah pendengaran. Gelombang bunyi dapat dihasilkan oleh getaran tali atau semacamnya, oleh kolom udara yang bergetar atau oleh pelat atau membran yang bergetar. Dalam keadaan bergetar, benda berganti-ganti memadatkan udara disekitarnya pada waktu molekul udara bergerak ke depan, dan merenggangkan udara pada gerak ke arah belakang. Tumbukan antara molekul udara merupakan interaksi yang menyalurkan gangguan keluar dari sumber. Setelah masuk telinga, gelombang ini terdengar sebagai bunyi. (Sutrisno, 1982)

Gelombang bunyi merupakan gelombang tiga dimensi, karena medium gelombangnya bersifat tiga dimensi. Jadi gelombang bunyi dapat menjalar di dalam ruang tiga dimensi. Suatu sumber titik di permukaan air (medium dua dimensi) menghasilkan gelombang lingkaran; artinya, muka gelombangnya berbentuk lingkaran. Dalam medium tiga dimensi, sumber titik akan menghasilkan gelombang bola, artinya muka gelombang, yaitu tempat kedudukan titik-titik dalam medium dengan fasa sama mempunyai bentuk bola; suatu sumber berupa pelat yang bergetar akan menghasilkan gelombang dengan muka gelombang berupa bidang datar. Gelombang semacam ini disebut gelombang datar. (Sutrisno, 1982)

## 2.4 Kecepatan Gelombang Bunyi

Kecepatan gelombang bunyi bergantung pada sifat-sifat medium, tetapi tidak bergantung pada gerak relatif sumber gelombang terhadap medium, sehingga kecepatan gelombang bunyi dipengaruhi oleh parameter karakteristik medium yang dilewati seperti suhu, komposisi materi, tekanan, volume dan kerapatannya. Gelombang bunyi dapat merambat melalui zat antara yang berlainan seperti zat padat, zat cair dan zat gas. Di dalam zat padat kecepatan gelombang bunyi adalah:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2.1)$$

dengan E adalah modulus Young zat padat dan  $\rho$  adalah rapatnya. Di dalam suatu zat cair maka kecepatan gelombang bunyi adalah :

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (2.2)$$

dengan B adalah modulus limbak. Sedangkan di dalam suatu zat gas, kecepatan gelombang bunyi tersebut adalah :

$$v = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} \quad (2.3)$$

Dengan p adalah tekanan tak terganggu dan  $\gamma$  sama dengan  $c_p / c_v$ , nisbah bahan jenis gas pada tekanan tetap terhadap bahan jenis gas pada volume tetap. Untuk kecepatan gelombang bunyi di dalam gas ideal dengan massa molekul M dan temperatur mutlak T, kecepatan gelombang bunyi dinyatakan oleh:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (2.4)$$

dimana R adalah tetapan gas, dan  $\gamma$  adalah nisbah kalor jenis. Kecepatan gelombang bunyi dalam udara pada suhu  $0^\circ\text{C}$  adalah 331 m/s. Kecepatan ini bertambah besar sebanyak 0,61 m/s kalau suhu naik satu derajat celcius. Lebih tepat lagi, kalau  $v_1$  adalah laju pada suhu  $T_1$  dan  $v_2$  adalah laju pada  $T_2$ , maka terdapat hubungan:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \quad (2.5)$$

Kecepatan gelombang bunyi boleh dikatakan tidak tergantung pada tekanan, frekuensi dan panjang gelombang. (Cromer,1994)

## 2.5 Intensitas Gelombang Bunyi

Kekerasan suatu bunyi dihubungkan pada tenaga yang dibawa oleh gelombang bunyi. Kekerasan suatu bunyi adalah suatu impresi subjektif yang diberikan seorang pendengar pada bunyi tertentu, sedangkan tenaga gelombang bunyi adalah suatu besaran fisis objektif. (Cromer, 1994)

Dari segi geometri bunyi dikatakan merambat tidak lain adalah bentuk gelombang dari bunyi tersebut, sedangkan dari sudut fisika, yang merambat adalah suatu energi. Intensitas suatu gelombang yang merambat didefinisikan sebagai jumlah rata-rata energi yang diangkut oleh gelombang lewat satu satuan permukaan dan dalam satu satuan waktu dengan permukaan ini tegak lurus pada arah rambatan. Energi dalam suatu medium yang dilalui gelombang bunyi sebagian adalah energi potensial, yaitu, yang terdapat dalam energi kompresi medium, dan sebagian lagi berupa energi kinetik, yaitu yang terdapat dalam gerak seluruh partikel medium. Di dalam sembarang volum yang kecil, perbandingan antara kedua bentuk ini selalu berubah-ubah, tetapi jumlah totalnya tidak berubah. (sears,1980)

Intensitas suatu bunyi dapat ditentukan secara eksperimental dengan mengukur tenaga  $E$  yang datang pada suatu detektor (misalnya mikrofon) dalam waktu  $t$ . Dengan demikian intensitas sama dengan tenaga tersebut dibagi oleh waktu dan oleh luas  $A$  dari detektor.

$$I = \frac{E}{At} \quad (2.6)$$

Sedangkan untuk gelombang bunyi beramplitudo  $A$ , berfrekuensi  $f$ , dan berkecepatan rambat  $v$ , pada medium yang mempunyai kerapatan  $\rho$ , mempunyai intensitas bunyi sebesar :

$$I = 2\pi^2 \cdot f^2 \cdot \rho \cdot v \cdot A^2 \quad (2.7)$$

Satuan SI dari intensitas adalah joule per meter kuadrat per detik ( $J/m^2 \cdot s$ ), atau watt per meter kuadrat ( $W/m^2$ ). (Cromer, 1994)

## 2.6 Atenuasi Gelombang

Gelombang yang merambat pada suatu medium akan mengalami penurunan intensitas yang disebut atenuasi gelombang. Penurunan intensitas gelombang disebabkan oleh beberapa mekanisme yaitu :

- **Penyebaran Gelombang**  
Atenuasi yang diakibatkan oleh penyebaran gelombang disebabkan karena selama gelombang menjalar pada suatu medium berkas gelombangnya berubah. Perubahan tersebut biasanya bertambah luas sehingga intensitas gelombangnya berkurang. Bentuk dari berkas gelombang yang dipancarkan oleh

suatu sumber gelombang tergantung pada ukuran sumber dan panjang gelombangnya. Bila ukurannya jauh lebih besar dari panjang gelombangnya, maka radiasinya berupa bidang datar.

- Absorpsi Gelombang  
Absorpsi gelombang menyebabkan terjadinya penurunan intensitas gelombang yang menjalar pada suatu medium, karena terjadi penyerapan energi yang dimiliki gelombang oleh medium, sehingga walaupun berkas gelombangnya tidak berubah, intensitas yang dimiliki oleh gelombang tersebut tetap akan mengalami pengurangan. Besarnya penyerapan energi ini tergantung pada jenis mediumnya. Parameter yang digunakan untuk menyatakan penyerapan energi ini adalah koefisien absorpsi atau koefisien atenuasi (Trisnobudi, 2000)

### 2.7 Gelombang Ultrasonik

Menurut frekuensinya gelombang akustik dibagi menjadi tiga yaitu Gelombang ultrasonik, gelombang sonik (suara) dan gelombang infrasonik. Gelombang ultrasonik adalah gelombang suara berfrekuensi tinggi yang tidak dapat didengar oleh manusia, sehingga dalam penggunaannya tidak mengganggu manusia ataupun hewan, yaitu frekuensinya diatas 20 kHz. Gelombang sonik (suara) ialah gelombang akustik yang memiliki frekuensi diantara batas pendengaran manusia yaitu antara 20 Hz sampai dengan 20 kHz. Sedangkan gelombang infrasonik ialah gelombang yang frekuensinya kurang dari 20 Hz, sehingga gelombang ini tidak dapat didengar oleh manusia. Sifat-sifat atau karakteristik dari suatu gelombang ultrasonik dipengaruhi oleh medium yang dilaluinya. Dengan mengukur sifat-sifat gelombang seperti kecepatan, atenuasi atau respon frekuensinya, gelombang ultrasonik dapat dimanfaatkan untuk menentukan keadaan medium yang dilaluinya. Metoda ultrasonik ini menggunakan intensitas yang rendah sehingga tidak mempengaruhi medium yang dilaluinya, oleh karena itu metoda ini sering disebut sebagai uji tak merusak ultrasonik. (Hadi.S, 1985)

Ultrasonik merupakan suatu gelombang berfrekuensi tinggi yang dapat dihasilkan dari bahan piezoelektrik, dimana ultrasonik ini memiliki frekuensi diatas ambang batas pendengaran manusia yaitu lebih sebesar dari 20 kHz. Bahan Piezoelektrik merupakan suatu bahan yang memiliki sifat dimana bahan tersebut akan menghasilkan

beda tegangan jika mendapatkan tekanan, begitu pula sebaliknya bahan tersebut akan menghasilkan tekanan jika diberikan beda tegangan. Dari sifat-sifat piezoelektrik ini dimanfaatkan untuk menghasilkan gelombang suara berfrekuensi tinggi dengan memberikan beda potensial pada piezoelektrik dengan arah bolak balik sehingga didapat tekanan naik turun pada bahan piezo sehingga timbul gelombang frekuensi tinggi. (T.J Mason, 1990).

## 2.8 Viskositas

Fluida adalah zat yang berubah bentuk secara kontinu (terus-menerus) bila terkena tegangan geser, betapapun kecilnya tegangan geser tersebut. Gaya geser adalah komponen gaya yang menyinggung permukaan, apabila gaya geser ini dibagi dengan luas permukaan, maka disebut tegangan geser rata-rata pada permukaan tersebut. Tegangan geser pada suatu titik adalah nilai batas perbandingan gaya geser terhadap luas dengan berkurangnya luas hingga menjadi titik tersebut. Semua fluida baik zat cair maupun gas mempunyai viskositas, meskipun zat cair kekentalannya lebih besar daripada gas. Viskositas adalah sifat fluida yang mendasari di berikannya tahanan terhadap tegangan geser oleh fluida. Hukum viskositas newton :

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}, \quad (2.8)$$

dimana  $\tau$  adalah tegangan geser antara lapisan-lapisan fluida dalam aliran laminar,  $\mu$  adalah viskositas dinamik,  $du/dy$  adalah gradien kecepatan normal. Persamaan 2.8 menyatakan bahwa untuk laju perubahan bentuk sudut fluida yang tertentu maka tegangan geser berbanding lurus dengan viskositas. Untuk viskositas kinematik di definisikan oleh :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.9)$$

dimana  $\rho$  adalah densitas fluida (Streeter L. Victor and Wylie Benjamin E, 1992).

Viskositas gas meningkat dengan suhu, tetapi viskositas cairan berkurang dengan naiknya suhu. Perbedaan dalam kecenderungan terhadap suhu tersebut dapat diterangkan dengan menyimak penyebab-penyebab viskositas. Tahanan suatu fluida terhadap

tegangan geser tergantung pada kohesinya dan pada laju perpindahan molekularnya. Cairan dengan molekul-molekul yang jauh lebih rapat daripada gas, mempunyai gaya-gaya kohesi yang jauh lebih besar daripada gas. Kohesi merupakan penyebab utama viskositas dalam cairan, dan karena kohesi berkurang dengan naiknya suhu, maka begitu pula viskositasnya. Sebaliknya, gas mempunyai gaya-gaya kohesi yang sangat kecil. Sebagian besar dari tahanannya terhadap tegangan geser merupakan akibat perpindahan momentum molekular. (Streeter L. Victor and Wylie Benjamin E, 1992).

Di dalam fluida selalu terdapat perpindahan molekul-molekul hilir-mudik melintasi suatu permukaan hayal yang kita bayangkan didalamnya. Bila satu lapisan bergerak relatif terhadap lapisan yang berdekatan, maka perpindahan momentum molekular membawa momentum dari satu sisi ke sisi yang lain sehingga timbul tegangan geser semu yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif tersebut serta cenderung untuk mempersamakan kecepatan lapisan-lapisan yang berdekatan. (Streeter L. Victor and Wylie Benjamin E, 1992).

### 2.9 Hukum Stokes

Jika zat alir yang mempunyai kekentalan mengalir melalui bola secara streamline atau bila bola bergerak di dalam zat alir yang diam, maka berkerja gaya gesekan terhadap bola. Hal ini menunjukkan bahwa gaya gesekan ditentukan berdasarkan

$$F = 6\pi\eta rv \quad (2.10)$$

Dengan  $\eta$  adalah kekentalan zat alir,  $r$  adalah radius bola, dan  $v$  adalah kecepatan relatif benda dengan zat alir. (Sears, 1980)

Jika bola mula-mula berhenti ( $v = 0$ ), lalu dilepaskan, maka gaya akibat kekentalan adalah nol pada permulaan. Gaya-gaya lain yang bekerja pada bola ialah berat bola dan gaya pengapung dari zat cair. Jika rapat bola  $\rho$  dan rapat zat alir  $\rho_0$ , maka

$$\text{berat} = mg = 4/3\pi r^3 \rho g$$

$$\text{gaya pengapung} = 4/3\pi r^3 \rho_0 g$$

karena gaya bersih ke bawah pada bola sama dengan massa dikali percepatannya, maka percepatan awal adalah

$$a_0 = \frac{\rho - \rho_0}{\rho} g \quad (2.11)$$

Akibat dari percepatan diatas, bola memperoleh kecepatan ke bawah dan oleh sebab itu mengalami gaya yang menahan, yang ditentukan oleh hukum stokes. Dengan bertambahnya kecepatan, gaya yang menahan bertambah besar, yang berbanding langsung dengan pertambahan kecepatan, pada suatu saat tercapai suatu kecepatan sehingga gaya ke bawah sama besar dengan gaya yang menahan. Maka bola tidak mempunyai percepatan lagi, bola bergerak dengan kecepatan konstan. Kecepatan ini dapat diketahui dengan menyamakan besar gaya kebawah dengan gaya yang menahan

$$4/3 \pi r^3(\rho - \rho_0)g = 6 \pi \eta r v$$

$$v = \frac{2r^2 g}{9\eta} (\rho - \rho_0) \quad (2.12)$$

Rumus ini hanya berlaku, bila besar kecepatan tidak sampai menyebabkan timbulnya turbulensi. Bila terjadi turbulensi, berarti gaya yang menahan jauh lebih besar daripada yang dihitung berdasarkan hukum stokes (sears, 1980).

### 2.10 Jenis-Jenis Oli

Pada dunia otomotif dikenal dua jenis oli (pelumas), berdasarkan bahan bakunya oli dibedakan menjadi oli mineral dan oli sintetis. Oli mineral bahan dasarnya adalah minyak bumi. Sedangkan oli sintetis adalah oli dengan bahan dasar campuran berbagai macam bahan kimia yang dibuat di laboratorium. Jenis oli ini memiliki mutu lebih tinggi bila dibandingkan dengan oli mineral.

Oli dapat dibedakan dari tingkat kekentalannya. Pada kemasan, biasanya terdapat kode huruf dan angka yang memperlihatkan tingkat kekentalan oli tersebut. Misalkan SAE 40, SAE 90, SAE 10W-50, dan seterusnya. Angka di belakang huruf menunjukkan tingkat kekentalan oli tersebut. SAE 40 menunjukkan oli itu tingkat kekentalannya 40 menurut standard SAE. Semakin tinggi angkanya maka semakin kental oli tersebut. Oli ada yang memiliki kode angka *multi grade* seperti SAE 10W-50 yang berarti oli itu memiliki tingkat kekentalan yang bisa berubah-ubah sesuai dengan besarnya suhu di sekitarnya. Huruf W di belakang angka 10 adalah singkatan dari Winter (musim dingin). Jadi jenis oli ini, mempunyai tingkat kekentalan sama dengan SAE 10 pada udara dingin, dan SAE 50 ketika udara panas. ([www.sinarharapan.co.id](http://www.sinarharapan.co.id))

### 2.11 Efek Piezoelektrik

Beberapa jenis bahan dapat menimbulkan potensial listrik jika mengalami regangan mekanis, dan sebaliknya dapat berubah dimensinya jika dikenai tegangan listrik. Hal ini dinamakan sebagai efek piezoelektrik. Efek piezoelektrik ditemukan oleh Piere dan Jacques Curie pada tahun 1880. Bahan-bahan yang dapat menimbulkan efek piezoelektrik ialah kuartz, garam Rochelle (potassium sodium tartarat), barium titanat yang dipolarisasi secara tepat, amonium dihidrogen fosfat dan bahan gula biasa.

Dari semua bahan yang menunjukkan efek piezoelektrik, tidak satupun yang mempunyai semua sifat-sifat yang dikehendaki, misalnya stabilitas, keluaran yang tinggi, tidak peka terhadap suhu dan kelembaban yang ekstrim, dan kemampuan untuk dibentuk ke bentuk yang dikehendaki. Garam Rochelle memberikan keluaran yang tinggi, tetapi memerlukan proteksi terhadap kelembaban di udara dan tidak dapat digunakan pada suhu diatas  $45^{\circ}\text{C}$  ( $115\text{ F}$ ). sedangkan Kuartz merupakan bahan yang paling stabil, meskipun keluarannya rendah. Karena sifatnya yang stabil, kuartz banyak dipakai untuk menstabilkan osilator elektronik. Kuartz sering dibentuk menjadi piringan tipis dengan kedua permukaannya dilapisi perak untuk tempat menempelkan elektrode. Tebal pelat dibentuk sedemikian rupa sampai mencapai dimensi yang memberikan frekuensi resonansi secara mekanis yang sesuai dengan frekuensi listrik yang dikehendaki. Kristal ini kemudian disatukan dengan rangkaian elektronik yang sesuai dengan mengontrol frekuensinya.

Berbeda dengan bahan-bahan piezoelektrik yang lain yang biasanya berbentuk kristal tunggal, barium titanat berkrystal banyak, jadi kristal ini bisa dibentuk dalam berbagai bentuk dan ukuran. Efek piezoelektrik tidak timbul sampai elemen ini dipolarisasi. Meskipun prosedur polarisasi yang tepat berbeda-beda tergantung pada pabrik pembuatnya. Elemen tersebut dipanaskan sampai diatas titik Curie,  $120^{\circ}\text{C}$ , dan suatu potensial tinggi dilewatkan melalui permukaan elemen. Besarnya ini tergantung pada tebal elemen dan dalam orde  $10.000\text{ V/cm}$ . Elemen tersebut kemudian didinginkan dengan voltase tetap dialirkan. Sebagai hasilnya didapatkan bahan yang mempunyai efek piezoelektrik. (Beckwith G. Thomas, Buck Lewis N, Marangoni D. Roy, 1987)

## 2.12 Transduser Ultrasonik

Transduser ultrasonik merupakan alat yang dapat mengubah sinyal listrik menjadi gelombang suara dan sebaliknya dapat mengubah gelombang suara menjadi sinyal listrik. Efek tersebut akibat adanya efek piezoelektrik yang dimiliki oleh transduser ultrasonik. Pada umumnya transduser ultrasonik ini terdapat pada mikrofon piezoelektrik, mikrofon ini dapat menghasilkan gelombang suara dalam frekuensi ultrasonik dan merupakan sebuah generator sendiri yang tidak memerlukan pencatu bias.

Mikrofon piezoelektrik terdiri dari kristal-kristal aktif yang dapat tersusun dari garam-garam rochelle atau jenis-jenis tertentu keramik piezoelektrik. Sebuah kristal dari bahan-bahan tersebut dipotong menurut bidang-bidang tertentu untuk membentuk suatu irisan, dan elektroda-elektroda lempengan dilekatkan pada kedua permukaannya sehingga menunjukkan sifat piezoelektrik. Apabila mendapatkan tekanan, maka kristal tersebut dapat berubah bentuk dan terjadi perpindahan muatan sesaat di dalam susunan kristal itu, sehingga akan menimbulkan suatu beda potensial diantara kedua pelat-pelat lempengan. Sebaliknya bila suatu potensial listrik dikenakan antara kedua permukaan kristal itu, secara fisik kristal akan berubah bentuk yang akan menimbulkan gelombang mekanik longitudinal. (Roddy. D and Coolen. J, 1984)

Apabila kristal piezoelektrik ditempatkan diantara kedua plat elektrode, bila kedua plat itu diberi gaya, kristal akan menderita tegangan dan mengalami deformasi. Dengan peristiwa deformasi ini mengakibatkan timbulnya beda potensial pada permukaan kristal, dan pengaruhnya disebut efek piezoelektrik. Muatan induksi pada kristal itu sebanding dengan gaya yang diberikan.

$$Q = dF \quad (2.13)$$

Dimana Q dalam kolom, F dalam newton, sedangkan d adalah konstanta piezoelektrik. Tegangan keluaran kristal diberikan oleh

$$E = g.t.p \quad (2.14)$$

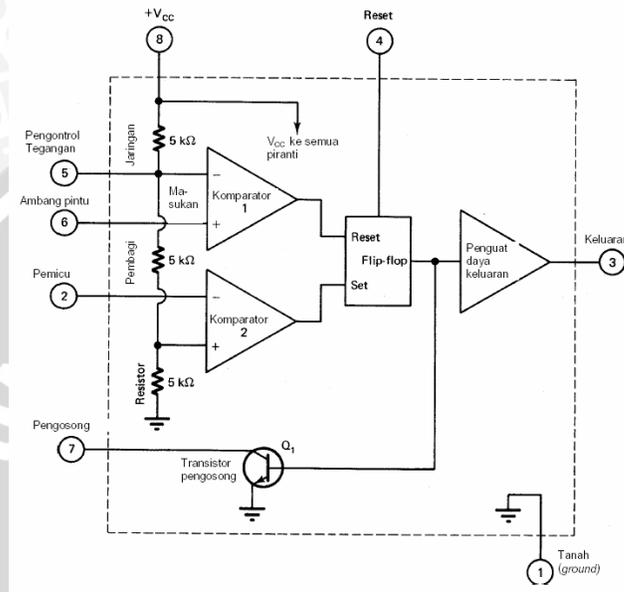
Dimana t ialah tebal kristal dalam meter, tekanan dalam newton per meter persegi, dan g disebut kepekaan tegangan. (Holman,1985)

## 2.13 IC Timer 555

IC timer 555 pertama kali dibuat oleh signetics corporation pada tahun 1971. IC timer 555 memberikan solusi praktis dan relatif

mudah untuk berbagai aplikasi elektronik yang berkenaan dengan pewaktu. IC 555 dapat diaplikasikan sebagai rangkaian pewaktu monostable dan pewaktu astable. Komponen penyusun IC 555 adalah komparator, flip-flop, transistor dan resistor.

Rangkaian internal IC 555 dapat dilihat dalam berbagai blok-blok. Dalam hal ini, chip memiliki dua komparator, sebuah bistable flip-flop, sebuah pembagi resistif, sebuah transistor pengosong dan sebuah keluaran. Pada Gambar 2.1 memperlihatkan blok fungsional IC 555.



Gambar 2.1 Rangkaian internal IC 555

Pembagi tegangan pada IC terdiri dari tiga resistor  $5\text{ k}\Omega$ . Jaringan dihubungkan secara internal ke  $+V_{CC}$  dan "tanah" dari sumber. Tegangan yang ada di resistor bagian bawah adalah sepertiga  $V_{CC}$ . Tegangan pada titik tengah pembagi tegangan sebesar dua pertiga harga  $V_{CC}$ . Sambungan ini berada pada pin 5 dan titik ini didesain sebagai pengontrol tegangan.

Dua buah komparator pada IC 555 merespon sebagai rangkaian saklar. Tegangan referensi dikenakan pada salah satu masukan pada

masing-masing komparator. Tegangan yang dikenakan pada masukan lainnya memberikan awalan terjadinya perubahan pada keluaran jika tegangan tersebut berbeda dengan harga referensi. Komparator berbeda pada dua pertiga  $V_{CC}$  dimana pin 5 dihubungkan ke tengah resistor pembagi. Masukan lain ditandai dengan pin 6 disebut sebagai ambang pintu (*threshold*). Saat tegangan pada pin 6 naik melebihi dua pertiga keluaran komparator akan menjadi positif. Ini kemudian dikenakan pada bagian *reset* dari masukan *flip-flop*.

Komparator 2 adalah sebagai referensi sepertiga dari  $V_{CC}$ . Masukan positif dari komparator 2 dihubungkan dengan bagian bawah jaringan pembagi resistor. Pin 2 eksternal dihubungkan dengan masukan negatif komparator 2. Ini disebut sebagai masukan pemicu (*trigger*). Jika tegangan pemicu jatuh di bawah sepertiga  $V_{CC}$  keluaran komparator akan berubah positif. Ini akan dikenakan pada masukan *set* dari *flip-flop*.

*Flip-flop* IC 555 termasuk jenis bistable multivibrator, memiliki masukan *set* dan *reset* dan satu keluaran. Saat masukan *reset* positif maka keluaran akan positif. Tegangan positif pada *set* akan memberikan keluaran menjadi negatif. Keluaran *flip-flop* tergantung pada status dua masukan komparator.

Keluaran *flip-flop* diumpankan ke keluaran dan transistor pengosong. Keluaran dihubungkan dengan pin 3 dan transistor pengosongan dihubungkan dengan pin 7. Keluaran adalah berupa penguat daya dan pembalik isyarat. Beban yang dipasang pada terminal 3 akan melihat apakah keluaran berada pada  $+V_{CC}$  atau “tanah”, tergantung kondisi isyarat masukan. Arus beban sebesar sampai pada harga 200 mA dapat dikontrol oleh terminal keluaran. Beban yang tersambung pada  $+V_{CC}$  akan mendapat energi saat pin 3 berubah ke “tanah”. Beban yang terhubung ke “tanah” akan “hidup” saat keluaran berubah ke  $+V_{CC}$ . Kemudian akan mati saat keluaran berubah ke “tanah”.

Transistor  $Q_1$  disebut transistor pengosongan (*discharge transistor*). Keluaran *flip-flop* dikenakan pada basis  $Q_1$ . Saat *flip-flop reset* (positif), akan membuat  $Q_1$  berpanjar maju. Pin 7 terhubung ke “tanah” melalui  $Q_1$ . Saat *flip-flop set* (negatif), akan membuat  $Q_1$  berpanjar mundur. Ini akan membuat pin 7 menjadi tak terhingga atau terbuka terhadap “tanah”. Karenanya pin 7 mempunyai dua kondisi, terhubung singkat atau terbuka. ([www.electroniclab.com](http://www.electroniclab.com))

## 2.14 Rangkaian Monostable

Pada rangkaian monostable IC didesain sedemikian rupa sehingga hanya memerlukan beberapa komponen luar untuk bekerja, diantaranya adalah resistor dan kapasitor luar (eksternal). IC 555 bekerja dengan memanfaatkan prinsip pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*) dari kapasitor melalui resistor luar. Prinsip kerja rangkaian monostable ialah rangkaian ini akan menghasilkan pulsa tunggal dengan lama tertentu pada keluaran pin 3, jika pin 2 dari komponen ini dipicu. Didalam IC 555 terdapat dua komparator yaitu comp A dan Comp B. Didalam IC 555 juga terdapat 3 resistor internal yang besarnya sama. Dengan susunan seri terhadap VCC dan GND, rangkaian resistor internal berfungsi sebagai pembagi tegangan. Susunan seri tersebut memberikan tegangan referensi yang besarnya  $2/3$  VCC pada input negatif komparator A dan  $1/3$  VCC pada input positif komparator B.

Pada keadaan tanpa input, keluaran pin 3 adalah 0 (*ground* atau *normally low*). Transistor Q1 yang ada di dalam IC ini selalu ON dan mencegah kapasitor C dari proses pengisian (*charging*). Ketika ada sinyal trigger dari 1 ke 0 (VCC to GND) yang diumpankan ke pin 2 dan lebih kecil dari  $1/3$  VCC, maka komparator B men-set keluaran flip-flop. Ini akan memicu transistor Q1 menjadi OFF. Jika transistor Q1 OFF akan membuka jalan bagi resistor eksternal R untuk mulai mengisi kapasitor C (*charging*). Pada saat yang sama output dari pin 3 menjadi *high* (VCC), dan terus *high* sampai satu saat tertentu yang diinginkan, misalkan lamanya adalah  $t$  detik, yaitu waktu yang diperlukan untuk mengisi kapasitor C mencapai tegangan  $2/3$  VCC. Tegangan C ini disambungkan ke pin 6 yang merupakan input positif comp A. Maka jika tegangan  $2/3$  VCC ini tercapai, komparator A akan men-reset flip-flop dan membuat transistor Q1 menjadi ON kembali. Pada saat yang sama keluaran pin 3 dari IC 555 tersebut kembali menjadi 0 (GND).

Lama pulsa yang dihasilkan tergantung dari nilai resistor eksternal dan kapasitor yang digunakan. Dari rumus eksponensial pengisian kapasitor diketahui bahwa :

$$V_t = VCC(1 - e^{-t/RC}) \quad (2.15)$$

$V_t$  adalah tegangan pada saat waktu  $t$ . Jika  $t$  adalah waktu eksponensial yang diperlukan untuk mengisi kapasitor sampai  $V_t =$

$2/3 VCC$ , maka persamaan (2.15) dapat disubstitusi sehingga menjadi :

$$2/3 = 1 - e^{-t/RC}$$

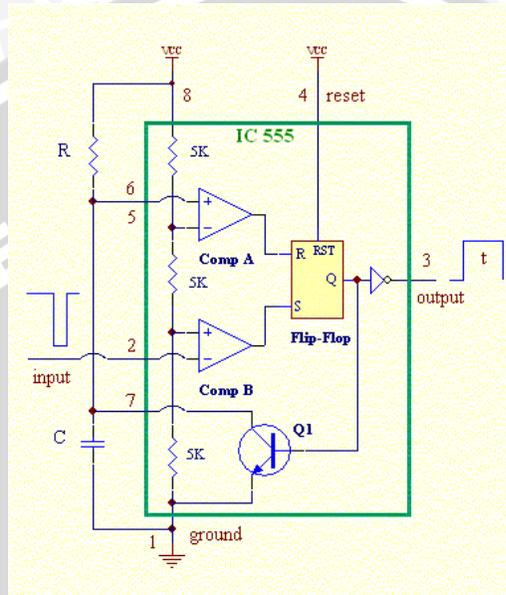
$$1/3 = e^{-t/RC}$$

$\ln(1/3) = -t/RC$  dan seterusnya dapat diperoleh

$$t = (1.0986123)RC \text{ yang dibulatkan menjadi}$$

$$t = 1.1 RC \quad (2.16)$$

Persamaan (2.16) merupakan rumus untuk menghitung lamanya keluaran pulsa tunggal yang dapat dihasilkan dengan rangkaian monostable dari IC 555.



Gambar 2.2 Rangkaian pewaktu monostable

### 2.15 Rangkaian Astable

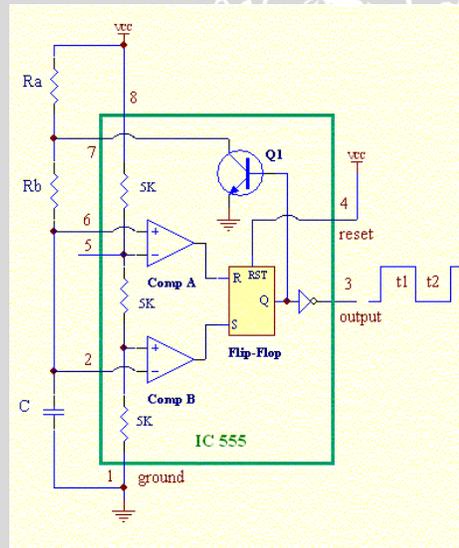
Pada rangkaian astable ada dua buah resistor  $R_a$  dan  $R_b$  serta satu kapasitor eksternal  $C$ . Prinsip kerja rangkaian astable ialah rangkaian ini dibuat agar dapat memicu dirinya sendiri berulang-ulang sehingga rangkaian ini dapat menghasilkan sinyal osilasi pada keluarannya. Pada saat power supply rangkaian ini di hidupkan, kapasitor  $C$  mulai terisi melalui resistor  $R_a$  dan  $R_b$  sampai mencapai tegangan  $2/3 VCC$ . Pada saat tegangan ini tercapai, komparator A dari IC 555

mulai bekerja mereset flip-flop dan seterusnya membuat transistor Q1 ON. Ketika transistor ON, resistor Rb seolah terhubung singkat ke ground sehingga kapasitor C membuang muatannya (*discharging*) melalui resistor Rb. Pada saat ini keluaran pin 3 menjadi 0 (GND). Ketika *discharging*, tegangan pada pin 2 terus turun sampai mencapai  $1/3 VCC$ . Ketika tegangan ini tercapai, komparator B bekerja memicu transistor Q1 menjadi OFF. Ini menyebabkan keluaran pin 3 kembali menjadi high ( $VCC$ ). Demikian seterusnya berulang-ulang sehingga terbentuk sinyal osilasi pada keluaran pin 3. Terlihat di sini sinyal pemicu (*trigger*) kedua komparator tersebut bekerja bergantian pada tegangan antara  $1/3 VCC$  dan  $2/3 VCC$ . Inilah batasan untuk mengetahui lebar pulsa dan periode osilasi yang dihasilkan. Misal diasumsikan  $t_1$  adalah waktu proses pengisian kapasitor yang diisi melalui resistor Ra dan Rb dari  $1/3 VCC$  sampai  $2/3 VCC$ . Diasumsikan juga  $t_2$  adalah waktu *discharging* kapasitor melalui resistor Rb dari tegangan  $2/3 VCC$  menjadi  $1/3 VCC$ . Dengan perhitungan eksponensial dengan batasan  $1/3 VCC$  dan  $2/3 VCC$  maka dapat diperoleh :

$$t_1 = \ln(2) (R_a + R_b)C = 0.693 (R_a + R_b)C$$

dan

$$t_2 = \ln(2) R_b C = 0.693 R_b C$$



Gambar 2.3 Rangkaian osilator astable

Periode osilator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan  $T = t_1 + t_2$ .

$$\text{Perioda} = 0,693 (R_a + 2R_b) C = \frac{1}{\text{frekuensi}}$$

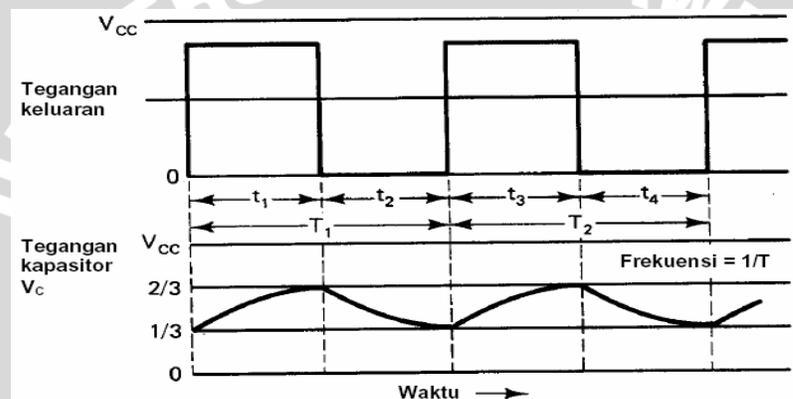
Sehingga frekuensi dari rangkaian astable dapat dihitung dengan persamaan :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1,44}{(R_a + 2R_b) C} \quad (2.17)$$

Persentasi duty cycle dari sinyal osilasi yang dihasilkan dihitung dari rumus  $t1/T$ , sehingga didapat persamaan *duty cycle* adalah

$$D = \frac{R_2}{R_4 + 2R_2} \quad (2.18)$$

Jadi jika diinginkan *duty cycle* osilator sebesar (mendekati) 50%, maka dapat digunakan resistor  $R_a$  yang relatif jauh lebih kecil dari resistor  $R_b$ . ([www.electroniclab.com](http://www.electroniclab.com))

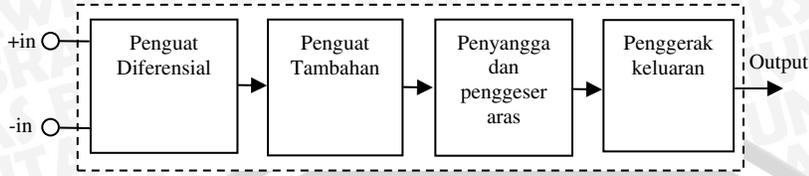


Gambar 2.4 Bentuk gelombang pada rangkaian astable multivibrator

### 2.16 Penguat Operasional

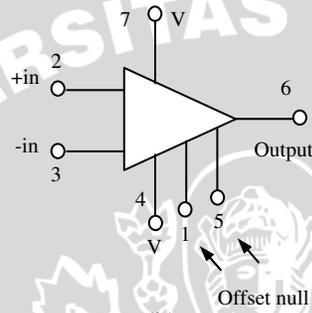
Penguat operasional (Op-Amp) adalah penguat gandeng langsung (direct coupled / dc) dengan perolehan tinggi yang mempunyai impedans masukan tinggi dan impedans keluaran rendah. Op-Amp dibentuk dari sejumlah tahap transistor pada sebuah keping tunggal dan menyediakan ciri sumber tegangan yang dikontrol oleh tegangan. Istilah operasional menunjukkan bahwa

penambahan komponen luar yang sesuai dapat dikonfigurasi untuk melakukan berbagai operasi, misalnya penambahan, pengurangan, perkalian, integrasi dan diferensial. Pada umumnya operasi-operasi ini digunakan untuk operasi linear dan terkadang operasi non linear. Gambar 2.5, menunjukkan suatu diagram blok internal, simbol dan diagram pin suatu penguat operasional.



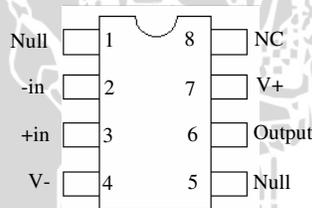
(a)

Diagram blok internal dari penguat operasional



(b)

Simbol Penguat Operasional



(c)

Diagram pin penguat operasional

Gambar 2.5

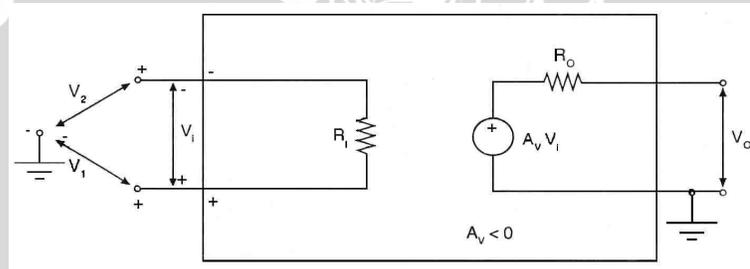
Dari sudut pandangan sinyal, penguat operasional mempunyai tiga terminal : dua terminal masukan dan satu masukan keluaran. Masukan Op-Amp yang berlabel inverting (-) dan non-inverting (+), merupakan masukan beda (difference input). Umumnya sinyal masukan diberikan ke salah satu masukan. Adapun masukan yang lain digunakan untuk mengendalikan karakteristik komponen. Penguatan antara keluaran dan masukan inverting adalah negatif (membalik polaritas) sedangkan penguatan antara keluaran dan masukan non-inverting adalah positif (tak memalik polaritas).

Op-Amp mempunyai dua tegangan catu yang berlabel +V dan -V yang sama dan berpolaritas berlawanan. Namun Op-Amp dapat juga digunakan pada tegangan catu tunggal ke salah satu pin catu, sedangkan pin catu yang lain dilatarkan (grounded).

Pin offset null digunakan untuk menghilangkan tegangan insutan (offset) keluaran akibat ketidaksepadanan transistor pada penguat beda masukan. Dengan menghubungkan kedua pin null ke ujung-ujung potensiometer yang dihubungkan ke catu -V diatur untuk menghilangkan tegangan insutan tersebut. (Widodo S.T,2002)

### 2.17 Karakteristik Penguat Operasional (Op Amp)

Diagram Op Amp pada gambar 2.5 mempunyai untai ekuivalen seperti terlihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Untai ekuivalen ideal penguat operasional

Penguat Operasional ideal mempunyai karakteristik sebagai berikut :

1. Resistansi masukan  $R_i = \infty$
2. Resistansi keluaran  $R_o = 0$
3. Peroleh Tegangan  $A_v = -\infty$
4. Lebar bidang frekuensi  $= \infty$

5. Tegangan keluaran  $V_o = 0$ , jika kedua masukan  $V_1$  dan  $V_2$  pada ujung inverting (-) dan non-inverting (+) sama, tak tergantung pada magnitudo tegangan masukan tersebut.
6. karakteristik Op-Amp tidak hanyut (drift) oleh perubahan suhu.

Terlihat bahwa penguat operasional ideal seimbang (balance) sempurna yakni  $V_o = 0$  jika  $V_1 = V_2 = 0$ . Penguat operasional riil adalah tidak seimbang karena adanya ketidaksepadanan transistor masukan. Ketidaksepadanan ini mengakibatkan ketidaksetaraan arus prasikap yang mengalir melewati ujung-ujung masukan. Untuk menyeimbangkannya perlu memberikan tegangan insut (offset) masukan antara kedua ujung masukan. (Widodo S. T, 2002)

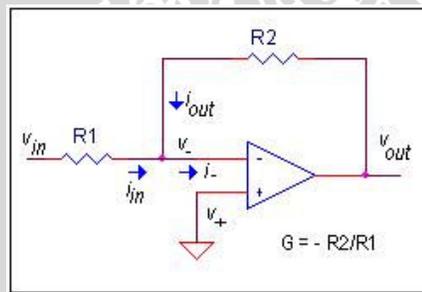
Ada dua aturan penting dalam melakukan analisa rangkaian op-amp berdasarkan karakteristik op-amp ideal, yaitu:

Aturan 1 : Perbedaan tegangan antara input  $v_+$  dan  $v_-$  adalah nol ( $v_+ - v_- = 0$  atau  $v_+ = v_-$ .)

Aturan 2 : Arus pada input Op-amp adalah nol ( $i_+ = i_- = 0$ )

### 2.18 Inverting amplifier

Rangkaian dasar penguat inverting adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7, dimana sinyal masukannya dibuat melalui input inverting. Fase keluaran dari penguat inverting ini akan selalu berbalikan dengan inputnya. Pada rangkaian ini, umpanbalik negatif di bangun melalui resistor  $R_2$ .



Gambar 2.7 Penguat inverter

Input non-inverting pada rangkaian ini dihubungkan ke ground, atau  $v_+ = 0$ . Dengan mengikuti aturan 1, maka akan dipenuhi  $v_- = v_+ = 0$ . Karena nilainya = 0 namun tidak terhubung langsung ke ground,

input op-amp  $v_-$  pada rangkaian ini dinamakan *virtual ground*. Oleh karena itu, dapat dihitung tegangan jepit pada  $R_1$  adalah  $v_{in} - v_- = v_{in}$  dan tegangan jepit pada resistor  $R_2$  adalah  $v_{out} - v_- = v_{out}$ . Kemudian dengan menggunakan aturan 2, di ketahui bahwa :

$i_{in} + i_{out} = i_- = 0$ , karena menurut aturan 2, arus masukan op-amp adalah 0.

$$i_{in} + i_{out} = v_{in}/R_1 + v_{out}/R_2 = 0$$

Selanjutnya

$$v_{out}/R_2 = - v_{in}/R_1 \dots \text{atau}$$

$$v_{out}/v_{in} = - R_2/R_1$$

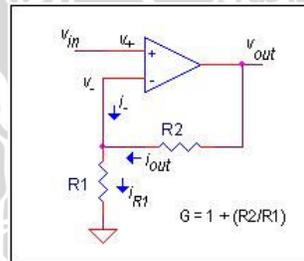
Jika penguatan  $G$  didefinisikan sebagai perbandingan tegangan keluaran terhadap tegangan masukan, maka dapat ditulis

$$G = v_{out}/v_{in} = - R_2/R_1 \quad (2.19)$$

Impedansi rangkaian inverting didefinisikan sebagai impedansi input dari sinyal masukan terhadap ground. Karena input inverting (-) pada rangkaian ini diketahui adalah 0 (*virtual ground*) maka impedansi rangkaian ini adalah  $Z_{in} = R_1$ . (www.electroniclab.com)

## 2.19 Non-Inverting Amplifier

Prinsip utama rangkaian penguat *non-inverting* adalah seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.8. Penguat ini memiliki masukan yang dibuat melalui input non-inverting. Dengan demikian tegangan keluaran rangkaian ini akan satu fasa dengan tegangan inputnya. Untuk menganalisa rangkaian penguat op-amp non inverting, caranya sama seperti menganalisa rangkaian inverting.



gambar 2.8 penguat non-inverter

Dengan menggunakan aturan 1 dan aturan 2, maka akan didapat beberapa persamaan, antara lain :

$$v_{in} = v_+$$

$$v_+ = v_- = v_{in} \text{ (aturan 1)}$$

Dari persamaan ini dapat ditentukan tegangan jepit pada  $R_2$  adalah  $v_{out} - v_- = v_{out} - v_{in}$ , atau  $i_{out} = (v_{out} - v_{in})/R_2$ . Lalu tegangan jepit pada  $R_1$  adalah  $v_- = v_{in}$ , yang berarti arus  $i_{R1} = v_{in}/R_1$ .

Hukum kirchhof pada titik input invertng menyatakan bahwa :

$$i_{out} + i_{(-)} = i_{R1}$$

Aturan 2 mengatakan bahwa  $i_{(-)} = 0$  dan jika disubsitusi ke rumus yang sebelumnya, maka diperoleh

$i_{out} = i_{R1}$  dan Jika ditulis dengan tegangan jepit masing-masing maka diperoleh

$$(v_{out} - v_{in})/R_2 = v_{in}/R_1 \text{ yang kemudian dapat disederhanakan menjadi :}$$

$$v_{out} = v_{in} (1 + R_2/R_1)$$

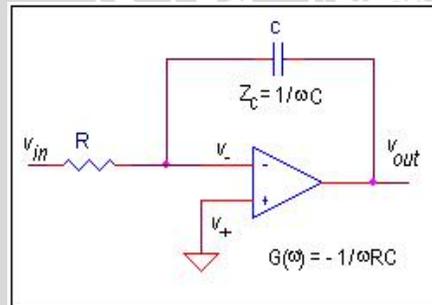
Jika penguatan  $G$  adalah perbandingan tegangan keluaran terhadap tegangan masukan, maka didapat penguatan op-amp non-inverting :

$$G = v_{out}/v_{in} = 1 + (R_2/R_1) \quad (2.20)$$

Impedansi untuk rangkaian Op-amp non inverting adalah impedansi dari input non-inverting op-amp tersebut. Dari datasheet, LM741 diketahui memiliki impedansi input  $Z_{in} = 10^8$  to  $10^{12}$  Ohm.

## 2.20 Integrator

Op-amp bisa digunakan untuk membuat rangkaian-rangkaian dengan respon frekuensi, misalnya rangkaian penapis (filter). Salah satu contohnya adalah rangkaian integrator seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9. rangkaian dasar sebuah integrator adalah rangkaian op-amp invertng, hanya saja rangkaian umpan baliknya (*feedback*) bukan resistor melainkan menggunakan kapasitor  $C$ .



Gambar 2.9 Integrator

Untuk menganalisa rangkaian integrator ini, prinsipnya sama dengan menganalisa rangkaian op-amp inverting. Untuk mengetahui besarnya penguatan rangkaian integrator, dapat menggunakan rumus dasar penguatan opamp inverting

$$G = -R_2/R_1.$$

Pada rangkaian integrator seperti pada gambar 2.9 tersebut dapat diketahui bahwa

$$R_1 = R$$

$$R_2 = Z_c = 1/\omega C$$

Dengan demikian dapat diperoleh rangkaian penguatan integrator sebesar

$$G = 1/\omega RC$$

atau agar dapat terlihat respons frekuensinya dapat juga ditulis dengan

$$G(f) = -1/2\pi fRC \quad (2.21)$$

Karena respons frekuensinya yang demikian, rangkaian integrator ini merupakan dasar dari low pass filter. Terlihat dari rumus tersebut secara matematis, penguatan akan semakin kecil (meredam) jika frekuensi sinyal input semakin besar.

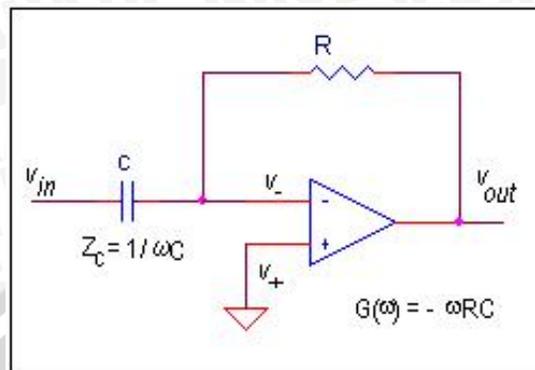
Pada prakteknya, rangkaian *feedback* integrator selalu diparalel dengan sebuah resistor dengan nilai misalnya 10 kali nilai R atau satu besaran tertentu yang diinginkan. Ketika inputnya berupa sinyal dc (frekuensi = 0), kapasitor akan berupa saklar terbuka. Jika tanpa resistor *feedback* – seketika itu juga outputnya akan saturasi sebab rangkaian umpanbalik op-amp menjadi open loop (penguatan open loop op-amp ideal tidak berhingga atau sangat besar). Nilai resistor *feedback* sebesar 10 kali nilai R akan selalu menjamin *output offset voltage* (offset tegangan keluaran) sebesar 10x sampai pada suatu frekuensi *cutoff* tertentu. ([www.electroniclab.com](http://www.electroniclab.com))

## 2.21 Diferensiator

Jika komponen C pada rangkaian penguat integrator ditempatkan di depan, maka akan diperoleh rangkaian diferensiator seperti pada gambar 2.10, dengan analisa yang sama seperti rangkaian integrator, akan diperoleh persamaan penguatannya,

$$v_{out} = -RC \, dv_{in}/dt \quad (2.22)$$

Rumus ini secara matematis menunjukkan bahwa tegangan keluaran  $V_{out}$  pada rangkaian ini adalah diferensiasi dari tegangan input  $v_{in}$ . Contoh praktis dari hubungan matematis ini adalah jika tegangan input berupa sinyal segitiga, maka outputnya akan menghasilkan sinyal kotak.



Gambar 2.10 Diferensiator

Bentuk rangkain diferensiator adalah mirip dengan rangkaian inverting. Sehingga jika berangkat dari rumus penguat inverting

$$G = -R_2/R_1$$

dan pada rangkaian diferensiator diketahui :

$$R_2 = R$$

$$R_1 = Z_c = 1/\omega C$$

maka jika besaran ini disubstitusikan akan didapat rumus penguat diferensiator

$$G(\omega) = -\omega RC \quad (2.23)$$

Dari hubungan ini terlihat sistem akan meloloskan frekuensi tinggi (*high pass filter*), dimana besar penguatan berbanding lurus dengan frekuensi. Namun demikian, sistem seperti ini akan menguatkan noise yang umumnya berfrekuensi tinggi. Untuk praktisnya, rangkain ini dibuat dengan penguatan dc sebesar 1 (*unity gain*). Biasanya kapasitor diseri dengan sebuah resistor yang nilainya sama dengan R. Dengan cara ini akan diperoleh penguatan 1 (*unity gain*) pada nilai frekuensi *cutoff* tertentu. ([www.electroniclab.com](http://www.electroniclab.com))

### BAB III METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Perancangan dan pembuatan alat ukur viskositas oli dengan gelombang ultrasonik dimulai pada tanggal 9 April 2005. Penelitian dilakukan di dua tempat yaitu: Untuk pembuatan dan pengujian alat ukur viskositas oli dengan gelombang ultrasonik serta pengukuran viskositas oli dengan menggunakan alat ukur viskositas oli dengan gelombang ultrasonik dilakukan di Laboratorium Instrumentasi dan Pengukuran. Sedangkan pengukuran viskositas oli menggunakan hukum stokes dilakukan di Laboratorium Fisika Dasar Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya Malang.

#### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini ialah :

- catu daya
- sinyal generator
- osiloskop

Catu daya berfungsi sebagai penyuplai daya listrik pada sistem alat ukur, sehingga catu daya dengan tegangan keluaran yang stabil, sangat dibutuhkan dalam penelitian ini, sinyal generator digunakan sebagai penghasil sinyal persegi pada proses pengujian transduser ultrasonik, sedangkan osiloskop berfungsi sebagai penampil sinyal pada pengujian transduser ultrasonik, rangkaian pembangkit dan penerima gelombang, serta digunakan pada pengujian keseluruhan alat, dimana sinyal pada osiloskop menggambarkan, berfungsi tidaknya alat yang telah dibuat. Pada penelitian dengan menggunakan hukum stokes alat-alat yang digunakan meliputi :

- Tabung gelas
- bola kecil
- aerometer
- mistar
- jangka sorong
- kaliper mikrometer
- timbangan
- stopwatch
- magnet



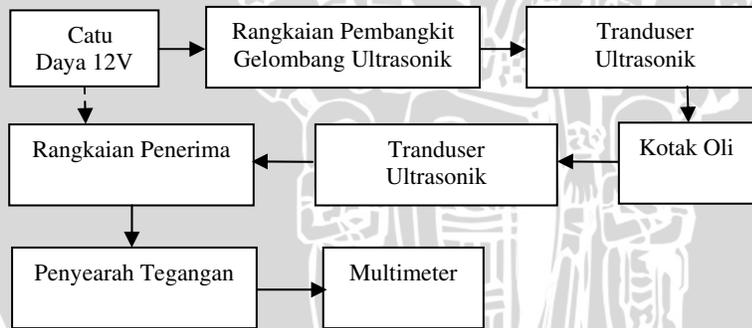
Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini ialah : sepasang tranduser ultrasonik yang berfungsi sebagai pengirim dan penerima gelombang ultrasonik, mika transparan yang merupakan bahan untuk membuat kotak oli, kotak ini digunakan sebagai tempat obyek ukur, oli yang akan diukur viskositasnya di masukkan kedalam kotak, beberapa komponen aktif dan komponen pasif elektronik, dimana komponen ini merupakan komponen penyusun dari rangkaian alat ukur viskositas oli. Bahan lain yang digunakan adalah oli dengan viskositas yang berbeda-beda, yang merupakan obyek yang akan diukur viskositasnya.

### 3.3 Perancangan dan Pembuatan Alat

Dalam penelitian ini, dirancang suatu alat yang dapat melewati gelombang ultrasonik pada medium oli. Untuk itu digunakan tranduser ultrasonik yang berfungsi sebagai pengirim dan penerima gelombang ultrasonik. Adapun susunan alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari catu daya, rangkaian pembangkit gelombang ultrasonik, pemancar gelombang ultrasonik, penerima gelombang ultrasonik yang merupakan rangkaian penguat, rangkaian deteksi gelombang ultrasonik yang merupakan penyearah tegangan dan multimeter digital, yang berfungsi sebagai penampil dari proses pengukuran.

#### 3.3.1 Diagram blok sistem

Diagram blok sistem alat ukur viskositas oli dengan gelombang ultrasonik tampak pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram blok sistem alat ukur viskositas oli

### 3.3.2 Tranduser ultrasonik

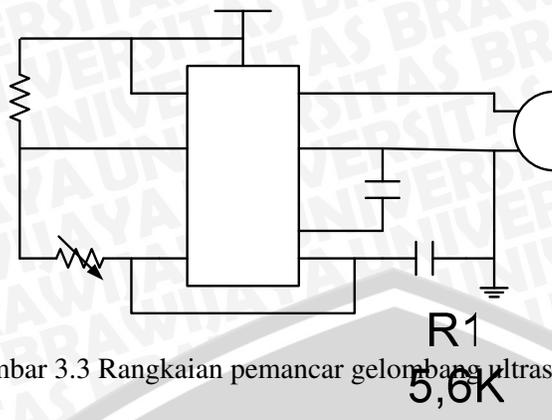
Tranduser ultrasonik yang digunakan mempunyai frekuensi resonansi  $40 \pm 1$  kHz, sehingga tranduser ini mempunyai intensitas keluaran paling tinggi pada frekuensi antara 39 kHz sampai dengan 41 kHz, dan intensitasnya akan menurun jika frekuensi yang diberikan pada tranduser ultrasonik lebih besar atau lebih kecil dari frekuensi resonansi.



Gambar 3.2 Tranduser ultrasonik

### 3.3.3 Rangkaian pembangkit gelombang ultrasonik

Rangkaian pembangkit gelombang ultrasonik adalah rangkaian multivibrator astabil dengan menggunakan komponen utama IC 555 dengan frekuensi 40 kHz dan bentuk gelombangnya adalah gelombang segi empat. Frekuensi 40 kHz digunakan karena untuk memancarkan gelombang ultrasonik, tranduser ultrasonik memerlukan frekuensi sebesar  $40 \pm 1$  kHz. Dipilih gelombang segi empat karena pada gelombang ini perubahan tegangan antara tegangan maksimum dan minimum terjadi secara drastis, sehingga daya getar yang dihasilkan tranduser lebih kuat daripada menggunakan gelombang sinusoida. Pada gelombang sinusoida perubahan tegangan maksimum dan minimum terjadi secara landai sehingga daya getar yang dihasilkan tranduser ultrasonik lebih lemah jika dibandingkan dengan gelombang segi empat. Rangkaian pemancar gelombang ultrasonik yang menggunakan rangkaian multivibrator astabil dengan komponen utama IC 555 diperlihatkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rangkaian pemancar gelombang ultrasonik

Frekuensi maksimal yang bisa dipancarkan oleh transduser ultrasonik diatur dengan menggunakan trimpot. Keluaran IC 555 dihubungkan dengan transduser ultrasonik yang berfungsi untuk mengubah sinyal listrik menjadi gelombang ultrasonik dengan frekuensi 40 kHz. Pada rangkaian ini ditentukan nilai  $R_1 = 5,6 \text{ k}\Omega$ , dengan daur tugas ( $D$ ) = 25%, maka dapat diketahui besar  $R_2$  menggunakan persamaan (2-18).

$$D = \frac{R_2}{R_4 + 2R_2}$$

$$0,25 = \frac{R_2}{5,6 \cdot 10^3 \Omega + 2R_2}$$

$$R_2 = 2,8 \text{ k}\Omega$$

Setelah mengetahui nilai  $R_2$ , maka nilai  $C_2$  dapat dihitung dari persamaan (2-17)

$$C_2 = \frac{1,44}{(R_1 + 2R_2) \cdot f}$$

$$C_2 = \frac{1,44}{(5,6 \cdot 10^3 \Omega + 2 \cdot 2,8 \cdot 10^3 \Omega) \cdot 39,9 \cdot 10^3}$$

$$C_2 = 3,21 \text{ nF} \approx 3,3 \text{ nF}$$

### 3.3.4 Rangkaian penerima

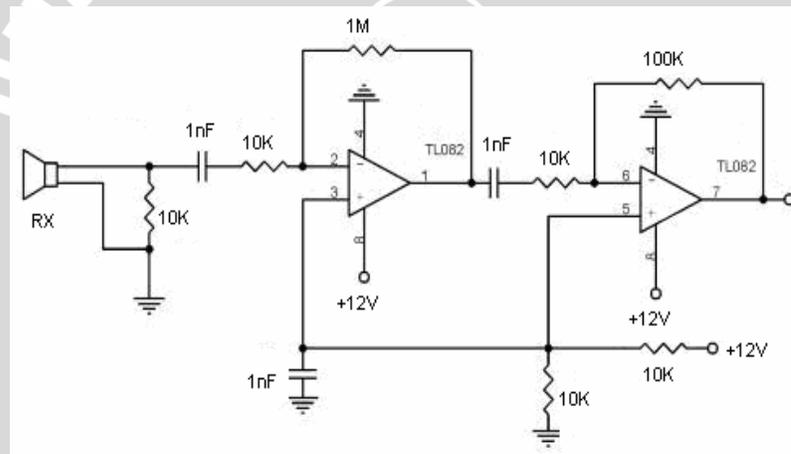
Rangkaian penerima ini berfungsi untuk menguatkan sinyal dari transduser penerima (RX). Rangkaian ini merupakan penguat

diferensiator yang disusun sedemikian rupa sehingga menghasilkan penguatan sebesar 1000 kali.

Sinyal ultrasonik yang dipancarkan oleh transduser pemancar gelombang ultrasonik diterima oleh transduser penerima gelombang ultrasonik dan kemudian dikuatkan dengan penguat tegangan sebesar 1000 kali.

Pada penguatan pertama didisain sehingga menghasilkan penguatan sebesar 100 kali dan oleh penguat tegangan yang kedua sinyal yang telah diperkuat ini dikuatkan lagi dengan penguatan sebesar 10 kali, sehingga total penguatan pada rangkaian penerima ini sebesar 1000 kali.

Tegangan bias dari opamp diatur sedemikian rupa sehingga pada tegangan 6 volt. Tegangan bias ini memungkinkan digunakannya *single suplai*. Pada rangkaian ini digunakan tegangan sebesar 12 volt. Jika menggunakan single suplai tetapi tidak terdapat tegangan bias (tegangan bias sama dengan nol) maka sinyal yang dikuatkan akan terpotong pada fase positifnya saja. Tetapi dengan adanya tegangan bias sebesar 6 volt baik fase positif maupun fase negatifnya dikuatkan dengan sempurna. Rangkaian penerima gelombang ultrasonik diperlihatkan pada gambar 3.4.

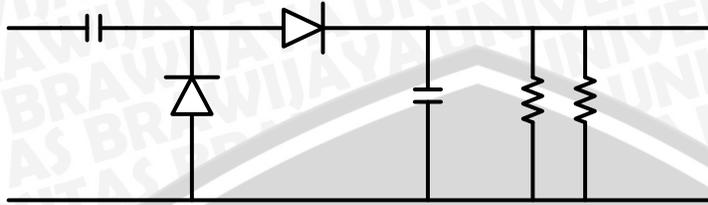


Gambar 3.4 Rangkaian penerima gelombang ultrasonik

Opamp yang digunakan pada rangkaian penerima gelombang ultrasonik adalah IC TL 082 yang berisi 2 buah opamp dalam satu kemasan.

### 3.3.5 Rangkaian deteksi gelombang ultrasonik

Rangkaian deteksi gelombang ultrasonik merupakan rangkaian penyearah gelombang penuh, yang berfungsi untuk mengubah sinyal AC dari rangkaian penerima gelombang ultrasonik menjadi sinyal DC. Sinyal DC ini akan dibaca oleh multimeter.

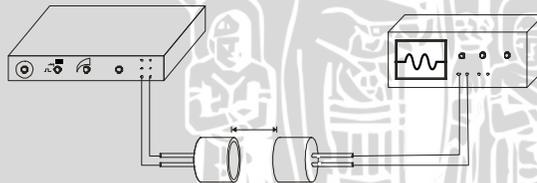


Gambar 3.5 Rangkaian deteksi gelombang ultrasonik

### 3.4 Pengujian Alat ukur

#### 3.4.1 Pengujian transduser ultrasonik

Pada pengujian transduser ultrasonik bertujuan untuk menguji kemampuan transduser pemancar ultrasonik memancarkan gelombang ultrasonik, sehingga gelombang tersebut dapat diterima oleh transduser penerima ultrasonik dan untuk mengetahui besar frekuensi resonansi yang dihasilkan oleh transduser ultrasonik. Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan sinyal generator dengan transduser pemancar ultrasonik, kemudian diamati besarnya amplitudo yang keluar dari transduser penerima ultrasonik dengan menggunakan osiloskop.



Gambar 3.6 Pengujian transduser ultrasonik

Dalam pengujian transduser ultrasonik dengan mengatur sinyal generator, sehingga sinyal masukan pada transduser pemancar gelombang ultrasonik berupa gelombang persegi dengan amplitudo tegangan sebesar 12 volt dan frekuensi 40 kHz, dengan mengatur jarak antara transduser pemancar dan penerima sebesar 3 cm, maka pada transduser penerima gelombang ultrasonik menghasilkan keluaran berupa gelombang sinus dengan amplitudo tegangan sebesar 0.8 volt dan frekuensinya 40 kHz. Hal ini menunjukkan bahwa transduser ultrasonik dapat berfungsi dengan baik.

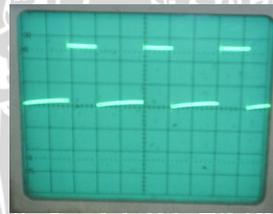
### 3.4.2 Pengujian rangkaian pembangkit gelombang ultrasonik

Pada pengujian rangkaian pembangkit gelombang ultrasonik, akan diuji apakah rangkaian ini dapat mengeluarkan gelombang segi empat dengan frekuensi 40 kHz, kemudian diamati amplitudo keluaran yang diterima oleh osiloskop. Rangkaian pembangkit gelombang dihubungkan dengan catu daya sebesar 12 volt.



Gambar 3.7 Pengujian rangkaian pembangkit gelombang

Untuk hasil pengujian rangkaian pembangkit gelombang ultrasonik setelah diberikan catu daya sebesar 12 volt menghasilkan sinyal persegi pada layar osiloskop dengan amplitudo 12 volt, dengan frekuensi gelombang sebesar 40 kHz.



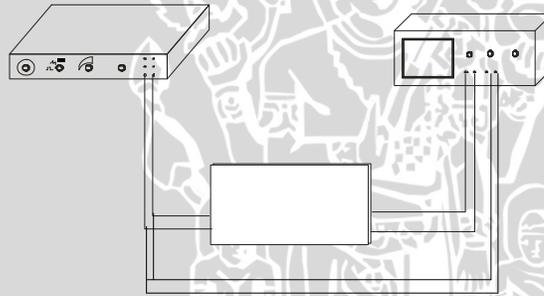
Gambar 3.8 Sinyal keluaran rangkaian pembangkit gelombang



Gambar 3.9 Frekuensi rangkaian pembangkit gelombang

### 3.4.3 Pengujian rangkaian penerima gelombang ultrasonik

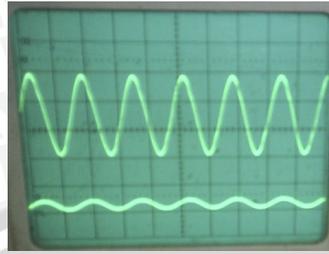
Pada pengujian rangkaian penerima, dimana dalam rangkaian penerima ini berisi rangkaian penguat sinyal dan rangkaian penguat ini akan diuji sinyal keluarannya, dengan tujuan untuk mengetahui besar penguatan yang dihasilkan oleh rangkaian penerima, bisa atau tidak menguatkan sinyal sebesar 1000 kali. Dalam pengujian ini digunakan sinyal generator sebagai masukan yang akan dikuatkan dan hasil penguatan akan ditampilkan pada osiloskop. Pada pengujian ini bentuk sinyal generator dipilih sinyal sinus dengan frekuensi 40 kHz, digunakan sinyal berbentuk sinus karena pada pengujian transduser ultrasonik sinyal yang keluar dari transduser penerima berupa sinyal sinus, sedangkan osiloskop digunakan dual kanal, kanal pertama untuk mengukur sinyal yang masuk pada rangkaian penerima dan kanal kedua untuk mengukur sinyal yang keluar dari rangkaian penerima.



Gambar 3.10 Pengujian rangkaian penerima

Untuk hasil pengujian rangkaian Penerima gelombang setelah diberikan catu daya sebesar 12 volt menghasilkan sinyal sinus pada layar osiloskop. Pada gambar 3.11, layar osiloskop menunjukkan

sinyal yang masuk rangkaian penerima, dalam hal ini digambarkan oleh gelombang sinus dengan amplitudo yang kecil, dapat dikuatkan sebesar 1000 kali, yang pada layar osiloskop digambarkan oleh gelombang sinus dengan amplitudo besar.



Gambar 3.11 Sinyal masukan pada rangkaian penerima dan sinyal hasil penguatan.

Pada pengujian rangkaian penguat 1000 kali didapatkan hasil seperti tabel 3.1:

Tabel 3.1 Pengukuran rangkaian penerima

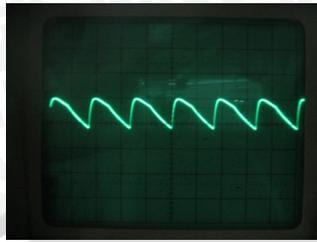
$V_{in}$ (mV <sub>pp</sub> )	$f_{in}$ (kHz)	$V_{out}$ (mV <sub>pp</sub> )	$f_{out}$ (kHz)	Penguatan terukur	Penguatan perhitungan
1	40	800	40	800	1000
2	40	1600	40	800	1000
3	40	2800	40	933,3	1000
4	40	3400	40	850	1000
5	40	4200	40	850	1000

Dari tabel 3.1 tampak bahwa penguatan dari rangkaian penerima mampu menguatkan sinyal sebesar 1000 kali.

#### 3.4.4 Pengujian keseluruhan alat

Pengujian ini dilakukan dengan merangkai seluruh alat menjadi satu sistem alat ukur, yang bertujuan untuk mengetahui berapa jarak antara transduser pemancar dan transduser penerima gelombang ultrasonik. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengatur jarak

antara transduser pemancar dan penerima, sehingga alat ini dapat digunakan untuk mengukur besarnya amplitudo gelombang ultrasonik yang melewati obyek ukur, dalam hal ini obyek ukur yang digunakan adalah oli. Dari pengujian ini diketahui bahwa jarak antara transduser pemancar dan transduser penerima adalah 4 mm.

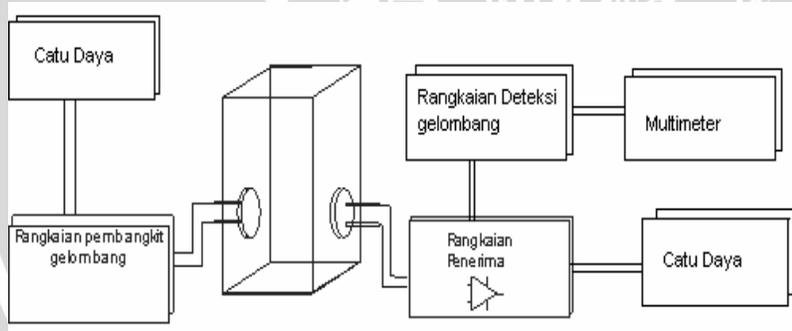


Gambar 3.12 Sinyal keluaran rangkaian keseluruhan

Pada pengujian keseluruhan, dapat diketahui bahwa rangkaian deteksi gelombang ultrasonik, yang merupakan rangkaian penyearah gelombang penuh dapat berfungsi dengan baik, sinyal yang keluar pada layar osiloskop menunjukkan, sinyal penyearah gelombang penuh. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa rangkaian sistem alat ukur ini dapat digunakan untuk mengukur amplitudo tegangan gelombang ultrasonik yang melewati obyek ukur yaitu oli.

### 3.5 Prosedur Penelitian

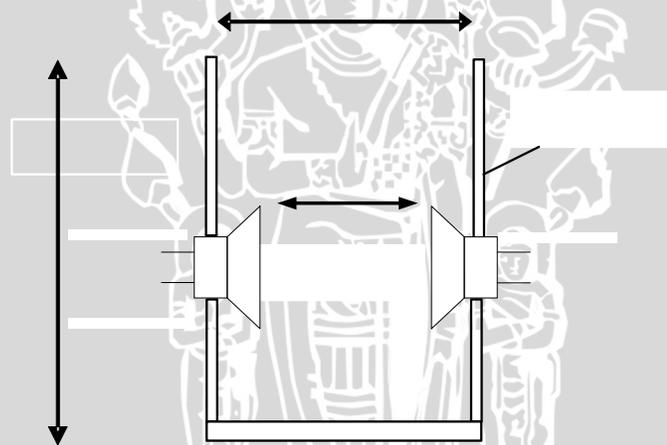
Susunan alat yang digunakan dalam penelitian seperti pada gambar 3.13 dibawah ini:



Gambar 3.13 Susunan alat uji

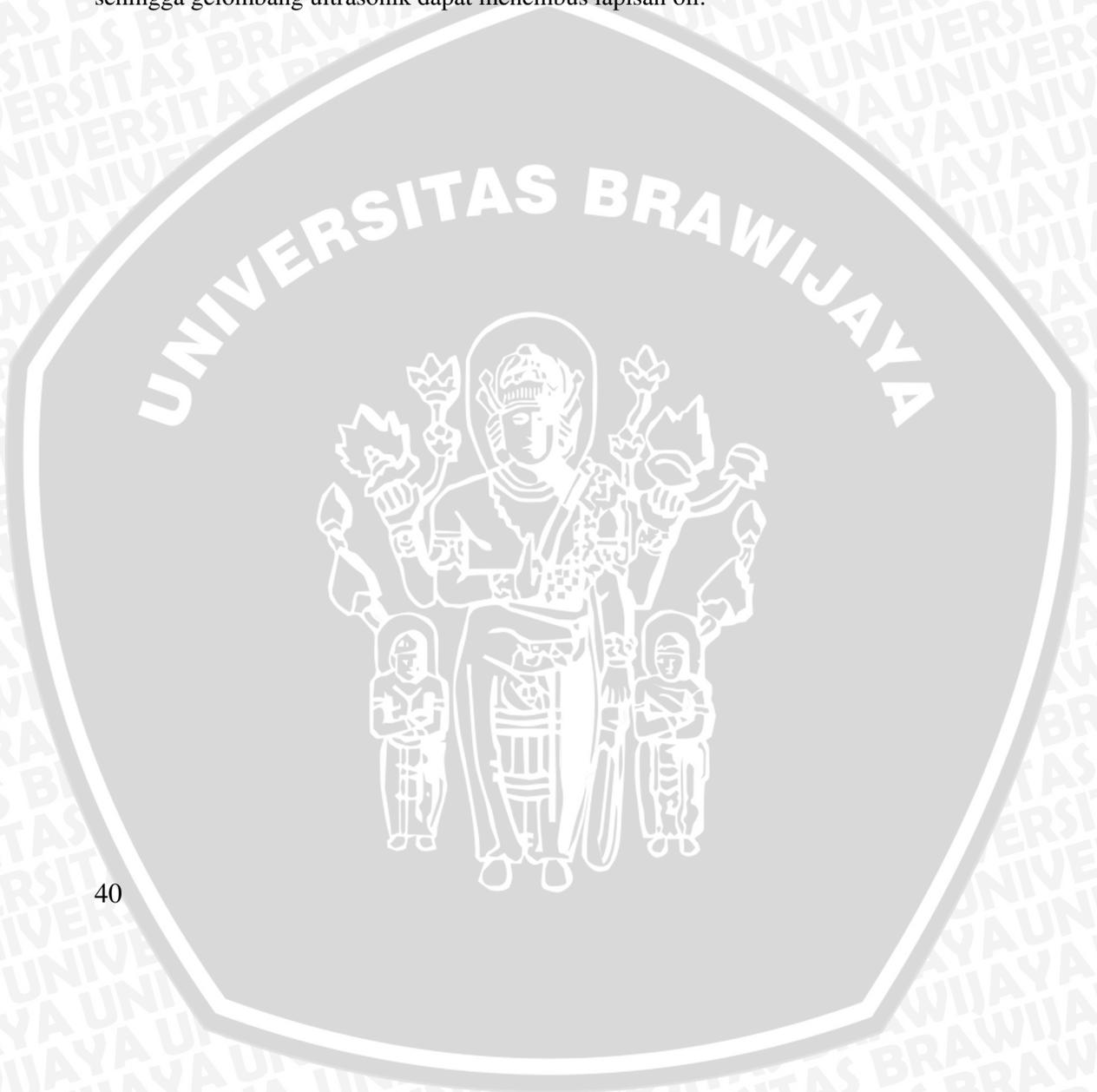
Pada proses pengambilan data, ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu : suhu pada tempat pengambilan data, pada penelitian ini suhunya sebesar  $22^{\circ}\text{C}$ , tegangan yang bekerja pada sistem pengukuran yaitu meliputi kestabilan tegangan dan besar tegangan yang terbaca oleh multimeter ketika kotak oli dalam keadaan kosong, pada penelitian ini tegangannya sebesar 3,82 volt. Setelah kedua hal diatas terpenuhi, maka dapat dilakukan proses pengukuran yaitu dengan cara mengaduk terlebih dahulu oli yang akan diukur amplitudonya dengan tujuan agar oli tersebut homogen. Oli dimasukkan ke dalam kotak oli sehingga kotak tersebut terisi penuh, tutup kotak oli dan aktifkan rangkaian pembangkit dan penerima gelombang ultrasonik, setelah 60 detik catat tegangan yang terbaca pada multimeter, ditunggu setelah 60 detik dengan tujuan agar tegangan yang terbaca pada multimeter stabil.

Catu daya berfungsi sebagai sumber tegangan DC, yang digunakan oleh rangkaian pembangkit gelombang ultrasonik untuk membangkitkan gelombang persegi dengan frekuensi 40 kHz, selain itu catu daya juga digunakan oleh rangkaian penerima gelombang ultrasonik, sehingga dapat menguatkan sinyal yang masuk sebesar 1000 kali. Pembangkit gelombang ultrasonik dihubungkan dengan transduser pemancar dan rangkaian penerima gelombang ultrasonik dihubungkan dengan transduser penerima. Adapun susunan transduser ultrasonik, seperti pada gambar 3.14



Gambar 3.14 Rangkaian transduser ultrasonik

Bagian pemancar dan penerima transduser ultrasonik di masukkan ke dalam kotak yang terbuat dari mika transparan, untuk menghindari hubungan singkat maka transduser terlebih dahulu dibungkus dengan plastik. Kotak ini mempunyai panjang 3 cm, tinggi 5 cm dan lebar 2 cm, sedangkan jarak antara transduser pembangkit dan penerima gelombang ultrasonik adalah 4 mm, dengan demikian ketebalan oli yang dilewati gelombang ultrasonik adalah sebesar 4 mm, dari hasil pengujian jarak 4 mm merupakan jarak optimal untuk transduser pembangkit dan transduser penerima sehingga gelombang ultrasonik dapat menembus lapisan oli.



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelumas adalah bahan penting bagi kendaraan bermotor. Memilih dan menggunakan pelumas yang baik dan benar untuk kendaraan bermotor, merupakan langkah tepat untuk merawat mesin dan peralatan kendaraan agar tidak cepat rusak dan mencegah pemborosan. Fungsi oli tidak hanya sebagai pelumas mesin, oli memiliki fungsi lain, yaitu sebagai pendingin, pelindung dari karat, pembersih dan penutup celah yang ada pada dinding mesin bermotor. Oli akan membuat gesekan antar komponen didalam mesin bergerak lebih halus, sehingga memudahkan mesin untuk mencapai suhu kerja yang ideal. Selain itu oli juga berfungsi sebagai fluida yang memindahkan panas ruang bakar yang mencapai 1000-1600 derajat celcius ke bagian mesin yang lain yang suhunya lebih dingin.

### 4.1 Sistem Kerja Alat

Pada dasarnya alat ini merupakan instrumen yang dapat digunakan untuk mengukur viskositas zat cair, yang memanfaatkan karakteristik amplitudo gelombang ultrasonik, ketika melewati medium. Pada penelitian ini digunakan untuk mengukur viskositas oli. Oli yang akan diukur viskositasnya, dimasukkan pada kotak oli, kemudian di dalam kotak ini dilewatkan gelombang ultrasonik. Pada kotak oli terdapat transduser ultrasonik, yang terdiri dari transduser pemancar dan transduser penerima gelombang ultrasonik. Transduser pemancar gelombang ultrasonik dihubungkan pada pembangkit gelombang ultrasonik dan transduser penerima gelombang ultrasonik dihubungkan pada penerima gelombang ultrasonik, yang merupakan rangkaian penguat sebanyak 1000 kali, sinyal dari rangkaian penerima gelombang ultrasonik dimasukkan pada detektor gelombang ultrasonik, dimana detektor ini adalah penyearah gelombang penuh, sinyal pada detektor gelombang ultrasonik akan dibaca oleh multimeter.

### 4.2 Karakteristik Alat

Alat ukur viskositas oli dengan gelombang ultrasonik, dapat melewati gelombang ultrasonik sebesar 40 kHz, pada oli yang merupakan obyek ukur. Frekuensi sebesar 40 kHz dihasilkan oleh

pembangkit gelombang ultrasonik yang dihubungkan dengan transduser pemancar gelombang ultrasonik. Pembangkit gelombang ultrasonik dihubungkan dengan catu daya sebesar 12 volt sehingga dihasilkan gelombang kotak dengan amplitudo tegangan sebesar 12 volt dengan frekuensi 40 kHz. Sinyal yang diterima oleh transduser penerima akan dikuatkan oleh penerima gelombang ultrasonik, sinyal yang dikuatkan berupa gelombang sinusoidal.

Tegangan yang dibaca oleh multimeter adalah tegangan dc, secara teoritis diketahui bahwa tegangan maksimum yang dapat dibaca oleh multimeter sebesar 6 volt, dan tegangan minimumnya sebesar 0,001 volt.

#### 4.3 Data Hasil Percobaan

Pada percobaan ini digunakan 2 jenis oli yaitu oli baru dan oli bekas.

Oli baru yang digunakan pada percobaan ini adalah oli mesran produksi pertamina yaitu :

- SAE 10 mesrania
- SAE 20 Mesrania 2T super
- SAE 30 Mesrania 2T OB
- SAE 40 Mesran
- SAE 20W-50 Mesran
- SAE 90 Rored

Sedangkan oli bekas yang digunakan pada percobaan ini terdiri dari

- Oli bekas I
- Oli bekas II
- Oli bekas III

Oli bekas yang digunakan pada percobaan ini adalah oli produksi pertamina yaitu SAE 30 Mesrania 2T OB untuk Oli bekas I, SAE 20W-50 Mesran untuk oli bekas II, dan SAE 90 Rored untuk oli bekas III. Oli baru dan oli bekas tersebut adalah obyek ukur yang akan diambil datanya dengan dua metode pengambilan data yang berbeda yaitu dengan menggunakan alat ukur viskositas oli dengan gelombang ultrasonik dan dengan menggunakan hukum stokes

##### 4.3.1 Data hasil percobaan menggunakan gelombang ultrasonik

Suhu ruang 22 °C

Besar tegangan tanpa oli 3,82 volt

Lama gelombang ultrasonik pada medium 60 detik

Tabel 4.1 Amplitudo keluaran setelah melewati oli

No	SAE	Amplitudo (volt)				
1	10	0,092	0,093	0,092	0,093	0,091
2	20	0,182	0,186	0,186	0,186	0,185
3	30	0,215	0,215	0,213	0,214	0,213
4	40	0,292	0,292	0,293	0,292	0,293
5	20W-50	0,320	0,323	0,325	0,325	0,325
6	90	0,382	0,380	0,382	0,385	0,385
7	Bekas I	0,332	0,332	0,348	0,338	0,332
8	Bekas II	0,530	0,531	0,532	0,530	0,532
9	Bekas III	0,607	0,608	0,607	0,606	0,608

Untuk menguji tingkat ketepatan dan ketelitian alat ukur viskositas oli dengan gelombang ultrasonik, maka dilakukan pengulangan pengambilan data, dengan mengusahakan kondisi oli dan tegangan yang bekerja pada rangkaian pembangkit dan penerima gelombang ultrasonik sama dengan kondisi pada pengambilan data awal. Adapun data hasil percobaan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

#### 4.3.2 Pengulangan dengan menggunakan gelombang ultrasonik

Suhu ruang 22 °C

Besar tegangan tanpa oli 3,82 volt

Lama gelombang ultrasonik pada medium 60 detik

Tabel 4.2 Pengulangan data amplitudo keluaran setelah melewati oli

No	SAE	Amplitudo (volt)				
1	10	0,088	0,087	0,092	0,093	0,087
2	20	0,187	0,186	0,189	0,186	0,187
3	30	0,216	0,216	0,213	0,214	0,214
4	40	0,296	0,295	0,296	0,294	0,293
5	20W-50	0,317	0,318	0,317	0,319	0,320
6	90	0,381	0,384	0,381	0,380	0,383
7	Bekas I	0,333	0,334	0,329	0,334	0,332
8	Bekas II	0,533	0,533	0,534	0,530	0,534
9	Bekas III	0,604	0,605	0,604	0,605	0,606

4.3.3 Data hasil percobaan dengan menggunakan hukum stokes

Suhu ruang = 22 °C

Tabel 4.3 Waktu tempuh bola (dalam detik)

S (cm)	SAE 10	SAE 20	SAE 30	SAE 40	SAE 20W-50	SAE 90
40	0,8	1	1,2	1,8	2	2,4
	1	1	1,2	1,8	2	2,2
	0,6	1	1,4	1,8	2	2,2
	0,8	1,2	1,2	1,8	2	2,2
	0,8	1	1,2	1,8	2	2,2
50	1	1,4	1,6	2,4	2,6	2,8
	1	1,4	1,6	2,4	2,6	2,8
	1	1,2	1,6	2,4	2,6	2,8
	1,2	1,4	1,6	2,4	2,6	2,8
	1	1,4	1,6	2,4	2,6	2,8
60	1,2	1,6	1,8	2,8	3	3,4
	1,4	1,6	1,8	2,8	3	3,2
	1,2	1,4	1,8	2,8	3	3,2
	1,2	1,6	1,8	2,8	3	3,2
	1,2	1,6	1,8	2,8	3	3,2
70	1,4	1,8	2	3,4	3,6	3,8
	1,4	1,8	2	3,4	3,6	3,8
	1,4	1,8	2	3,4	3,6	3,8
	1,6	1,8	2	3,4	3,6	3,8
	1,4	1,8	2	3,4	3,6	3,8
80	1,6	2	2,2	4	4,2	4,4
	1,6	2	2,2	4	4,2	4,4
	1,8	2	2,2	4	4,2	4,6
	1,6	2,2	2,4	4	4,2	4,4
	1,6	2	2,2	4	4,2	4,4

## 4.4 Pembahasan

### 4.4.1 Analisa data

Data yang didapatkan dari hasil percobaan dianalisis, dengan tujuan untuk mengetahui besarnya amplitudo tegangan yang terbaca pada multimeter setelah melalui obyek ukur yaitu oli. Data yang di peroleh dari hasil analisis menggambarkan besarnya kisaran amplitudo tegangan dan kesalahan relatif dari masing-masing oli, sedangkan data yang diperoleh dari percobaan hukum stokes, diolah datanya sehingga didapat nilai viskositasnya dengan menggunakan persamaan 2.12, setelah viskositas oli tersebut diketahui maka akan dianalisis sehingga didapat besarnya kisaran viskositas dan kesalahan relatif dari masing-masing oli, dengan demikian diketahui hubungan antara amplitudo tegangan dengan viskositas seperti yang tampak pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hubungan amplitudo dan viskositas

No	Jenis Cairan	Amplitudo (Volt)	Kr (%)	Viskositas kg/ms	Kr (%)
1	Oli SAE 10	$0,092 \pm 0,0004$	0,435	$0,169 \pm 0,002$	1,5
2	Oli SAE 20	$0,185 \pm 0,001$	0,541	$0,215 \pm 0,005$	2,5
3	Oli SAE 30	$0,214 \pm 0,0005$	0,234	$0,247 \pm 0,014$	5,5
4	Oli SAE 40	$0,292 \pm 0,0003$	0,103	$0,393 \pm 0,016$	4,0
5	Oli SAE 20W-50	$0,324 \pm 0,001$	0,309	$0,422 \pm 0,009$	2,2
6	Oli SAE 90	$0,383 \pm 0,001$	0,261	$0,454 \pm 0,008$	1,7

Pada tabel 4.4 dapat diketahui bahwa semakin besar viskositas zat cair pada penelitian ini adalah oli, maka semakin besar pula amplitudo tegangan yang terbaca pada multimeter, sedangkan hubungan amplitudo dan viskositas untuk pengulangan data, seperti tampak pada tabel 4.5 berikut ini

Tabel 4.5 Pengulangan data hubungan amplitudo dan viskositas

No	Jenis Cairan	Amplitudo (Volt)	Kr (%)	Viskositas kg/ms	Kr (%)
1	Oli SAE 10	0,089 ± 0,001	1,124	0,169±0,002	1,5
2	Oli SAE 20	0,187 ± 0,0005	0,267	0,215±0,005	2,5
3	Oli SAE 30	0,215 ± 0,001	0,465	0,247±0,014	5,5
4	Oli SAE 40	0,295 ± 0,001	0,339	0,393±0,016	4,0
5	Oli SAE 20W-50	0,318 ± 0,001	0,314	0,422±0,009	2,2
6	Oli SAE 90	0,382 ± 0,001	0,262	0,454±0,008	1,7

Pada percobaan dengan menggunakan hukum stokes, untuk oli bekas tidak dapat dicari viskositasnya, karena oli bekas viskositasnya sangat besar sehingga pada beberapa jarak tertentu terdapat gesekan antara bola dan dinding tabung yang menyebabkan perbedaan data yang sangat besar untuk masing-masing jarak. Hal lain yang menyebabkan oli bekas tidak dapat dicari viskositasnya adalah berhubungan dengan warna oli bekas yang hitam pekat, sehingga tidak dapat menentukan waktu yang ditempuh bola untuk beberapa jarak tertentu yang telah dibuat, karena bola tidak terlihat.

#### 4.4.4 Analisa hasil

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dan setelah melalui beberapa tahapan perancangan dan pembuatan alat, maka dihasilkan suatu sistem alat ukur dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik, dan dapat digunakan untuk mengukur viskositas zat cair, dalam hal ini adalah viskositas oli. Data yang didapat pada penelitian ini adalah berupa amplitudo tegangan dari gelombang ultrasonik. Amplitudo tegangan gelombang ultrasonik tersebut, dibandingkan dengan viskositas masing-masing oli, yang didapat dengan melakukan percobaan menggunakan hukum stokes, sehingga diketahui hubungan antara amplitudo dan viskositas seperti pada tabel 4.4 dan tabel 4.5.

Gelombang ultrasonik yang merambat melalui medium oli, akan mengalami penurunan intensitas yang disebabkan oleh pemantulan gelombang, penyebaran gelombang dan adanya absorpsi oleh medium yang dilaluinya. Besarnya penurunan intensitas tersebut tergantung pada jenis medium dan juga dipengaruhi oleh besarnya frekuensi. Secara matematis penurunan intensitas yang disebabkan oleh absorpsi dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (4.1)$$

dimana  $I$  = Intensitas pada jarak  $x$   
 $I_0$  = Intensitas mula-mula  
 $\alpha$  = Koefisien absorpsi  
 $x$  = Jarak tempuh

dari persamaan intensitas  $I = 2 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot \rho \cdot v \cdot A^2$ , terlihat bahwa intensitas gelombang ultrasonik sebanding dengan kuadrat amplitudo dari gelombang ultrasonik, karena itu persamaan penurunan intensitas gelombang dapat ditulis sebagai berikut :

$$I = 2 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot \rho \cdot v \cdot A^2$$

Dari persamaan 4.1 maka didapat persamaan hubungan amplitudo dan intensitas mula-mula sebagai berikut :

$$2 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot \rho \cdot v \cdot A^2 = I_0 \cdot e^{-\alpha x}$$

$$2 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot \rho \cdot v \cdot A^2 = 2 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot v \cdot A_0^2 \cdot e^{-\alpha x}$$

Sehingga didapat persamaan sebagai berikut :

$$A^2 = A_0^2 \cdot e^{-\alpha x} \quad (4.2)$$

dimana  $A$  = Amplitudo pada jarak  $x$   
 $A_0$  = Amplitudo mula-mula

Pemantulan gelombang menyebabkan terjadinya penurunan intensitas gelombang ultrasonik, yaitu apabila gelombang ultrasonik mengenai permukaan medium, maka sebagian dari gelombang ultrasonik ini akan dipantulkan dan sebagian lagi akan diteruskan / ditransmisikan

Atenuasi yang diakibatkan oleh penyebaran gelombang disebabkan karena selama gelombang menjalar pada suatu medium berkas gelombangnya berubah. Perubahan tersebut biasanya bertambah luas sehingga intensitas gelombangnya berkurang. Penyebaran gelombang oleh transduser ultrasonik tergantung pada diameter transduser dan panjang gelombangnya, bila ukuran diameter transduser jauh lebih besar dari panjang gelombangnya maka radiasinya berupa bidang datar, sehingga pada transduser yang sama

akan memiliki pola penyebaran yang berbeda bila memancarkan gelombang ultrasonik ke medium yang berlainan.

Absorpsi gelombang menyebabkan terjadinya penurunan intensitas gelombang yang menjalar pada suatu medium, karena terjadi penyerapan energi yang dimiliki gelombang oleh medium, sehingga walaupun berkas gelombangnya tidak berubah, intensitas yang dimiliki oleh gelombang tersebut tetap akan mengalami pengurangan. Energi gelombang akustik yang melewati suatu medium ditentukan oleh energi kinetiknya yaitu:

$$E = \frac{1}{2} m v_{\max}^2 \quad (4.3)$$

Sedangkan kecepatan gelombang ultrasonik :

$$v_{\max} = \omega A \quad (4.4)$$

sehingga energinya menjadi

$$E = 2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot f^2 \cdot A^2 \quad (4.5)$$

Pada penelitian ini digunakan amplitudo sinyal masukan mula-mula dengan asumsi sebesar 12 volt dengan jarak antara transduser pemancar dan penerima sejauh 4 mm, dan amplitudo sinyal pada jarak x, dengan asumsi seperti pada tabel 4.1, maka besar koefisien penyerapan energinya dapat dihitung dengan persamaan :

$$A^2 = A_0^2 e^{-\alpha x}$$

$$A^2 = \frac{A_0^2}{e^{\alpha x}}$$

$$A^2 e^{\alpha x} = A_0^2$$

$$e^{\alpha x} = \frac{A_0^2}{A^2}$$

$$\ln e^{\alpha x} = \ln \frac{A_0^2}{A^2}$$

$$\alpha x \ln e = \ln \frac{A_0^2}{A^2}$$

$$\ln e = 1$$

$$\ln \frac{A_0^2}{A^2}$$

$$\alpha = \frac{\ln \frac{A_0^2}{A^2}}{x} \quad (4.6)$$

Hasil perhitungan koefisien penyerapan energi oleh oli seperti pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Koefisien penyerapan energi oleh oli

No	SAE	$\bar{\alpha}$	$\delta\alpha$	Kr (%)	$\bar{\alpha} \pm \delta\alpha$
1	10	2434	2	0,1	2434 $\pm$ 2
2	20	2086	2	0,1	2086 $\pm$ 2
3	30	2013	1	0,05	2013 $\pm$ 1
4	40	1857,3	0,4	0,02	1857,3 $\pm$ 0,4
5	20W-50	1806	2	0,1	1806 $\pm$ 2
6	90	1722	1	0,06	1722 $\pm$ 1
7	Bekas I	1790	2	0,1	1790 $\pm$ 2
8	Bekas II	1558,9	0,4	0,02	1558,9 $\pm$ 0,4
9	Bekas III	1491,9	0,3	0,02	1491,9 $\pm$ 0,3

Sedangkan hasil perhitungan koefisien penyerapan energi untuk pengulangan data oleh oli seperti tampak pada tabel 4.7 dibawah ini :

Tabel 4.7 Pengulangan data koefisien penyerapan energi oleh oli

No	SAE	$\bar{\alpha}$	$\delta\alpha$	Kr (%)	$\bar{\alpha} \pm \delta\alpha$
1	10	2450	7	0,3	2450 $\pm$ 7
2	20	2081	1	0,05	2081 $\pm$ 1
3	30	2012	1	0,05	2012 $\pm$ 1
4	40	1853	1	0,05	1853 $\pm$ 1
5	20W-50	1814,8	0,8	0,04	1814,8 $\pm$ 0,8
6	90	1724	1	0,05	1724 $\pm$ 1
7	Bekas I	1793	1	0,1	1793 $\pm$ 1
8	Bekas II	1557,3	0,7	0,04	1557,3 $\pm$ 0,7
9	Bekas III	1493,9	0,3	0,02	1493,9 $\pm$ 0,3

Pada tabel koefisien penyerapan energi oleh oli, dapat diketahui bahwa semakin besar viskositas oli, maka koefisien penyerapannya akan semakin kecil. Hal ini disebabkan karena oli dengan viskositas yang tinggi, mempunyai medium yang lebih rapat, bila dibandingkan dengan oli yang mempunyai viskositas rendah, sehingga gelombang ultrasonik yang merambat melalui oli akan lebih mudah bila mediumnya semakin rapat.

Berdasarkan data hasil percobaan, dan setelah melakukan analisa pada data tersebut, maka dapat dicari hubungan antara amplitudo dan

viskositas. Dengan menggunakan persamaan 2.7 bahwa besar intensitas bunyi yang mempunyai amplitudo  $A$ , berfrekuensi  $f$  dan mempunyai cepat rambat  $v$ , pada medium yang mempunyai kerapatan  $\rho$  adalah

$$I = 2\pi^2 \cdot f^2 \cdot \rho \cdot v \cdot A^2.$$

Intensitas gelombang ultrasonik pada suatu medium akan mengalami gesekan internal yang disebut dengan viskositas. Viskositas pada medium muncul karena ada tumbukan antara partikel didalam medium. Besarnya viskositas pada suatu medium ditentukan oleh suatu konstanta pembanding yang didefinisikan sebagai koefisien viskositas yang dinyatakan dalam persamaan :

$$\eta = \frac{F \cdot l}{v \cdot A_{luas}}$$

$$F = \frac{\eta \cdot v \cdot A_{luas}}{l}$$

Energi yang timbul akibat gaya tumbukan antara molekul sejauh  $S$  ialah :

$$F \cdot S = \frac{\eta \cdot v \cdot A_{luas}}{l} \cdot S$$

$$E = \frac{\eta \cdot v \cdot A_{luas}}{l} \cdot S$$

Menurut persamaan 2.6, yang menyatakan bahwa intensitas suatu bunyi dapat ditentukan secara eksperimental dengan mengukur tenaga  $E$ , yang datang pada suatu detektor dalam waktu  $t$ . Dengan demikian intensitas sama dengan tenaga tersebut dibagi oleh waktu dan luas  $A$  dari detektor.

$$I = \frac{E}{A_{luas} \cdot t}$$

$$E = I \cdot A_{luas} \cdot t$$

$$\frac{\eta \cdot v \cdot A_{luas}}{l} \cdot S = I \cdot A_{luas} \cdot t$$

$$\eta \cdot v \cdot A_{luas} \cdot S = I \cdot A_{luas} \cdot t \cdot l$$

$$\eta = \frac{2\pi^2 \cdot \rho \cdot f^2 \cdot A^2 \cdot t \cdot l}{S} \quad (4.7)$$

- Dimana  $\eta$  = Viskositas (kg/ms)
- $\rho$  = Massa jenis medium (kg/m<sup>3</sup>)
- f = Frekuensi (Hz)
- A = Amplitudo (m)
- t = Waktu (s)
- l = Jarak tumbukan antara molekul dalam medium (m)
- S = jarak antara 2 tranduser (m)

Persamaan 4.7 menunjukkan bahwa viskositas sebanding dengan kuadrat amplitudo dari gelombang ultrasonik ( $\eta \sim A^2$ ).

Pada penelitian ini data yang diperoleh merupakan amplitudo gelombang yang berupa tegangan yang dihasilkan oleh tranduser penerima gelombang ultrasonik. Oleh karena itu diturunkan hubungan persamaan amplitudo gelombang ultrasonik dan amplitudo gelombang yang berupa tegangan.

Tranduser ultrasonik terbuat dari bahan piezoelektrik, adapun salah satu sifat dari piezoelektrik adalah bila plat piezoelektrik diberi tekanan, maka akan timbul muatan listrik pada kedua permukaannya. Oleh karena itu dapat dicari hubungan antara tekanan dan amplitudo gelombang ultrasonik sebagai berikut :

$$P = \frac{F}{A_{(Luas)}}$$

$$\eta = \frac{F.l}{v.A_{(luas)}}$$

Sehingga didapat persamaan :

$$P = \frac{\eta.v.A_{(luas)}}{l}$$

$$P = \frac{\eta.v}{l}$$

$$P = \frac{\eta.S}{l.t}$$

$$P = \frac{\eta.S}{t.l}$$

Dengan merubah  $\eta$  dengan persamaan (4.7), maka didapat hubungan:



$$P = \frac{\left( \frac{2\pi^2 \cdot \rho \cdot f^2 \cdot A^2 \cdot t \cdot l}{S} \right) \cdot S}{t \cdot l}$$

$$P = 2\pi^2 \cdot \rho \cdot f^2 \cdot A^2$$

Menurut persamaan (2.14) bahwa keluaran kristal diberikan oleh :

$$E = g \cdot t \cdot P$$

$$E = g \cdot t \cdot 2\pi^2 \cdot \rho \cdot f^2 \cdot A^2 \quad (4.8)$$

Pada persamaan (4.8) diketahui bahwa tegangan keluaran transduser penerima gelombang ultrasonik sebanding dengan kuadrat amplitudo gelombang ultrasonik ( $E \sim A^2$ )

Dimana : E = Tegangan (volt)

g = Kepekaan tegangan

t = tebal kristal (m)

Dari persamaan (4.7) telah diketahui bahwa  $\eta \sim A^2$ , sedangkan dari persamaan (4.8) diketahui bahwa  $E \sim A^2$ , maka dapat dikatakan bahwa tegangan keluaran transduser penerima gelombang ultrasonik sebanding dengan viskositas zat cair, dimana pada penelitian ini adalah oli ( $E \sim \eta$ ).

Dari persamaan (4.7) dapat ditunjukkan bahwa tegangan keluaran dari transduser penerima gelombang ultrasonik sebanding dengan viskositas zat cair, dimana dalam penelitian ini adalah oli, yaitu dengan cara mensubstitusi persamaan (4.7) ke persamaan (4.8), sehingga didapat persamaan :

$$\eta = \frac{2\pi^2 \cdot \rho \cdot f^2 \cdot A^2 \cdot t \cdot l}{S}$$

$$A^2 = \frac{\eta \cdot S}{2\pi^2 \cdot \rho \cdot f^2 \cdot t \cdot l}$$

$$E = g \cdot t \cdot 2\pi^2 \cdot \rho \cdot f^2 \cdot A^2$$

$$E = g \cdot t \cdot 2\pi^2 \cdot \rho \cdot f^2 \cdot \frac{\eta \cdot S}{2\pi^2 \cdot \rho \cdot f^2 \cdot t \cdot l}$$

$$E = g \cdot t \cdot \frac{\eta \cdot v}{l}$$

Dari persamaan (2.2) bahwa didalam zat cair, kecepatan gelombang bunyi adalah

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

Jadi tegangan keluran pada transduser ultrasonik adalah :

$$E = g.t. \frac{\eta \cdot \sqrt{B}}{l \cdot \sqrt{\rho}} \quad (4.9)$$

Dengan B = modulus limbak ( $N/m^2$ )

$\rho$  = massa jenis zat cair ( $kg/m^3$ )

Gelombang ultrasonik yang merambat pada suatu medium, dalam penelitian ini adalah oli, merupakan rambatan energi dan momentum mekanik, sehingga dapat merambat sebagai interaksi dengan molekul dan sifat inersia medium yang dilaluinya. Karakteristik gelombang ultrasonik ketika melalui medium mengakibatkan getaran partikel dengan medium dimana amplitudonya sejajar dengan arah rambat secara longitudinal sehingga menyebabkan partikel-partikel medium membentuk rapatan (*strain*) dan tegangan (*stress*). Proses secara terus menerus yang menyebabkan terjadinya rapatan dan regangan di dalam medium disebabkan oleh getaran partikel secara periodik selama gelombang ultrasonik melalui medium.

Jika gelombang ultrasonik merambat dalam suatu medium, maka partikel medium mengalami perpindahan energi getaran dari partikel ke partikel pada medium tersebut. Besarnya energi gelombang ultrasonik yang dimiliki partikel medium adalah :

$$E = E_p + E_k$$

$$E = \frac{1}{2} \cdot kA^2$$

$$E = 2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot f^2 \cdot A^2$$

Dengan :  $E_p$  = energi potensial (Joule)

$E_k$  = energi kinetik (Joule)

k = konstanta

$$k = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot m}{T^2} = 4 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot f^2$$

T = periode (s)

A = amplitudo gerak gelombang ultrasonik (m)

m = massa partikel pada medium (kg)

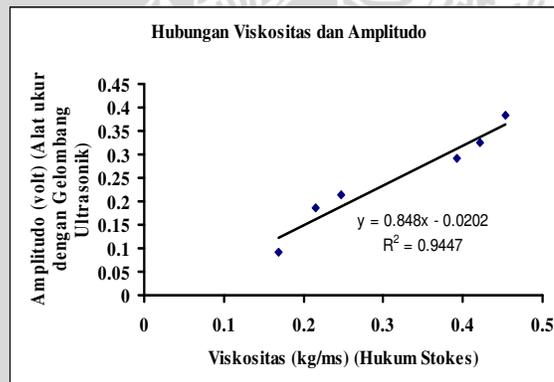
f = frekuensi (Hz)

Gelombang ultrasonik yang keluar dari transduser ultrasonik akan memancarkan intensitas gelombang ultrasonik ke segala arah, besar kecilnya intensitas gelombang ultrasonik yang diterima transduser penerima gelombang ultrasonik akan mempengaruhi tegangan yang keluar dari transduser penerima gelombang ultrasonik, karena intensitas tersebut sebanding dengan kuadrat amplitudo dari gelombang ultrasonik, sedangkan kuadrat amplitudo gelombang ultrasonik sebanding dengan tegangan yang keluar dari transduser penerima gelombang ultrasonik.

#### 4.4.2 Grafik

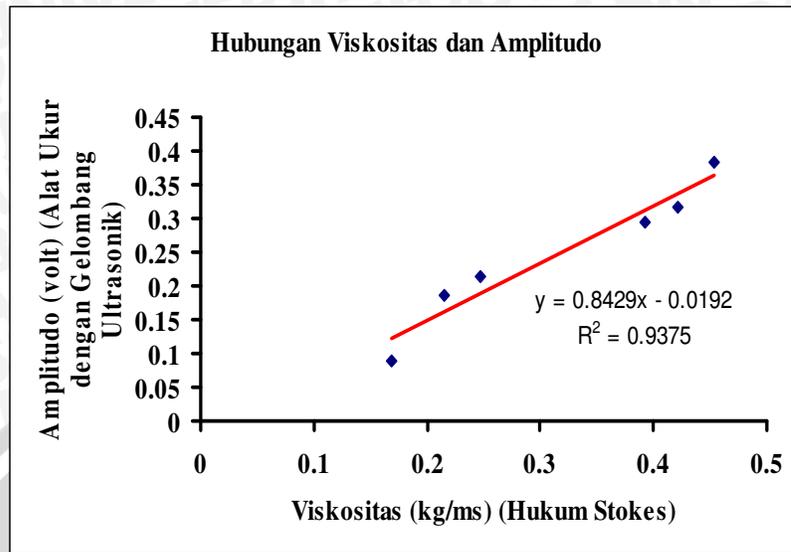
Data yang didapat dari percobaan, dapat dibuat grafik hubungan antara viskositas dalam kg/ms sebagai sumbu x (absis) dan amplitudo dalam volt sebagai sumbu y (ordinat). Data yang diplotkan pada grafik adalah nilai viskositas yang didapat dari percobaan hukum Stokes dengan nilai amplitudo yang didapat dari percobaan menggunakan alat ukur viskositas oli dengan gelombang ultrasonik.

Dari persamaan 4.8 dapat diketahui bahwa hubungan antara tegangan keluaran transduser penerima gelombang ultrasonik sebanding dengan kuadrat amplitudo gelombang ultrasonik, oleh karena itu dapat dikatakan tegangan yang terbaca pada multimeter sebanding dengan viskositas zat cair dimana pada penelitian ini adalah oli, yang ditunjukkan pada persamaan 4.9. Sehingga dapat dibuat grafik hubungan antara viskositas dan amplitudo tegangan sebagai grafik hubungan linier, seperti tampak pada grafik 4.1

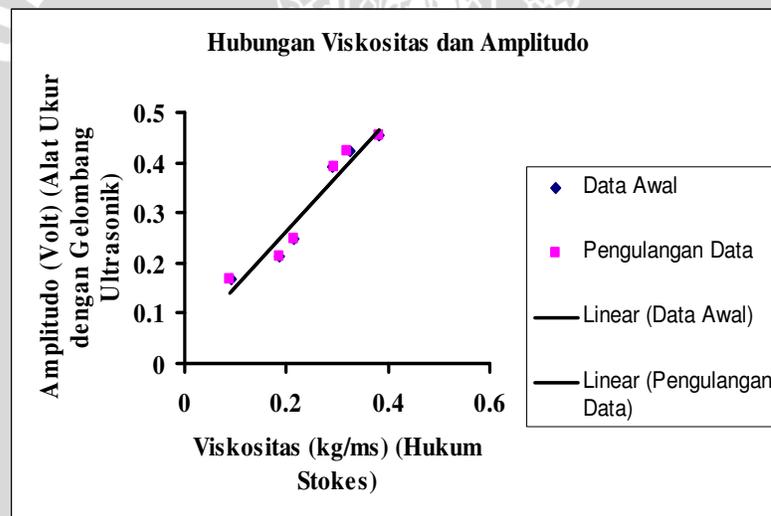


Grafik 4.1 Hubungan viskositas dan amplitudo

Sedangkan grafik Hubungan antara viskositas dan amplitudo untuk pengulangan data seperti pada grafik 4.2



Grafik 4.2 Hubungan viskositas dan amplitudo pengulangan data



Grafik 4.3 Perbedaan data awal dan Pengulangan data

#### 4.4.3 Analisa grafik

Dari grafik 4.1 yaitu grafik hubungan viskositas dengan amplitudo didapatkan persamaan linier  $y = 0,848x - 0,0202$  dengan  $R^2 = 0,9447$ . Sedangkan dari grafik 4.2 didapat persamaan linier  $y = 0,8429x - 0,0192$  dengan  $R^2 = 0,9375$ . Pada grafik hubungan viskositas dengan amplitudo, menunjukkan bahwa perubahan amplitudo, diikuti oleh perubahan viskositas. Oli dengan viskositas yang rendah, maka didapat nilai amplitudo yang rendah, sedangkan pada oli dengan viskositas yang tinggi, maka diperoleh amplitudo yang tinggi. Perbedaan amplitudo tersebut menunjukkan perbedaan kerapatan dari partikel-partikel penyusun oli, hal ini dapat diketahui karena semakin tinggi viskositas oli, maka semakin kental oli tersebut, yang berarti semakin rapat partikel penyusunnya, adanya perbedaan kerapatan partikel ini, mempengaruhi perambatan gelombang ultrasonik pada obyek ukur. Viskositas oli digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini, karena didalam dunia otomotif dan perdagangan, menggunakan viskositas yang dilambangkan dengan SAE, untuk membedakan tingkat kekentalan antara oli yang satu dengan yang lainnya.

Gelombang ultrasonik yang merambat dalam suatu medium akan lebih mudah merambat pada medium yang rapat dibandingkan pada medium yang renggang. Hal ini menyebabkan getaran yang diterima oleh transduser penerima akan lebih kuat pada bahan dengan medium rapat dibandingkan dengan bahan yang mediumnya renggang, sehingga nilai amplitudo tegangan yang keluar akan lebih besar pada medium rapat dibandingkan pada medium yang renggang, oleh karena itu pada grafik hubungan antara viskositas dan amplitudo, semakin besar viskositasnya maka semakin besar amplitudo tegangannya.

Pada grafik 4.3 dapat diketahui bahwa walaupun terdapat perbedaan antara data awal dan data pengulangan, tetapi terdapat kecenderungan yang sama antara grafik data awal dan grafik data pengulangan. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa alat ukur viskositas oli dapat berfungsi dengan baik. Perbedaan data awal dan data pengulangan tersebut disebabkan oleh beberapa hal yaitu kestabilan tegangan listrik yang cenderung berubah sehingga menyebabkan amplitudo yang diterima transduser penerima tidak stabil, suhu ruangan yang cenderung berubah-ubah sehingga akan mempengaruhi viskositas oli.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, pengujian serta pengambilan dan analisa data, maka dapat disimpulkan bahwa, alat ukur viskositas oli dengan gelombang ultrasonik, dapat digunakan sebagai alat untuk mengukur viskositas oli, yaitu dengan cara mengukur tegangan keluaran gelombang ultrasonik setelah melewati oli, sehingga dapat diketahui karakteristik respon amplitudo gelombang ultrasonik pada oli. Energi gelombang ultrasonik yang melewati oli akan diserap, sehingga oli yang mempunyai tingkat kekentalan yang berbeda-beda, amplitudo keluarannya akan berbeda-beda pula, karena kemampuan oli menyerap gelombang ultrasonik berbeda-beda.

Dari analisa hasil percobaan dapat diketahui bahwa tegangan yang keluar pada transduser penerima gelombang ultrasonik sebanding dengan kuadrat amplitudo dari gelombang ultrasonik, dengan persamaan :

$$E = g.t.2.\pi^2.\rho.f^2.A^2$$

Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa tegangan yang terbaca oleh multimeter sebanding dengan kuadrat amplitudo dari gelombang ultrasonik.

Pada analisa grafik didapat hubungan antara viskositas dan amplitudo tegangan, dengan persamaan linier  $y = 0,848x - 0,0202$  dengan  $R^2 = 0,9447$  sedangkan hubungan viskositas dan amplitudo untuk pengulangan data, adalah  $y = 0,8429x - 0,0192$  dengan  $R^2 = 0,9375$ . Dari analisa hasil percobaan diketahui bahwa viskositas sebanding dengan kuadrat amplitudonya, oleh karena itu dapat dikatakan bahwa tegangan yang keluar pada transduser penerima gelombang ultrasonik sebanding dengan viskositasnya dengan persamaan :

$$E = g.t.\frac{\eta.\sqrt{B}}{l.\sqrt{\rho}}$$

Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa tegangan yang terbaca oleh multimeter sebanding dengan viskositas zat cair yang pada penelitian ini adalah oli.

Sedangkan viskositas oli merupakan fungsi dari amplitudo gelombang ultrasonik, yaitu berbanding lurus dengan kuadrat amplitudo gelombang ultrasonik, hal tersebut merupakan respon dari amplitudo gelombang ultrasonik berdasarkan serapan energi gelombang ultrasonik oleh oli, dengan persamaan :

$$\eta = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot \rho \cdot f^2 \cdot A^2 \cdot t \cdot l}{S}$$

## 5.2 Saran

Karena pada penelitian ini tidak dilakukan penelitian pengaruh suhu pada viskositas oli dan pengaruh suhu terhadap tegangan yang terbaca pada multimeter, maka pada penelitian selanjutnya diharapkan dilakukan penelitian pengaruh suhu terhadap viskositas dan tegangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Beckwith G. Thomas, Buck Lewis N, Marangoni D. Roy, 1987, **Pengukuran Mekanis**, Alih Bahasa Ir. Kusnul Hadi, Erlangga, Jakarta.
- Cromer H. Alan, 1994, **Fisika Untuk Ilmu-Ilmu Hayati**, Alih Bahasa Dr. Sumarsono Prawirosusanto, M.Sc, Dr. Koesminarto, Gajah Mada University Press, Yogyakarta
- Hadi Sujono, 1985, **Ultrasonografi Abdomen**, Alumni Bandung, Bandung
- Halliday, 1997, **Fisika Jilid 1**, Erlangga, Jakarta
- Holman. J.P, 1985, **Metode Pengukuran Teknik**, Alih Bahasa Ir. E. Jasjfi, M.Sc, Erlangga, Jakarta
- Kane W.Joseph and Sternheim Morton, 1991, **FISIKA**, Alih Bahasa Pantur Silaban, Ph.D dan Jorga Ibrahim, D.Sc, ITB, Bandung
- Roddy. D and Coolen. J, 1984, **Komunikasi Elektronika**, Alih Bahasa Ir. Kamal Idris, Erlangga, Jakarta
- Sears Weston Francis, 1980, **Mekanika Panas dan Bunyi**, Alih Bahasa Ir. P.J. Soedarjana, Binacipta, Jakarta
- Streeter L. Victor and Wylie Benjamin E, 1992, **Mekanika Fluida**, Alih Bahasa Prijono Arko, M.S.E, Erlangga, Jakarta
- Sutrisno, 1982, **Fisika Dasar Gelombang dan Optik**, ITB, Bandung
- T.J Mason, 1990, **Chemestry with Ultrasound**, Society Of Chemical Industry, London And New York
- Trisnobudi. A, 2000, **Fenomena Gelombang**, Departemen Teknik Fisika ITB, Bandung
- Widodo S.T, 2002, **Elektronika Dasar**, Salemba Teknika, Jakarta

[www.electroniclab.com](http://www.electroniclab.com) dikunjungi 2 maret 2005

[www.sinarharapan.co.id](http://www.sinarharapan.co.id) dikunjungi 2 maret 2005

