



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KARAKTERISTIK TRANSDUSER ULTRASONIK
BERBAHAN PIEZOELEKTRIK DAN RANGKAIAN AMPLIFIER
SWITCHING TERHADAP PERUBAHAN AMPLITUDO DAN
FREKUENSI 1kHz - 50 kHz**

SKRIPSI

**Tri Sutrisno
0305020918**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI FISIKA
PEMINATAN FISIKA INSTRUMENTASI
DEPOK
MEI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KARAKTERISTIK TRANSDUSER ULTRASONIK
BERBAHAN PIEZOELEKTRIK DAN RANGKAIAN AMPLIFIER
SWITCHING TERHADAP PERUBAHAN AMPLITUDO DAN
FREKUENSI 1kHz - 50 kHz**

SKRIPSI

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

**Tri Sutrisno
0305020918**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI FISIKA
PEMINATAN FISIKA INSTRUMENTASI
DEPOK
MEI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Tri Sutrisno

NPM : 0305020918

Tanda Tangan :



Tanggal : 23 Mei 2011

HALAMAN PENGESAHAN


Skripsi ini diajukan oleh :


Nama : Tri Sutrisno
NPM : 0305020918
Program Studi : Fisika Instrumentasi Elektronika
Judul Skripsi : Studi Karakteristik Transduser Ultrasonik Berbahan Piezoelektrik dan Rangkaian Amplifier Switching Terhadap Perubahan Amplitudo dan Frekuensi 1 kHz - 50 kHz

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Bambang Soegijono, M.Si ()

Pembimbing I : Drs. Arief Sudarmaji, M.T ()

Penguji I : Dr. Sastra Kusuma Wijaya ()

Penguji II: Dr. Eng. Supriyanto, M.Sc ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 23 Mei 2011

KATA PENGANTAR

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

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

1. Kedua orang tua penulis serta keluarga, yang selalu memberikan dukungan, motivasi dan doa sejak awal perkuliahan hingga selesainya skripsi ini.
2. Dr. Bambang Soegijono, M.Si, selaku dosen pembimbing I yang telah membimbing penulis dalam segala hal, baik dalam ilmu pengetahuan, nasehat, dorongan, semangat serta segala fasilitas yang telah diberikan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Drs. Arief Sudarmaji, M.T, selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
4. Dr. Sastra Kusuma Wijaya dan Dr. Supriyanto, M.Sc, selaku penguji I dan II yang telah meluangkan waktu untuk menguji serta mengoreksi hasil penelitian penulis, serta atas kesempatan dan waktu yang diberikan untuk berdiskusi serta saran-saran yang bermanfaat.
5. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Fisika atas segala ilmu dan bantuan teknis yang penulis peroleh selama menjadi mahasiswa Fisika UI. Terutama kepada bapak Dr. Santoso Soekirno selaku Ketua Departemen Fisika yang selalu tersenyum, Mba Ratna yang selalu sabar mengurus segala administrasi dan pak Sukarno Cisco yang memberikan pengarahan dan diskusi terkait skripsi yang telah disusun.

6. Eko Prasetyo dan Dwi Haryanto (saudara kandung penulis) atas do'a dan semangat yang telah diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Teman – teman seperjuangan fisika angkatan 2005 yang telah memberikan banyak dukungan baik moral maupun material
8. Teman-teman satu peminatan Fisika Instrumentasi 2005, terima kasih telah menjadi teman dan sahabat 'belajar' penulis selama ini.
9. Teman-teman ekstensi instrumentasi : mirzan dan husein, atas bantuan dan dorongan yang diberikan kepada penulis.
10. Terima kasih untuk semua pribadi yang secara sadar ataupun tidak, telah menjadi 'pembimbing' dalam kehidupan penulis. Semoga Allah mengganjar setiap keikhlasan dari setiap amal shaleh kalian.

Dengan segala kerendahan hati, saya masih menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Oleh sebab itu, saya sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dalam upaya perbaikan tugas akhir ini.

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

Depok, 23 Mei 2011

(Penulis)

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

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

Nama : Tri Sutrisno
NPM : 0305020918
Program Studi : Fisika Instrumentasi Elektronika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam
Jenis karya : Skripsi

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

**STUDI KARAKTERISTIK TRANSDUSER ULTRASONIK BERBAHAN
PIEZOELEKTRIK DAN RANGKAIAN AMPLIFIER SWITCHING
TERHADAP PERUBAHAN AMPLITUDO DAN FREKUENSI 1kHz - 50
kHz**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 23 Mei 2011

Yang menyatakan


(Tri Sutrisno)

Nama : Tri Sutrisno

Program studi : Fisika

Judul skripsi : Studi Karakteristik Transduser Ultrasonik Berbahan Piezoelektrik
Dan Rangkaian Amplifier Switching Terhadap Perubahan
Amplitudo Dan Frekuensi 1 kHz - 50 kHz

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian pengaruh perubahan amplitudo dan frekuensi pada transduser ultrasonik berbahan piezoelektrik dan rangkaian amplifier switching. Pada penelitian ini rangkaian amplifier switching digunakan untuk menggetarkan transduser ultrasonik. Sumber input gelombang kotak bolak-balik yang digunakan berasal dari function generator dengan memberikan variasi tegangan input pada frekuensi 1 - 50 kHz dengan rentang 1 kHz. Sumber catu daya yang digunakan dari power supply variabel DC. Setelah dilakukan pengujian, sinyal gelombang ultrasonik transduser diperoleh frekuensi daerah kerja resonansi yang efektif pada frekuensi 44,03 kHz. Sedangkan untuk uji output daya rangkaian ultrasonik diperoleh kesimpulan bahwa semakin besar sumber catu daya yang diberikan, semakin besar pula daya outputnya.

Kata kunci : amplifier switching, transduser ultrasonik, piezoelektrik

Name : Tri Sutrisno
Program study : Physics
Title of essay : Study of Characteristic of Piezoelectric Ultrasonic Transducer
and Switching Amplifier Circuit with Amplitude Variation and
Frequency 1 - 50 KHz

ABSTRACT

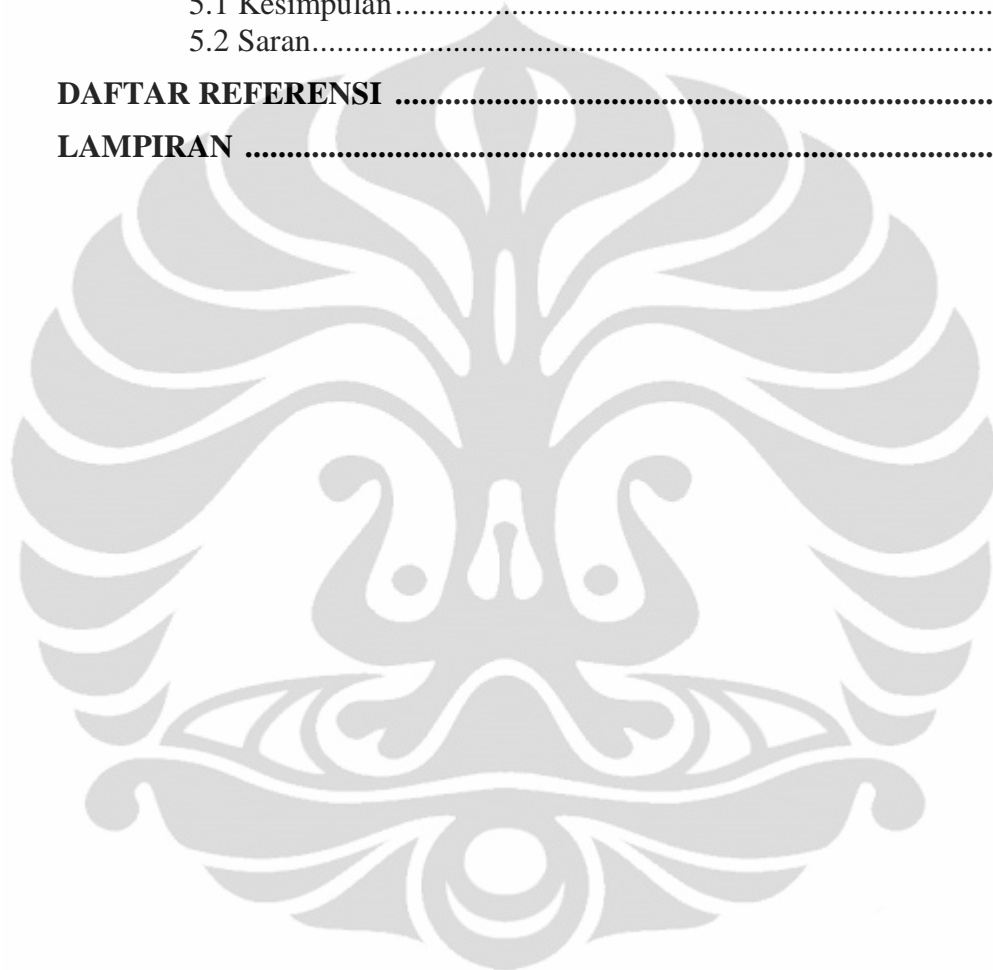
A study about the effect of changes in amplitude and frequency of the type piezoelectric ultrasonic transducer and switching amplifier circuit. The switching amplifier circuit is used to vibrate the ultrasonic transducer. Square wave input is derived from the function generator to provide input voltage variations at a frequency of 1 - 50 kHz with a range of 1 kHz. Power supply is used from the variable DC power supply. After testing, the ultrasonic wave signal transducer obtained resonance frequency of the effective working area at a frequency of 44.03 kHz. As for the test series ultrasonic power output obtained the conclusion that the bigger the power supply source is given, the bigger it's the power output.

Keywords: switching amplifier, ultrasonic transducer, piezoelectric

DAFTAR ISI

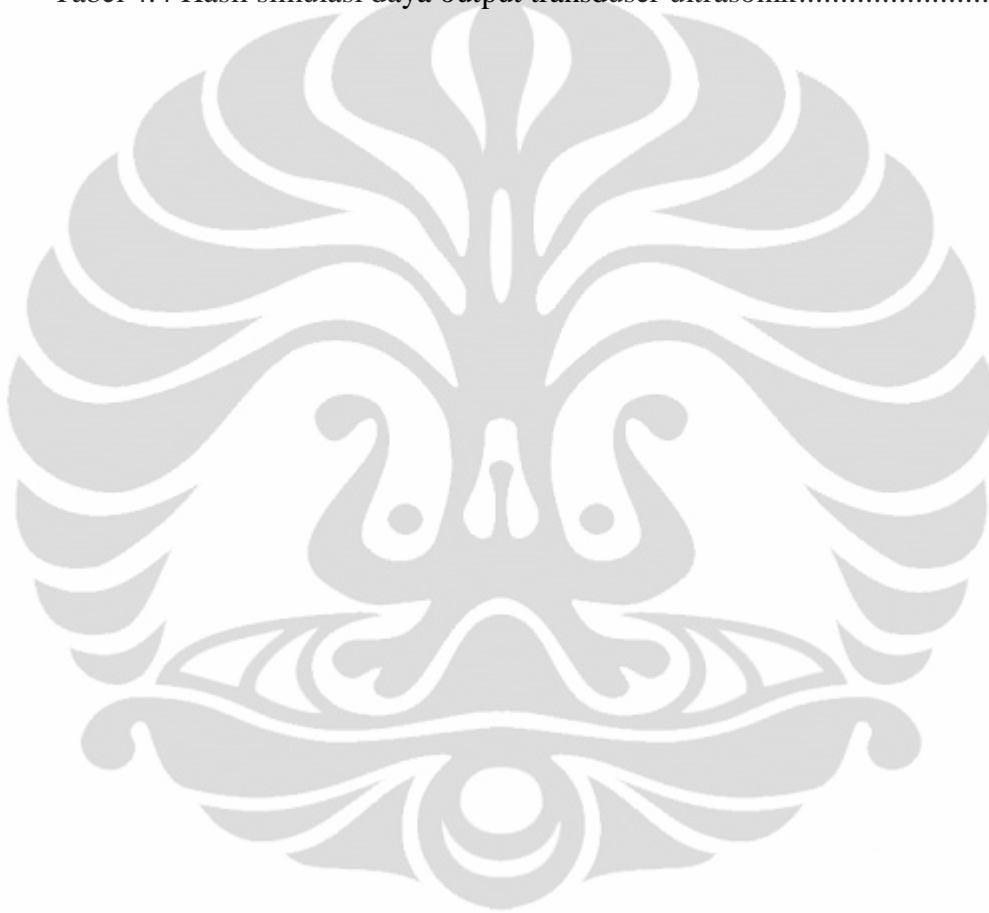
	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Metodologi Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 LANDASAN TEORI	7
2.1 Teori Gelombang	7
2.2 Klasifikasi Gelombang	7
2.2.1 Gelombang Mekanik	8
2.2.2 Gelombang Bunyi (Akustik)	9
2.2.3 Gelombang Ultrasonik	10
2.2.3.1 Pengertian Gelombang Ultrasonik	10
2.2.3.2 Perambatan Gelombang Ultrasonik	11
2.3 Karakteristik Rambat Gelombang Dalam Material	12
2.3.1 Frekuensi, Kecepatan dan Panjang Gelombang	14
2.3.2 Impedansi Akustik	14
2.3.3 Atenuasi	15
2.4 Transduser Ultrasonik	16
2.4.1 Tipe Magnetorestriktif	16
2.4.2 Tipe Piezoelektrik	18
2.4.3 Gelombang Kotak	19
2.4.4 Sinyal Pulsa dan Sinyal Kontinu	20
2.5 Power Supply	21
2.5.1 Power Supply Tipe Linear	21
2.5.2 Power Supply Tipe Switching	22
2.5.3 Transformator	23
2.6 Amplifier Switching	24
BAB 3 PEMBUATAN DAN PERANCANGAN ALAT	28
3.1 Konfigurasi Sistem	28
3.2 Perancangan Subsistem	29
3.3 Power Supply Variabel	29
3.4 Generator Fungsi	30
3.5 Perancangan Rangkaian Amplifier Switching	30

3.6 Perancangan Mekanik Transduser Ultrasonik	32
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Pengujian Frekuensi Output Amplifier	34
4.2 Pengukuran Tegangan rms Amplifier	37
4.3 Pengujian Output Transduser Ultrasonik	39
4.4 Pengukuran Daya Output Transduser Ultrasonik	42
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	45
DAFTAR REFERENSI	47
LAMPIRAN	49



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan power supply tipe linear dan tipe switching	23
Tabel 4.1 Pengujian tegangan rms pada amplifier dengan frekuensi 44.03 kHz dan power supply 50 V	39
Tabel 4.2 Respon output transduser ultrasonik	40
Tabel 4.3 Hasil pengukuran daya output transduser ultrasonik	42
Tabel 4.4 Hasil simulasi daya output transduser ultrasonik.....	42



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Blok diagram langkah-langkah penelitian	4
Gambar 2.1 Spektrum gelombang	10
Gambar 2.2 Pergerakan partikel akibat gelombang longitudinal dan gelombang transversal.....	12
Gambar 2.3 Skema gelombang permukaan (Rayleigh waves).....	12
Gambar 2.4 Ilustrasi atom yang saling terikat melalui pegas.....	14
Gambar 2.5 Transmisi dan refleksi.....	17
Gambar 2.6 Pantulan gelombang.....	18
Gambar 2.7 Pembiasan gelombang	19
Gambar 2.8 Prinsip kerja transduser ultrasonik tipe magnetorestriktif	21
Gambar 2.9 Prinsip kerja transduser ultrasonik tipe piezoelektrik.....	22
Gambar 2.10 Bentuk gelombang kotak.....	23
Gambar 2.11 Bentuk gelombang pulsa ultrasonik.....	24
Gambar 2.12 Rangkaian dengan konfigurasi Center-Tapped Transformer	26
Gambar 2.13 Rangkaian dengan konfigurasi Penyearah Bridge (Bridge Rectifier)	26
Gambar 2.14 Bagian-Bagian Transformator.....	27
Gambar 2.15 Hubungan antara tegangan primer, jumlah lilitan primer, tegangan sekunder, dan jumlah lilitan sekunder	28
Gambar 2.16 Skema transformator step up.....	28
Gambar 2.17 Skema transformator step down.....	29
Gambar 3.1 Blok diagram sistem	30
Gambar 3.2 Mekanik transduser ultrasonik	31
Gambar 3.3 Skematik rangkaian power amplifier.....	32
Gambar 4.1 Sinyal gelombang kotak bolak-balik	34
Gambar 4.2 Grafik hubungan f_{in} dengan f_{out} pada amplifier switching (tidak dihubungkan transduser) saat amplitudo 2 V dan power supply 50 V	35
Gambar 4.3 Bentuk sinyal frekuensi output dan input pada rangkaian amplifier switching saat amplitudo 2 V dan power supply 50 V	36
Gambar 4.4 Rangkaian simulasi frekuensi output rangkaian amplifier switching	37
Gambar 4.5 Grafik pengujian tegangan rms pada amplifier	40
Gambar 4.6 Bentuk gelombang tegangan output transduser ultrasonik	41
Gambar 4.7 Respon tegangan output (V_{out}) pada transduser ultrasonik terhadap variasi nilai frekuensi input (f_{in})	41
Gambar 4.8 Rangkaian simulasi daya output.....	43
Gambar 4.9 Grafik perubahan daya output transduser ultrasonik terhadap tegangan power supply.....	43

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini perkembangan ultrasonik semakin maju. Penggunaan ultrasonik sering diaplikasikan dan dipakai dalam berbagai bidang, antara lain kedokteran, kimia, seismologi, pertanian, industri dan masih banyak lagi bidang yang lain. Dalam bidang industri, ultrasonik digunakan sebagai *welding*, *cutting* dan *cleaning*. Sebelum ditemukan ultrasonik, larutan chlorin dan fluorin digunakan sebagai larutan pembersih. Akan tetapi, dampak chlorin dan fluorin dapat merusak lingkungan. Oleh karena itu, energi mekanik (gelombang ultrasonik) digunakan sebagai pengganti larutan pembersih.

Adapun ultrasonik mempunyai kelebihan daripada larutan pembersih diantaranya adalah ramah lingkungan, proses *cleaning* lebih bersih dan efektif, biaya operasi yang murah, dapat membersihkan bagian alat yang sensitif (kabel, plastik) serta celah-celah yang kecil dan bagian-bagian yang halus tanpa mengalami kerusakan. Namun, *ultrasonic cleaner* juga memiliki kekurangan, diantaranya adalah bagian yang terkontaminasi berat tidak dapat dibersihkan secara cepat, serta pembersihan bagian yang terdapat lapisan pelumas membutuhkan waktu yang lama.

Ultrasonic cleaner terdiri dari tangki air yang menggunakan energi ultrasonik untuk membersihkan kotoran, pelumas, minyak, dan karbon yang telah melekat. Kontaminasi seperti cat, karat, karbon yang pekat pada mesin dapat dibersihkan. Tidak seperti beberapa proses *cleaning* lainnya, *ultrasonic cleaner* tidak akan merusak material. Proses *ultrasonic cleaner* tergantung pada frekuensi gelombang ultrasonik, bahan kimia yang digunakan, dan kadar berat bagian yang dibersihkan. Bahan kimia yang digunakan dengan *ultrasonic cleaner* berfungsi untuk menentukan bahan yang dapat dibersihkan dan berapa lama membersihkan kontaminasi.

Pada penelitian ini akan dibuat rangkaian ultrasonik sebagai penggetar transduser ultrasonik. Rangkaian ultrasonik ini yang terdiri dari power supply

variabel, *function generator*, rangkaian amplifier switching, transduser ultrasonik berbahan piezoelektrik dan mekanik transduser ultrasonik. Transduser ultrasonik berbahan piezoelektrik (PZT-4) ini umumnya digunakan dalam aplikasi *ultrasonic cleaner*.

1.2 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, sebagai batasan masalah adalah perancangan rangkaian ultrasonik yang terdiri dari power supply variabel, *function generator*, rangkaian amplifier switching, transduser ultrasonik berbahan piezoelektrik (PZT-4) serta mekanik transduser ultrasonik. Kemudian rangkaian ultrasonik ini akan diuji coba dengan mengatur perubahan amplitudo, tegangan power supply sebesar 50 V – 64 V dan frekuensi 1 kHz – 50 kHz. Tegangan output pada rangkaian ultrasonik tersebut akan diukur menggunakan osiloskop serta diamati daerah kerja frekuensi transduser ultrasonik pada kondisi resonansi.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk :

- Mengamati rangkaian *amplifier switching* yang digunakan dalam penelitian untuk menggetarkan transduser piezoelektrik
- Mengamati cara kerja transduser ultrasonik berbahan piezoelektrik
- Mengamati karakteristik amplitudo dan frekuensi output pada transduser ultrasonik

1.4 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan terdiri atas tiga tahap utama, antara lain:

a. Studi Literatur

Metode studi literatur dilakukan untuk memperoleh informasi dan pustaka yang berkaitan dengan penelitian ini baik dari literatur, data sheet, internet, buku dan jurnal yang berhubungan, serta penjelasan yang diberikan dosen pembimbing, rekan-rekan mahasiswa, maupun alumni yang kompeten berkaitan dengan penelitian.

b. Studi Peralatan

Metode studi peralatan dilakukan penulis untuk mempelajari karakteristik dan spesifikasi alat yang akan digunakan pada saat penelitian transduser ultrasonik cleaning sehingga penulis mendapatkan informasi yang tepat tentang alat yang akan dipakai tersebut dan memperoleh teori dasar fungsi alat tersebut.

c. Penelitian Laboratorium

Penelitian laboratorium dilakukan untuk merakit, membuat alat sesuai dengan hasil perancangan dan meneliti cara kerja alat yang telah dirancang.

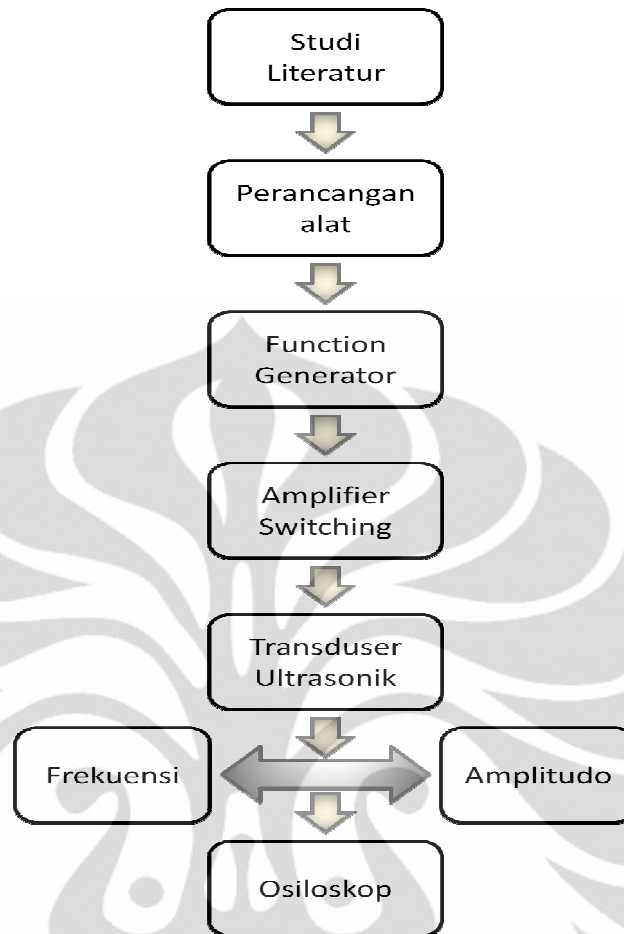
Tahapan-tahapan pelaksanaan, pembuatan dan penganalisaan yang dilakukan pada saat penelitian, antara lain meliputi:

a. Studi Literatur

Studi literatur ini digunakan penulis untuk memperoleh teori - teori dasar sebagai sumber dan acuan dalam penulisan skripsi serta cara kerja alat dan spesifikasi alat yang digunakan. Informasi dan pustaka yang berkaitan dengan masalah ini diperoleh dari literatur, internet, artikel-artikel, jurnal-jurnal, buku-buku acuan yang berhubungan dengan tugas akhir penulis, serta informasi yang diperoleh dari internet.

b. Diskusi

Diskusi yang dilakukan adalah diskusi dengan seluruh pembimbing penelitian, serta mahasiswa dan alumni yang kompeten di bidang tertentu yang berkaitan dengan penelitian sehingga dapat memecahkan masalah saat berlangsungnya penelitian dan pembuatan program.



Gambar 1.1 Blok diagram langkah-langkah penelitian

c. Perancangan Alat

Perancangan alat pada penelitian ini terdiri dari function generator, *power amplifier*, transduser ultrasonik dan osiloskop. Perancangan dilakukan dengan melakukan beberapa perhitungan untuk mendapatkan nilai - nilai komponen yang sesuai untuk digunakan dalam penelitian ini.

d. Pembuatan Alat

Alat yang akan digunakan pada saat penelitian dibuat dan disiapkan berdasarkan perancangan yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya.

e. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan tujuan untuk memastikan bahwa alat yang dipakai pada saat penelitian dapat berkerja dengan baik

sesuai dengan fungsinya sehingga tidak menimbulkan permasalahan pada saat dilakukan pengambilan data.

f. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan setelah semua alat pada sistem monitoring teruji dengan baik sehingga data yang diperoleh adalah data yang valid. Dengan demikian dapat memperkecil kemungkinan terjadinya kesalahan.

g. Analisa Data

Dalam tahapan ini, penulis akan menganalisa data yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya, serta mengamati hasil data pengukuran *transduser ultrasonik cleaning* dengan landasan teori.

h. Kesimpulan

Kesimpulan secara keseluruhan yang merupakan tahap akhir dari penelitian ini diambil setelah pembuatan laporan akhir selesai beserta hasil analisa mengenai semua proses yang telah dilakukan selama penelitian berlangsung.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan untuk penelitian ini terdiri dari lima bab yang secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut:

- Bab 1 Pendahuluan

Bab ini membahas tentang latar belakang dari penelitian, batasan masalah, tujuan penulisan, metodologi penelitian dan sistematika penulisan dari penelitian.

- Bab 2 Landasan Teori

Bab ini membahas landasan teori sebagai hasil dari studi literatur yang berhubungan dengan perancangan alat dan yang akan dilakukan dalam penelitian.

- Bab 3 Perancangan Alat

Bab ini membahas tentang langkah-langkah dari penelitian serta prosedur dalam penelitian.

- Bab 4 Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi penjelasan mengenai data dari hasil penelitian dan analisa terhadap seluruh proses yang berlangsung selama penelitian.

- Bab 5 Penutup

Bab ini berisi kesimpulan terhadap proses yang berlangsung selama penelitian dan saran yang mendukung penelitian selanjutnya agar dapat memberikan hasil yang lebih baik.



BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Teori Gelombang

Gelombang adalah suatu gejala terjadinya penjalaran suatu getaran mekanik melalui suatu medium, kemudian keadaan medium akan kembali ke keadaan semula setelah getaran-getaran tersebut lewat.

Getaran-getaran ini tidaklah acak, seperti dalam getaran-getaran thermal, tetapi berurutan, gerakan-gerakan osilasi yang dibangkitkan oleh sumber luar. Sebuah sumber secara tipikal (disebut transduser) adalah satu atau lebih kristal yang digerakkan dengan cara memberikan tegangan listrik agar bergetar dan diberi hubungan dengan permukaan sisi permukaan sisi luar pembungkusnya. Maka seperti pergerakan partikel-partikel permukaan, ikatan partikel-partikel yang bersebelahan berubah sehingga bergerak. Dalam hal ini getaran-getaran mekanik bergerak sangat cepat melalui medium.

Medium merupakan merupakan sekumpulan partikel yang saling berinteraksi dimana gangguan tersebut merambat. Partikel digunakan untuk mendeskripsikan sebuah volume medium yang sangat kecil dimana semua atom-atom dapat dianggap mempunyai gaya-gaya fisik yang sama. Jika pergerakan suatu partikel dalam medium perambatan ultrasonik dilihat secara seksama, partikel terlihat bergerak mundur dan maju dengan jumlah kecil. Sebuah bentuk umum dari getaran adalah pergerakan harmonik sederhana atau pergerakan sinusoidal.

2.2 Klasifikasi Gelombang

Secara umum gelombang dapat diklasifikasikan menurut sifat-sifat fisisnya. Gelombang berdasarkan medium tempat perambatannya dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu:

1. Gelombang mekanik, yaitu gelombang merambat melalui medium yang dapat mengalami deformasi atau medium elastik. Contoh dari gelombang

ini adalah gelombang bunyi (akustik), gelombang pada permukaan air dan gelombang pada tali.

2. Gelombang non mekanik atau gelombang elektromagnetik. Gelombang ini tidak memerlukan medium karena dapat merambat pada ruang hampa. Perubahan yang diakibatkan bukan perubahan mekanik. Contoh dari gelombang elektromagnetik adalah gelombang mikro, gelombang infra merah dan sinar tampak.

2.2.1 Gelombang Mekanik

Salah satu gelombang yang mudah dibayangkan adalah gelombang mekanik (*mechanical wave*). Gelombang seperti ini menyebabkan terjadinya gerak pada medium tempat perambatannya.

Gelombang mekanik berasal dari pergeseran suatu bagian medium elastik dari kedudukan normalnya. Karena sifat – sifatnya elastik dari medium, maka gangguan tersebut ditransmisikan dari suatu lapisan ke lapisan berikutnya, akibatnya gelombang atau gangguan tadi akan bergerak maju melalui medium tersebut. Perlu diperhatikan bahwa medium itu sendiri tidak bergerak secara keseluruhan bersama-sama gerak gelombang tersebut, tetapi hanya berosilasi titik keseimbangannya.

Sifat- sifat medium yang menentukan cepat rambat sebuah gelombang melalui medium tersebut adalah elastisitas dan inersia. Elastisitas akan menimbulkan gaya-gaya pemulih pada setiap bagian medium yang dipindahkan dari kedudukan keseimbangannya dan inersia yang akan menyatakan bagaimana bagian yang dipindahkan dari medium. Semua medium, seperti udara, air dan baja memiliki sifat elastisitas dan inersia sehingga dapat menyalurkan gelombang mekanik.

Selain penggolongan berdasarkan sifat-sifat di atas, gelombang dapat diklasifikasikan dengan meninjau gerak partikel materi dengan arah perambatan gelombang, antara lain adalah:

1. Gelombang transversal (*transversal waves*), yaitu gelombang yang arah perambatan gelombangnya tegak lurus dengan arah getaran medium gelombang merambat.

2. Gelombang longitudinal (*longitudinal waves*) adalah gelombang yang arah rambatannya searah dengan getaran medium gelombang merambat. Contoh: gelombang bunyi (*akustik*).

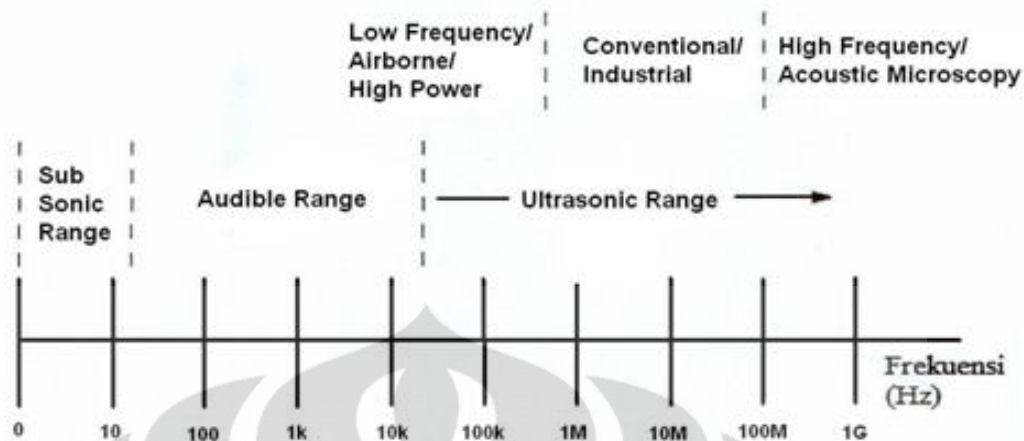
2.2.2 Gelombang Bunyi (*Akustik*)

Bunyi adalah rangsangan yang menggetarkan organ telinga (pendengaran) manusia, sehingga manusia mendengar rangsangan atau getaran yang disebabkan oleh rangsangan tersebut.

Gelombang akustik atau gelombang bunyi adalah gelombang yang dirambatkan sebagai gelombang mekanik yang dapat menjalar dalam medium padat, cair dan gas. Gelombang bunyi ini merupakan getaran molekul – molekul zat dan saling beradu satu sama lain. Namun demikian zat tersebut terkoordinasi menghasilkan gelombang serta mentransmisikan energi bahkan tanpa terjadi perpidahan energy (Resnick dan Halliday, 1997). Apabila gelombang bunyi merambat mencapai batas permukaan maka gelombang bunyi tersebut akan mengalami transmisi dan refleksi.

Berdasarkan jangkauan frekuensi tersebut, maka gelombang akustik / bunyi dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian, yaitu:

1. Gelombang infrasonik (*infrasonic waves*), yaitu gelombang yang mempunyai jangkauan frekuensi yang sangat rendah sehingga tidak dapat terdengar oleh telinga manusia. Batas maksimum frekuensi gelombang infrasonic sekitar 20 Hz.
2. Gelombang sonik (*sonic waves*), yaitu gelombang mekanik yang mempunyai jangkauan frekuensi yang dapat terdengar oleh manusia antara 20 Hz sampai 20 kHz. Jangkauan frekuensi seperti ini dinamakan audio range.
3. Gelombang ultrasonik (*ultrasonic waves*), yaitu gelombang mekanik yang mempunyai jangkauan frekuensi sangat tinggi sehingga tidak dapat terdengar oleh manusia. Batas frekuensinya di atas 20 kHz.



Gambar 2.1 Spektrum gelombang akustik

2.2.3 Gelombang Ultrasonik

2.2.3.1 Pengertian Gelombang Ultrasonik

Gelombang ultrasonik merupakan gelombang mekanik longitudinal dengan frekuensi di atas 20 kHz. Gelombang ini dapat merambat dalam medium padat, cair dan gas, hal disebabkan karena gelombang ultrasonik merupakan rambatan energi dan momentum mekanik sehingga merambat sebagai interaksi dengan molekul dan sifat inersia medium yang dilaluinya. Reflektifitas dari gelombang ultrasonik ini di permukaan cairan hampir sama dengan permukaan padat, tetapi pada tekstil dan busa dapat didengar, bersifat langsung dan mudah difokuskan. Kelebihan gelombang ultrasonik yang tidak dapat didengar, bersifat langsung dan mudah difokuskan. Jarak suatu benda yang memanfaatkan *delay* gelombang pantul dan gelombang datang seperti pada sistem radar dan deteksi gerakan oleh sensor pada robot atau hewan.

Dalam buku David dan Cheeke menyebutkan setidaknya ada dua fitur unik yang dimiliki oleh gelombang ultrasonik :

1. Gelombang ultrasonik merambat lebih pelan 100.000 kali daripada gelombang elektromagnetik. Hal ini memudahkan untuk memperoleh informasi waktu, variabel *delay*, dan lain-lainnya pada saat gelombang ultrasonik merambat.

2. Gelombang ultrasonik mudah masuk melewati bahan yang tidak bias cahaya. Karena gelombang ultrasonik sensitif dan reliabel maka dapat dimanfaatkan untuk mengetahui bentuk gambar dari bahan yang tidak tembus cahaya.

2.2.3.2 Perambatan Gelombang Ultrasonik

Gelombang ultrasonik yang dihasilkan oleh transduser dapat berupa sinyal pulsa atau sinyal kontinu, tergantung pada tegangan yang diinputkan pada transduser. Mode apa yang akan dipakai tergantung pada metode tes yang akan digunakan.

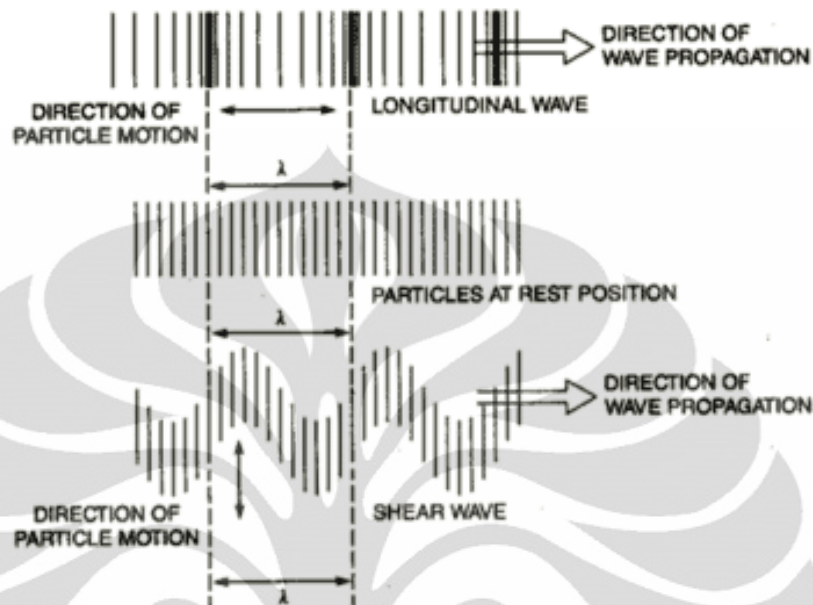
Karakteristik gelombang ultrasonik yang melalui medium mengakibatkan getaran partikel dengan medium amplitudo sejajar dengan arah rambat secara longitudinal sehingga menyebabkan partikel medium membentuk rapatan (*Strain*) dan tegangan (*Stress*). Proses kontinu yang menyebabkan terjadinya rapatan dan regangan di dalam medium disebabkan oleh getaran partikel secara periodik selama gelombang ultrasonik melaluinya (Resnick dan Halliday, 1997).

Gelombang ultrasonik di dalam material dapat merambat dengan tiga macam pola gelombang yang sering digunakan, yaitu gelombang longitudinal, gelombang transversal, gelombang permukaan atau *Rayleigh waves*.

Gelombang longitudinal merupakan gelombang yang paling sering digunakan untuk pengujian ultrasonik. Kelebihan gelombang ini adalah kemampuannya yang dapat merambat di dalam zat cair dan gas, sama baiknya seperti pada material solid. Mekanisme gelombang ini adalah perambatannya sejajar dengan arah gerakan atom yang digetarkan.

Gelombang transversal merupakan jenis gelombang yang juga sering digunakan, tetapi tidak seperti gelombang longitudinal, gelombang ini sulit merambat dalam zat cair dan gas, karena karakternya yang kurang elastis dan dibutuhkan gaya yang kuat pada partikel untuk beresilasi. Gelombang ini dapat terjadi apabila gelombang ultrasonik merambat pada arah yang tegak lurus, dengan vibrasi yang bergerak ke atas dan ke bawah, pada arah dan bidang gerakan atom yang digetarkan. Ilustrasi dari gelombang ini secara skematis ditunjukkan

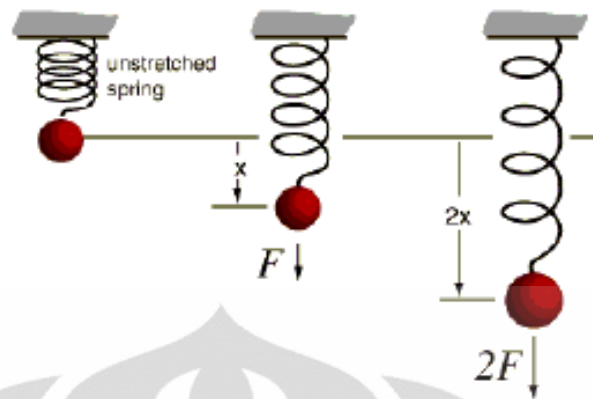
pada **Gambar 2.2** yang menunjukkan pergerakan partikel berpengaruh terhadap rambatan dari gelombang longitudinal dan transversal.



Gambar 2.2 Pergerakan partikel akibat gelombang longitudinal dan gelombang transversal (Wave Propagation, 2011)

2.3 Karakteristik Gelombang Ultrasonik

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa gelombang suara merambat bergantung kepada vibrasi-vibrasi atau gerakan dari partikel-partikel didalam material, hal ini dikarenakan massa-massa dari partikel atom dan konstanta pegas dari setiap material berbeda-beda. Gelombang ultrasonik dapat digambarkan sebagai kumpulan osilasi dengan jumlah yang tidak terbatas atau partikel-partikel yang terhubung secara elastis. Setiap partikel saling dipengaruhi oleh pergerakan partikel lain disebelahnya dan masing-masing inersia atau kelembaman dan elastis akan mengembalikan gaya pada setiap partikelnya (Sound of Propagation in Elastic Materials, 2011).



Gambar 2.3 Ilustrasi hukum hook's

Perambatan gelombang ultrasonik didalam suatu material memiliki karakter yang reflektif atau memantul, apabila dihubungkan dengan teori fisika gelombang, maka dapat dianalogikan dengan hukum Hook (*Hook's Law*) pada ilustrasi pegas. Massa pada pegas memiliki frekuensi gema tunggal (*single resonant frequency*), ditentukan oleh nilai konstanta pegas k dan massanya m . Di bawah batas elastis setiap material, terdapat hubungan yang linear antara pergerakan partikel (*particle displacement*) dan gaya untuk partikel kembali ke titik setimbangnya. Linieritas ini dijelaskan dengan hukum Hook.

Hukum Hook menjelaskan bahwa gaya balik dari pegas proporsional pada panjang ketika pegas mengalami peregangan atau tertarik, dan bergerak pada arah berlawanan. Hukum Hook dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F = (-)k x \quad (2.1)$$

Dimana:

F = gaya pegas

k = konstanta pegas

x = jarak pergerakan partikel

Dari perumusan diatas dapat dijelaskan bahwa F merupakan gaya yang ditimbulkan pegas, k merupakan konstanta pegas, dan x adalah perubahan panjang pada partikel pegas. Hukum Hook juga berhubungan dengan hukum II Newton, dimana dikatakan bahwa gaya yang diberikan pada material akan diseimbangkan oleh massa dan percepatan partikelnya. Perumusan hukum II Newton adalah sebagai berikut:

$$F = ma \quad (2.2)$$

2.3.1 Frekuensi, Kecepatan dan Panjang Gelombang

Karakteristik gelombang merambat dapat dilihat dari panjang gelombang, frekuensi dan kecepatan perambatannya yang memiliki hubungan matematis sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2.3)$$

Di mana: λ = panjang gelombang (m), v = kecepatan gelombang suara (m/s), dan f = frekuensi gelombang suara (Hz).

Kecepatan ultrasonik ini akan sangat bergantung pada medium perambatannya dan akan berbeda pada medium yang berbeda. Sedangkan hubungan matematis antara kecepatan gelombang dengan karakteristik medium perambatan adalah sebagai berikut :

$$v = \sqrt{\frac{\beta}{\rho}} \quad (2.4)$$

Dimana: β adalah modulus bulk dan ρ adalah massa jenis medium

Besaran frekuensi dari ultrasonik yang ditembakkan dari suatu transduser ultrasonik tidak akan berpengaruh pada perubahan dari kecepatan perambatannya pada suatu medium.

2.3.2 Impedansi Akustik

Impedansi akustik (Z) dari suatu material didefinisikan sebagai perkalian antara kerapatan (ρ) dengan kecepatan rambat gelombang suara (c).

$$Z = \rho v \quad (2.5)$$

dimana: Z adalah impedansi akustik ($\text{kg/m}^2\text{s}$), ρ adalah massa jenis (kg/m^3) dan v adalah laju gelombang (m/s).

Nilai impedansi akustik ini berperan penting dalam hal:

- a. Menentukan transmisi dan refleksi dari gelombang suara pada batasan dua material yang memiliki impedansi akustik yang berbeda
- b. Desain pada transduser ultrasonik
- c. Menaksir tingkat penyerapan suara pada suatu medium

Impedansi akustik merupakan sifat yang dimiliki medium perambatan gelombang suara dan bukan dari sifat gelombang (Acoustic Impedance, 2011). Arti fisis dari impedansi akustik menerangkan nilai hambatan terhadap aliran dari suatu sistem. Volume aliran merupakan perkalian antara kecepatan dari suatu elemen dengan luas penampangnya.

Ketika medium yang berdekatan memiliki impedansi akustik yang hampir sama, hanya sedikit energi yang direfleksikan. Impedansi akustik memiliki peran menetapkan transmisi dan refleksi gelombang di batas antara medium yang memiliki impedansi akustik yang berbeda.

2.3.3 Atenuasi

Ketika gelombang suara melewati suatu medium, intensitasnya semakin berkurang dengan bertambahnya kedalaman. Hal yang menyebabkan pelemahan gelombang adalah proses refraksi, hamburan, dan absorpsi. Absorpsi adalah penyerapan energi suara oleh medium dan diubahnya menjadi energi bentuk lain. Hal ini menyebabkan pulsa ultrasonik yang bergerak melewati suatu zat akan mengalami kehilangan energi.

Besarnya energi yang diabsorpsi sebanding dengan koefisien pelemahan dan tebalnya medium yang dilalui. Setiap medium memiliki koefisien pelemahan yang berbeda-beda. Semakin kecil koefisien pelemahan maka semakin baik medium itu sebagai media penghantar. Penyerapan energi gelombang ultrasonik akan mengakibatkan berkurangnya amplitudo gelombang ultrasonik.

Atenuasi berguna untuk menjelaskan fenomena berkurangnya intensitas gelombang ultrasonik. Besar amplitudo setelah mengalami atenuasi adalah:

$$A = A_0 e^{-\alpha z} \quad (2.6)$$

dimana A_0 adalah amplitudo awal. Amplitudo (A) adalah amplitudo yang tereduksi setelah gelombang berjalan dengan jarak sejauh z . α adalah koefisien atenuasi. Secara umum, atenuasi sebanding dengan kuadrat frekuensi gelombang,

2.4 Transduser Piezoelektrik

Pada tahun 1880, Pierre dan Jacques bersaudara menemukan beberapa bahan yang dapat mengeluarkan listrik, jika benda itu diberi tekanan mekanik atau sebaliknya. Sehingga bahan ini disebut Piezoelektrik yang berasal dari bahasa Yunani yaitu Piezo = Tekanan dan elektrik = listrik. Contoh-contoh bahan piezoelektrik antara lain :

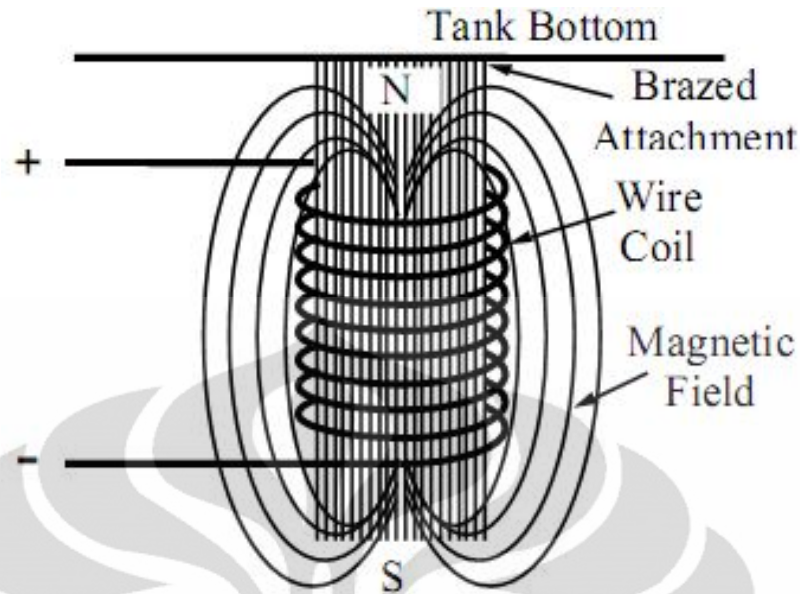
1. Kristal kuarsa (SiO_2)
2. Amonium Dihidrogen Fosfat (ADF)
3. Tourmalin
4. Lithium Sulfate (LH)
5. Lead Zirconate Titanate (PZT), dan lain-lain

Dalam proses fotolistrik, foton dengan energi $h\nu$ menumbuk elektron terikat dan mengeluarkannya dari kulit atom K, L, M, atau N. Elektron yang
Kemungkinan proses fotolistrik maksimum bila energi foton di sekitar energi ikat elektron.

Transduser ultrasonik diperlukan untuk mengubah energi listrik tegangan bolak-balik menjadi gelombang ultrasonik. Secara umum ada dua jenis tipe transduser ultrasonik yaitu magnetorestriktif dan piezoelektrik.

2.4.1 Tipe Magnetorestriktif

Transduser ultrasonik tipe magnetorestriktif bekerja dengan memanfaatkan prinsip magnetisasi. **Gambar 2.4** menunjukkan gambar dari transduser ultrasonik tipe magnetorestriktif.



Gambar 2.4 Transduser ultrasonik tipe magnetostruktif

(John Fuchs, 2002)

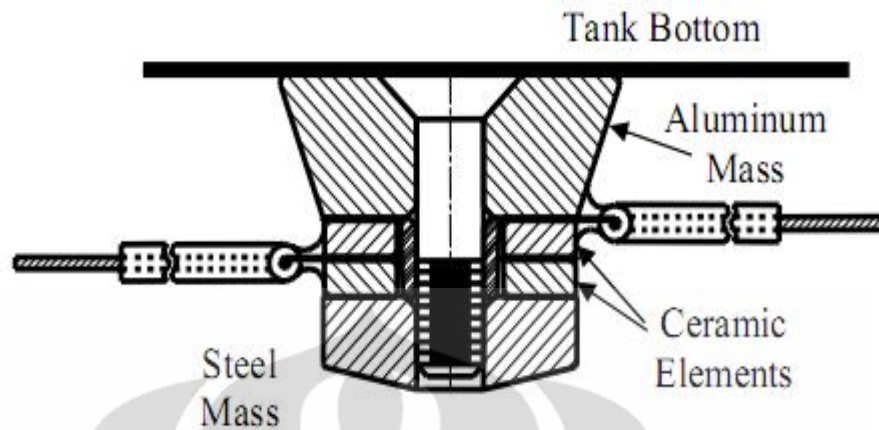
Transduser magnetostruktif terdiri dari sebagian besar bahan nikel (atau material magnetostruktif lainnya) lempengan logam paralel dengan salah satu ujung dari masing-masing terpasang lempengan logam ke bagian bawah tangki proses atau permukaan lain untuk bergetar. Sebuah kumparan kawat ditempatkan sekitar bahan magnetostruktif. Ketika aliran arus listrik disuplai melalui kumparan kawat, terjadi medan magnet (seperti jaringan listrik tegangan tinggi). Medan magnet ini menyebabkan material magnetostruktif memendek atau memanjang, dengan demikian transduser magnetostruktif menghasilkan gelombang ultrasonik yang dihantarkan ke dalam tangki cairan pembersih.

Transduser magnetostruktif memanfaatkan prinsip magnetostruksi di mana bahan-bahan tertentu akan memanjang dan memendek di dalam medan magnet bolak-balik. Energi listrik bolak-balik dari generator ultrasonik pertama-tama diubah menjadi bolak-balik medan magnet melalui penggunaan kumparan kawat. Medan magnet bolak-balik kemudian digunakan untuk menginduksi getaran mekanis pada frekuensi ultrasonik dalam strip resonansi nikel atau material magnetostruktif lainnya yang melekat pada permukaan yang akan bergetar. Karena bahan magnetostruktif berperilaku identik dengan medan magnet

polaritas bolak-balik, frekuensi energi listrik diterapkan untuk transduser adalah $1/2$ frekuensi output yang diinginkan. Transduser magnetostrictive pertama memasok sumber getaran ultrasonik yang kuat untuk aplikasi listrik tinggi seperti aplikasi ultrasonik pembersih. Karena kendala mekanik yang melekat pada ukuran fisik dari perangkat keras serta komplikasi listrik dan magnetik, transduser daya tinggi magnetostrictive tidak mampu beroperasi frekuensi di atas 20 kHz. Transduser piezoelektrik, di sisi lain, dapat dengan mudah beroperasi dengan baik berkisar MHz. Magnetostrictive transduser umumnya kurang efisien daripada piezoelektrik. Hal ini terutama disebabkan bahwa transduser magnetostrictive memerlukan konversi energi ganda dari listrik ke magnet dan kemudian dari magnetik untuk mekanik.

2.4.2 Tipe Piezoelektrik

Transduser tipe kedua adalah tipe piezoelektrik yang mampu mengatasi kekurangan-kekurangan pada transduser tipe magnetorestriktif. Inti dari sebuah transduser piezoelektrik adalah lempeng tunggal atau ganda material keramik piezoelektrik, biasanya material Timbal Zirkonat Titanat (PZT), terjepit di antara elektroda yang terdapat sumber titik untuk kontak listrik. Perakitan keramik dikompresi antara blok logam (satu aluminium dan satu baja) untuk mengetahui kompresi dengan kekuatan tinggi. Ketika tegangan dialirkan di seluruh keramik melalui elektroda, material keramik piezoelektrik akan mengalami perubahan bentuk memanjang atau memendek (tergantung pada polaritas) karena perubahan kisi strukturnya. Dengan ini perubahan bentuk material keramik piezoelektrik menyebabkan gelombang suara untuk menyebarkan ke larutan pembersih.



**Gambar 2.5 Transduser ultrasonik tipe piezoelektrik
(John Fuchs, 2002)**

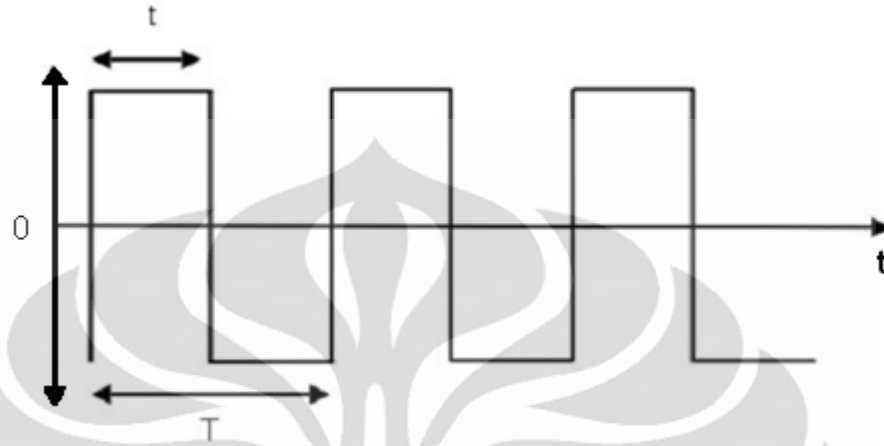
Transduser piezoelektrik mengkonversi energi listrik bolak-balik secara langsung menjadi energi mekanik melalui penggunaan efek piezoelektrik di mana material tertentu berubah dimensi ketika energi listrik pada frekuensi ultrasonik dipasok ke transduser oleh ultrasonik generator. Energi listrik diaplikasikan pada transduser elemen piezoelektrik yang bergetar. Getaran ini diperkuat oleh massa resonansi transducer dan diarahkan ke larutan pembersih melalui lempengan material piezoelektrik.

2.4.3 Gelombang Kotak

Gelombang kotak merupakan bentuk umum gelombang yang lain. Pada dasarnya gelombang kotak adalah tegangan yang dihidupkan dan dimatikan (kondisi high dan low) pada interval yang teratur. Rangkaian elektronik digital, seperti pada komputer, TV, radio, dll, seringkali menggunakan gelombang kotak sebagai sinyal pewaktuan (timing signals). Untuk dapat menghasilkan gelombang ultrasonik maka diperlukan sinyal listrik bolak-balik dengan frekuensi ultrasonik. Dari Persamaan dibawah terlihat bahwa persamaan pressure akustik untuk gelombang sinus hampir mirip dengan persamaan gelombang sinus pada tegangan listrik bolak-balik yaitu :

$$v(t) = v_{peak} \sin(\omega t) \quad (2.7)$$

Pada kondisi ideal besarnya pressure akustik sebanding dengan tegangan listrik bolak yang diberikan ke transduser. Gelombang kotak lebih banyak dipakai sebagai sinyal pembangkit pada transduser ultrasonik.



Gambar 2.6 Bentuk gelombang kotak

Secara umum bentuk gelombang kotak terlihat seperti pada gambar diatas. Dari gambar tersebut terlihat bahwa periode dari gelombang kotak ditunjukkan dengan T dan t menunjukkan waktu on dari pulsa. Frekuensi dapat dihitung dengan persamaan:

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.8)$$

2.4.4 Sinyal Pulsa dan Sinyal Kontinu

Gelombang ultrasonik dapat merambat sebagai gelombang kontinu (*Continous Wave*) atau gelombang pulsa (*Pulse Wave*). Gelombang pulsa secara umum digunakan dalam metode sensing aktif dan juga dalam pencitraan, sedangkan gelombang pulsa dan gelombang kontinu digunakan untuk pengukuran ultrasonik Doppler. Pada gelombang kontinu, probe ultrasonik terdiri dari pemancar dan penerima terpisah sehingga transduser mentransmisikan dan menerima secara bersamaan. Sedangkan gelombang pulsa, probe transduser berfungsi langsung sebagai pengtransmisi dan penerima sinyal. Panjang pulsa yang dibangkitkan oleh transduser adalah berbanding terbalik terhadap frekuensi bandwidth dari transduser. Hubungan dapat secara mudah ditemukan dengan transformasi Fourier untuk bentuk gelombang pulsa.

2.5 Power Supply

Power supply atau catu daya adalah sebuah peralatan penyedia tegangan atau sumber daya untuk peralatan elektronika dengan prinsip mengubah tegangan listrik yang tersedia dari jaringan distribusi transmisi listrik ke level yang diinginkan sehingga berimplikasi pada perubahan daya listrik.

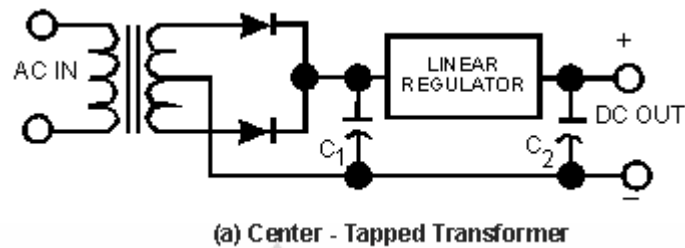
2.5.1 Power Supply Tipe Linear

Beberapa fungsi yang masuk dalam proses perubahan daya AC ke DC adalah sebagai berikut:

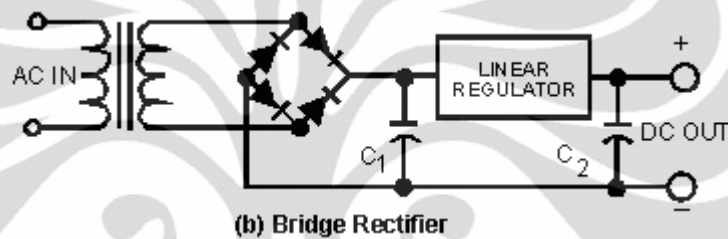
- Perubahan Tegangan, berfungsi untuk mengubah tegangan listrik yang tersedia dari jaringan distribusi transmisi listrik ke level yang diinginkan
- Perubahan Tegangan, berfungsi untuk mengubah tegangan listrik yang tersedia dari jaringan distribusi transmisi listrik ke level yang diinginkan
- Penyearah, sebagai pengubah arah tegangan atau voltase dari AC ke DC
- Filter atau penyaring, bertugas sebagai pembersih gelombang keluaran dari riak (ripple) yang berasal dari proses penyearahan
- Pengaturan, bertujuan untuk mengendalikan tegangan keluaran sehingga menjadi stabil walaupun terjadi variasi atau perubahan pada suhu, beban, maupun tegangan masukan dari jaringan transmisi listrik

Idealnya, perubahan daya ke DC memiliki karakteristik seperti misalnya efisiensi 100%, gelombang keluaran yang tetap (constant output) walaupun dihadapkan pada variasi dari voltase transmisi (untuk power supply DC), arus pada beban, maupun suhu. Karakteristik ideal lainnya adalah tidak memiliki impedansi pada terminal keluaran (zero impedance output) untuk setiap jentang frekuensi, dan juga tidak memiliki gangguan (noise) maupun ripple pada gelombang keluaran.

Pada gambar dibawah ini (**Gambar 2.7** dan **Gambar 2.8**) dapat dilihat dua buah contoh rangkaian yang umum dipakai untuk menghasilkan daya DC dari daya AC, yaitu rangkaian dengan konfigurasi Center-Tapped Transformer dan Penyearah Bridge (Bridge Rectifier). Kedua contoh tersebut memakai penyearah jenis gelombang penuh (full wave rectifier) yang mengakibatkan tingkatan ripple yang minimum pada gelombang keluaran.



Gambar 2.7 Rangkaian dengan konfigurasi Center-Tapped Transformer



Gambar 2.8 Rangkaian dengan konfigurasi Penyearah Bridge (Bridge Rectifier)

2.5.2 Power Supply Tipe Switching

Power supply jenis ini menggunakan metode yang berbeda dengan power supply linier. Pada jenis ini, tegangan AC yang masuk ke dalam rangkaian langsung disearahkan oleh rangkaian penyearah tanpa menggunakan bantuan transformer. Cara menyearahkan tegangan tersebut adalah dengan menggunakan frekuensi tinggi antara 10 KHz hingga 1 MHz, dimana frekuensi ini jauh lebih tinggi daripada frekuensi AC yang sekitar 50 Hz. Pada power supply tipe switching biasanya diberikan rangkaian umpan balik agar tegangan dan arus yang keluar dari rangkaian ini dapat dikontrol dengan baik.

Power Supply tipe switching menjadi semakin populer pemakaiannya karena tipe ini memberikan penyediaan daya DC yang efisiensi dan densitas dayanya sangat tinggi dibandingkan dengan tipe linear. Untuk lebih jelasnya, beberapa perbandingan antara kedua tipe tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

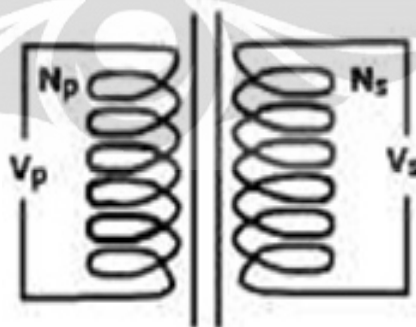
Tabel 2.1 Perbandingan power supply tipe linear dan tipe switching

Spesifikasi	Tipe Linear	Tipe Switching
Pengaturan Beban (Load regulatorion)	0.02-0.01%	0.1-1.0%
Variasi Gelombang Keluaran (Output Ripple)	0.5-2 mVrms	25-100 mVp-p
Variasi Voltase masukan (Input Voltage Range)	+/- 10%	+/- 50%
Efisiensi	40-55%	60-80%

2.5.3 Transformator

Transformator (trafo) adalah alat yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan bolak-balik (AC). Transformator terdiri dari 3 komponen pokok yaitu: kumparan pertama (primer) yang bertindak sebagai input, kumparan kedua (sekunder) yang bertindak sebagai output, dan inti besi yang berfungsi untuk memperkuat medan magnet yang dihasilkan (Malvino, 1994).

Prinsip kerja dari sebuah transformator adalah ketika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, perubahan arus listrik pada kumparan primer menimbulkan medan magnet yang berubah. Medan magnet yang berubah diperkuat oleh adanya inti besi dan dihantarkan inti besi ke kumparan sekunder, sehingga pada ujung-ujung kumparan sekunder akan timbul ggl induksi. Efek ini dinamakan induktansi timbal-balik.



Gambar 2.9 Hubungan antara tegangan primer, jumlah lilitan primer, tegangan sekunder, dan jumlah lilitan sekunder

Hubungan antara tegangan primer, jumlah lilitan primer, tegangan sekunder, dan jumlah lilitan sekunder, dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (2.9)$$

Keterangan: V_p = tegangan primer (volt)

V_s = tegangan sekunder (volt)

N_p = jumlah lilitan primer

N_s = jumlah lilitan sekunder

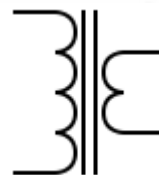
Berdasarkan perbandingan antara jumlah lilitan primer dan jumlah lilitan sekunder transformator ada dua jenis yaitu:

1. Transformator step up yaitu transformator yang mengubah tegangan bolak-balik rendah menjadi tinggi, transformator ini mempunyai jumlah lilitan kumparan sekunder lebih banyak daripada jumlah lilitan primer ($N_s > N_p$).



Gambar 2.10 Skema transformator step up

2. Transformator step down yaitu transformator yang mengubah tegangan bolak-balik tinggi menjadi rendah, transformator ini mempunyai jumlah lilitan kumparan primer lebih banyak daripada jumlah lilitan sekunder ($N_p > N_s$).



Gambar 2.11 Skema transformator step down

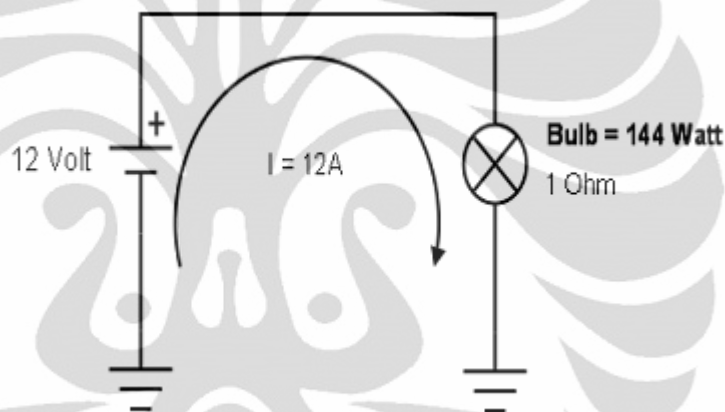
2.6 Amplifier Switching

Definisi umum dari amplifier adalah alat yang bisa meningkatkan amplitudo sinyal input. Ada 2 jenis amplifier yang ada saat ini yaitu linear

amplifier dan switching amplifier . Contoh dari linear amplifier adalah amplifier Class A, Class B dan Class AB. Sedangkan contoh switching amplifier adalah Class D atau ada juga yang menyebut sebagai digital amplifier (Sukarno, 2010).

Switching amplifier pertama kali diajukan pada 1958, namun baru populer setelah banyak perangkat mobile yang membutuhkan amplifier, misalkan HP, PDA, notebook, car audio dan lain-lain. Keunggulan utama dari switching amplifier adalah mampu mencapai efisiensi $> 90\%$ serta penggunaan daya power supply yang lebih efisien.

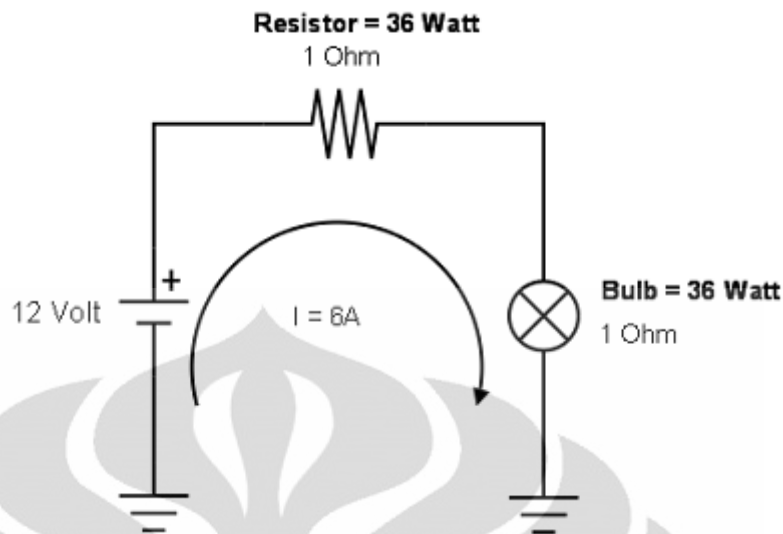
Prinsip dasar dari switching amplifier sangat sederhana, sebagai ilustrasi terlihat seperti pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2.12 Rangkaian lampu sederhana

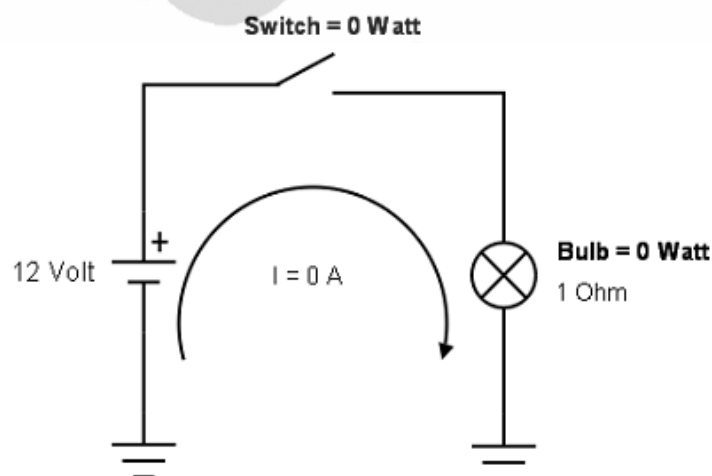
Sebuah sumber tegangan 12 Volt dihubungkan ke sebuah lampu yang memiliki hambatan 1 Ohm. Maka dengan menggunakan hukum Ohm kita bisa menghitung arus yang mengalir ke lampu yaitu sebesar 12 Amper. Dengan menggunakan persamaan $P = V I$ maka kita akan mendapatkan disipasi daya lampu sebesar 144 Watt.

Jika lampu terlalu terang menyalnya maka cara termudah untuk meradupkannya adalah dengan memasang sebuah hambatan sebelum lampu seperti yang terlihat pada **Gambar 2.13**.



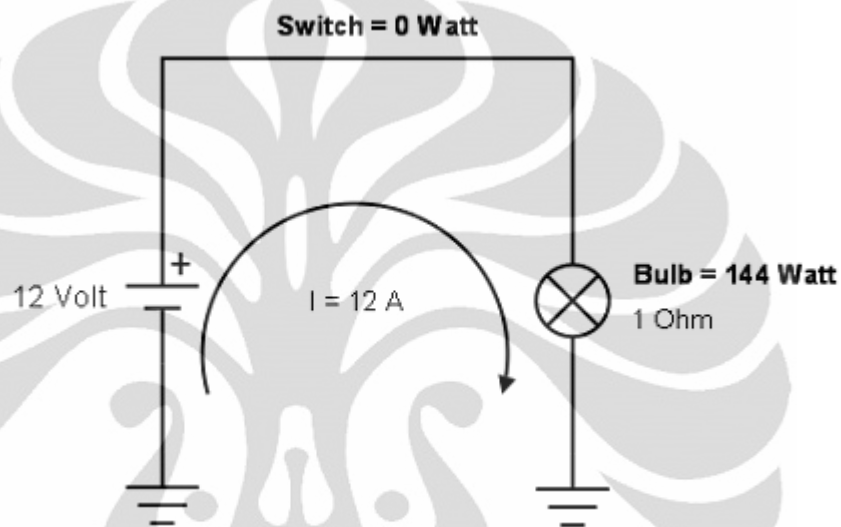
Gambar 2.13 Rangkaian lampu ditambah dengan resistor

Dari gambar di atas dengan mudah kita dapat menghitung hambatan total dalam rangkaian sebesar 2 Ohm, sehingga dengan hukum Ohm kita bisa menghitung besarnya arus yang mengalir sebesar 6 Amper. Untuk tegangan di lampu sekarang menjadi 6 Volt dan tegangan di resistor juga 6 Volt. Sehingga disipasi daya lampu menjadi 36 Watt dan disipasi daya di resistor juga 36 Watt. Jeleknya adalah bahwa disipasi daya yang ada di resistor akan dibuang dalam bentuk panas, dan ini artinya ada daya yang terbuang secara percuma. Oleh karena itu diperlukan cara lain untuk meredupkan lampu tanpa ada daya yang terbuang. Cara tersebut adalah dengan mengganti resistor dengan sebuah saklar seperti terlihat pada **Gambar 2.14**.



Gambar 2.14 Rangkaian lampu sederhana saat saklar terbuka

Agar sebuah saklar bisa meredupkan lampu maka saklar tersebut perlu dibuka atau ditutup (on atau off) dengan kecepatan tertentu. Pada saat saklar terbuka, maka lampu akan mati karena tidak ada arus yang mengalir menuju lampu. Sedangkan jika saklar ditutup maka arus akan mengalir menuju lampu sehingga lampu menyala, seperti yang terlihat pada **Gambar 2.15**.



Gambar 2.15 Rangkaian lampu sederhana saat saklar tertutup

Berbeda dengan menggunakan resistor, maka saklar tidak akan menyerap daya listrik sehingga lampu memperoleh arus dan daya yang maksimum, dan tidak ada daya terbuang akibat berubah menjadi panas. Kecerahan lampu ditentukan oleh tegangan rata-rata yang diakibatkan oleh gerakan buka dan tutup dari switch.

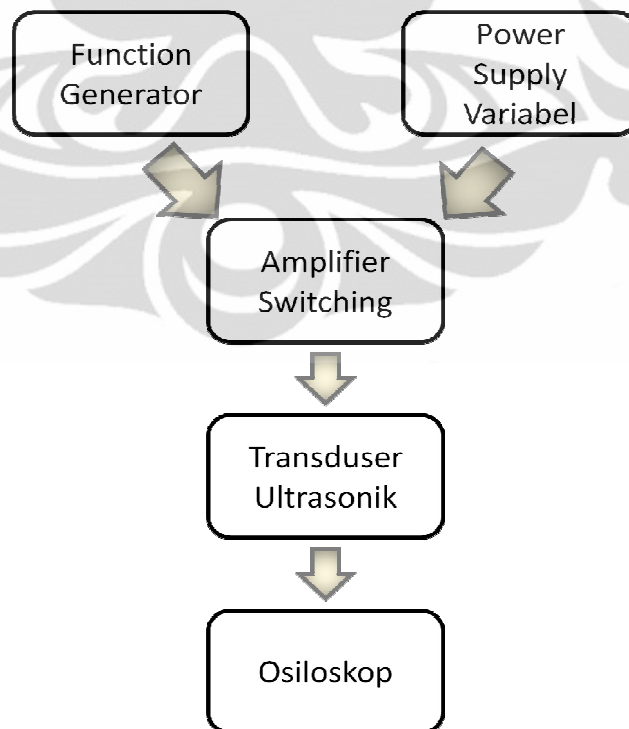
BAB 3

PEMBUATAN DAN PERANCANGAN ALAT

Pada bab ini akan dicoba dijelaskan tentang perancangan perangkat keras (*hardware*) dari rangkaian ultrasonik secara spesifik. Selain itu, pada perancangan perangkat keras rangkaian ultrasonik akan dibahas prinsip kerja masing-masing rangkaian yang menyusun rangkaian ultrasonik ini untuk mengetahui karakteristik transduser ultrasonik berbahan piezoelektrik dan amplifier switching terhadap perubahan frekuensi dan amplitudo.

3.1 Konfigurasi Sistem

Pada bagian ini akan dibahas tentang perancangan perangkat keras dari sistem rangkaian ultrasonik secara spesifik per bagian, beserta prinsip kerjanya. Gambar 3.1 merupakan blok diagram yang digunakan dalam perancangan rangkaian ultrasonik.



Gambar 3.1 Blok diagram sistem

3.2 Perancangan Subsystem

Subsystem perangkat keras terdiri dari beberapa bagian yaitu:

- Power supply variabel
- Function generator
- Perancangan amplifier switching
- Perancangan mekanik transduser ultrasonik untuk membuat tekanan pada transduser ultrasonik agar tidak bergerak

3.3 Power Supply Variabel

Untuk mendapatkan sumber tegangan DC dari AC dibutuhkan power supply. Power supply yang digunakan, yaitu power supply variabel DC untuk memberikan tegangan ± 25 V dengan arus sebesar 1 A. Adapun jenis power supply variabel DC yang digunakan adalah merk Leader. Berikut adalah spesifikasi dari power supply variabel DC ini:

- Interval tegangan : 0 – 6 V, 0 hingga +25 V dan 0 sampai -25 V
- Arus 5 A pada tegangan 0 – 6 V dan arus 1 A pada tegangan 0 hingga +/- 25 V
- Semua output tegangan dan arus dapat diatur
- Ripple : $< 3\text{mVpp}$



Gambar 3.2 Power supply variabel DC Leader

3.4 Function Generator

Pada pengukuran ini digunakan sebuah function generator yang digunakan sebagai input gelombang untuk rangkaian. Penggunaan sebuah function generator ini dimaksudkan agar frekuensi yang dihasilkan sesuai dengan transduser ultrasonik.

Function generator yang digunakan adalah Escort ECG 2218. Escort ECG 2218 adalah function generator produk Escort Electronic Instrument dari Taiwan. Function generator ini mengeluarkan gelombang kotak yang digunakan sebagai input amplifier. Berikut adalah spesifikasi dari generator fungsi ini:

- Interval frekuensi : 0.2 Hz – 2 MHz
- Tegangan Output : < 10 Vpp
- Impedansi Output : $50 \Omega \pm 10\%$
- Level Offset : ± 10 V (dapat diatur)
- Sweep Time : 10 ms – 5 s
- Akurasi : 5 % (amplitude max., 1 kHz, untuk sinus dan segitiga)
- Bentuk gelombang output : Sinus, kotak, segitiga, sinyal TTL / CMOS

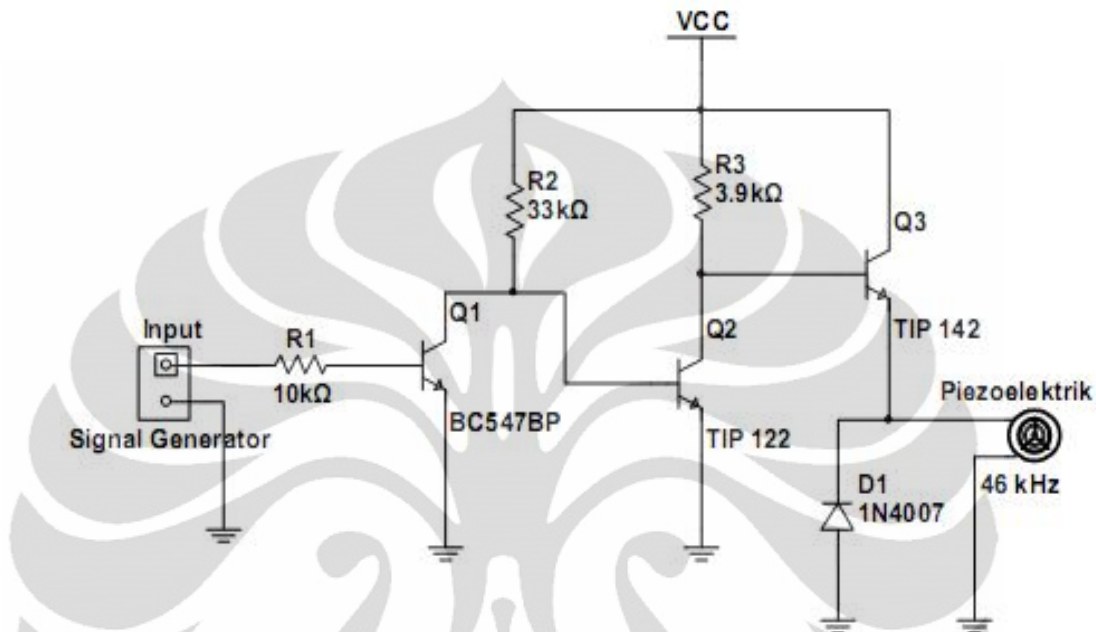


Gambar 3.3 Generator Fungsi Escort EFG 2210

3.5 Perancangan Rangkaian Amplifier Switching

Rangkaian amplifier yang digunakan berfungsi sebagai switching. Untuk membuat rangkaian amplifier harus diperhitungkan terlebih dahulu komponen apa saja yang akan digunakan, berapa nilai komponen yang akan digunakan, dan lain

sebagainya. Selain itu juga perlu mengetahui keadaan lainnya seperti mengetahui bagaimana keadaan suplai catu daya yang akan digunakan dan juga ketersediaan komponen yang ada. Gambar 3.4 merupakan skematik rangkaian amplifier.



Gambar 3.4 Skematik rangkaian amplifier

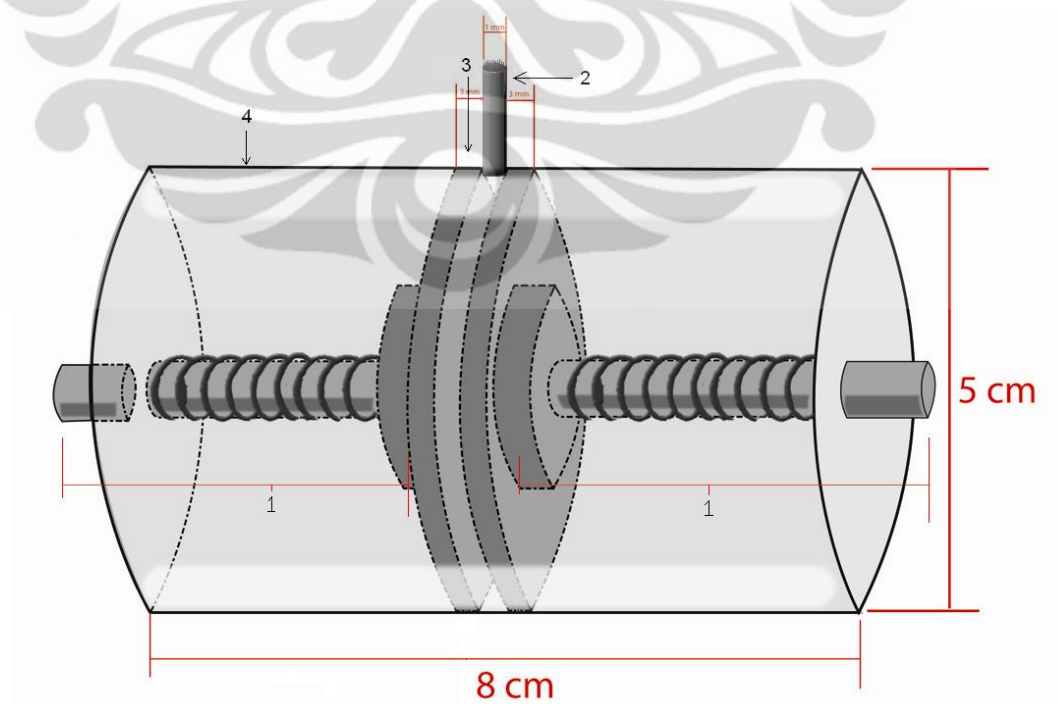
Pada penelitian ini, function generator (signal generator) memberikan input sinyal kotak bolak-balik pada rangkaian amplifier switching. Gelombang kotak digunakan dalam penelitian ini dikarenakan amplifier yang digunakan berfungsi sebagai switching (saklar). Gelombang kotak dapat mempunyai nilai 0 atau 1. Arus keluaran dari function generator (signal generator) sangat kecil untuk melalui transistor TIP 142. Oleh karena itu diperlukan tahapan-tahapan agar arus basis yang diperlukan TIP 142 sesuai untuk mengkondisikan TIP 142 menjadi switch ON.

Tahap pertama arus kecil function generator dikuatkan transistor BC547. Berdasarkan datasheet Fairchild Semiconductor, BC547 mampu mengalirkan arus kolektor sebesar 0.2 A saat transistor kondisi saturasi. Kemudian tahap selanjutnya, arus kolektor yang berasal dari transistor BC547 mengalir ke basis TIP 122. Basis transistor TIP 122 hanya membutuhkan arus 0.12 A agar kondisi transistor TIP 122 saturasi. Saat kondisi transistor TIP 122 switch ON (saturasi),

arus kolektor TIP 122 mampu mengalirkan sebesar 5 A. Arus tersebut mengalir ke basis TIP 142 yang hanya membutuhkan arus 0.5 A untuk mengkondisikan transistor TIP 142 menjadi saturasi dan arus kolektor yang mampu mengalir pada TIP 142 sebesar 10 A, dimana $i_c \approx i_e$ maka arus yang mengalir pada transduser ultrasonik sebesar arus yang melewati kolektor.

3.5 Perancangan Mekanik Transduser Ultrasonik

Bahan yang digunakan untuk membuat mekanik transduser ultrasonik terbuat dari nylon. Nylon merupakan bahan isolator, sehingga tidak terhubung langsung dengan transduser ultrasonik. Transduser ultrasonik yang digunakan terdiri dari 2 buah. Transduser ultrasonik pertama berfungsi sebagai transmitter gelombang ultrasonik. Sedangkan transduser ultrasonik kedua sebagai receiver yang berfungsi untuk melihat gelombang output yang dihasilkan transduser ultrasonik. Kedua transduser ultrasonik tersebut diletakkan di tengah mekanik transduser ultrasonik kemudian ditekan konduktor berbahan kuningan di kedua sisi. Diantara kedua transduser ultrasonik disisipkan kabel serabut sebagai konduktor negatif.



Gambar 3.5 Mekanik transduser ultrasonik

- Keterangan:
1. Pendorong transduser ultrasonik berbahan kuningan berfungsi sebagai elektroda positif dengan per tekan dikelilingnya
 2. Kabel serabut sebagai elektroda negatif
 3. Transduser ultrasonik dengan diameter 50 x 3 mm
 4. Tabung mekanik transduser ultrasonik dengan tutup kedua sisi terbuat dari nylon (bahan isolator)



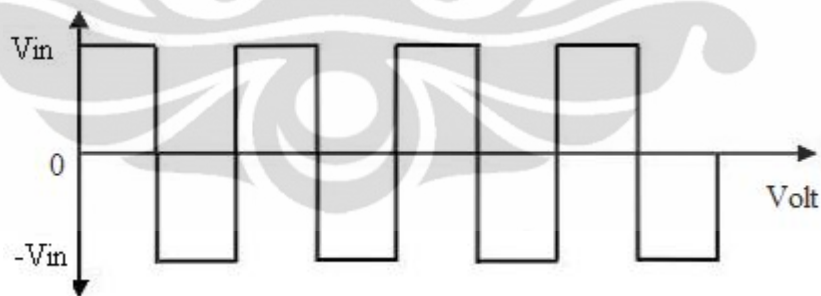
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai beberapa pengujian dan analisa pada sistem yang telah dikerjakan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem apakah telah berfungsi seperti apa yang diharapkan dan menganalisa apabila terjadi kegagalan. Pengujian dilakukan satu-persatu dari pengujian awal hingga ke pengujian sistem-sistem lainnya yang mendukung proses pengukuran. Pengujian yang dilakukan meliputi pengamatan terhadap perubahan amplitudo dan frekuensi pada rangkaian amplifier dan transduser piezoelektrik.

4.1 Pengujian Frekuensi Output Amplifier

Bentuk sinyal output dari amplifier yang diharapkan adalah seperti pada **Gambar 4.1**. Dimana bentuknya adalah gelombang kotak dengan tegangan output sebesar $\pm V_{in}$. Tegangan V_{in} positif terjadi pada fase pertama dan tegangan $-V_{in}$ terjadi pada fase kedua.

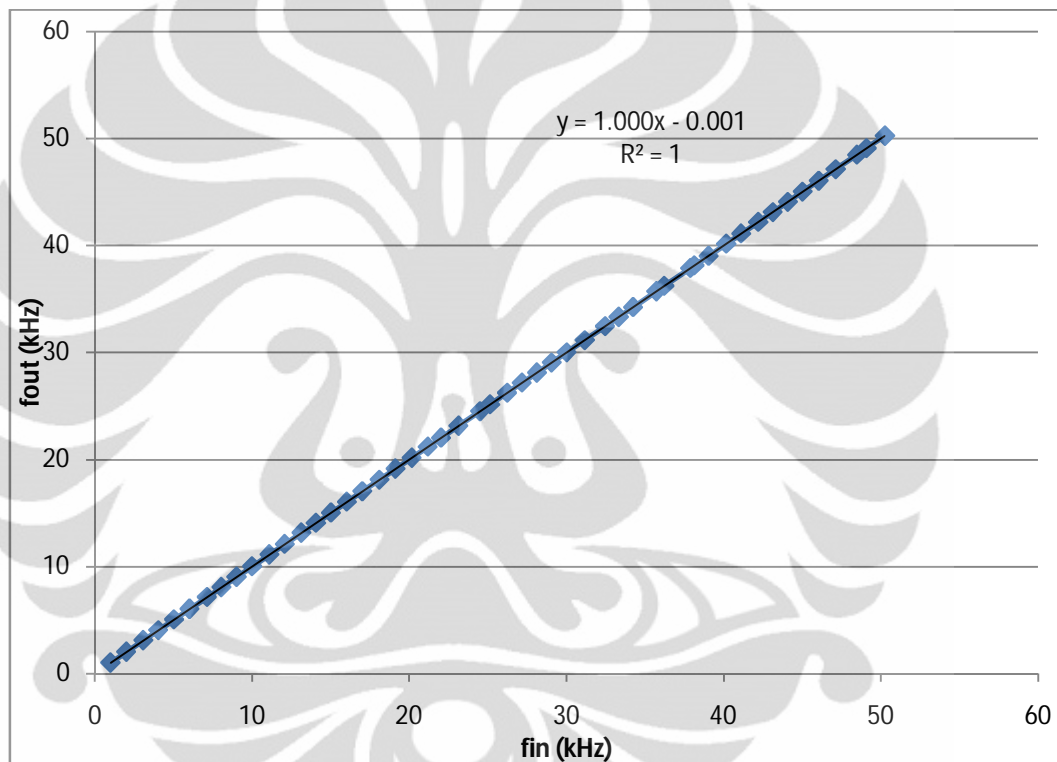


Gambar 4.1 Sinyal gelombang kotak bolak-balik dengan duty cycle 50%

Pengujian amplifier dilakukan tanpa dihubungkan dengan transduser ultrasonik dengan menggunakan tegangan power supply sebesar ± 25 Vdc. Power supply yang digunakan power supply tracking dc dengan spesifikasi arus sebesar 1 A pada tegangan -25 V hingga 25 V. Pengujian dilakukan tanpa dihubungkan

transduser ultrasonik melainkan langsung diukur menggunakan osiloskop. Jenis osiloskop yang digunakan merk GW 50 MHz.

Frekuensi output yang dihasilkan ternyata seperti yang diharapkan ketika amplitudo 2 V. Dengan memvariasikan frekuensi input (f_{in}) 1 kHz - 50 kHz dihasilkan frekuensi output (f_{out}) seperti pada Gambar 4.2 pada saat power supply diberi tegangan 50 V. Berikut ini gambar grafik hubungan f_{in} dengan f_{out} pada output amplifier yang diambil setiap rentang 1 kHz.

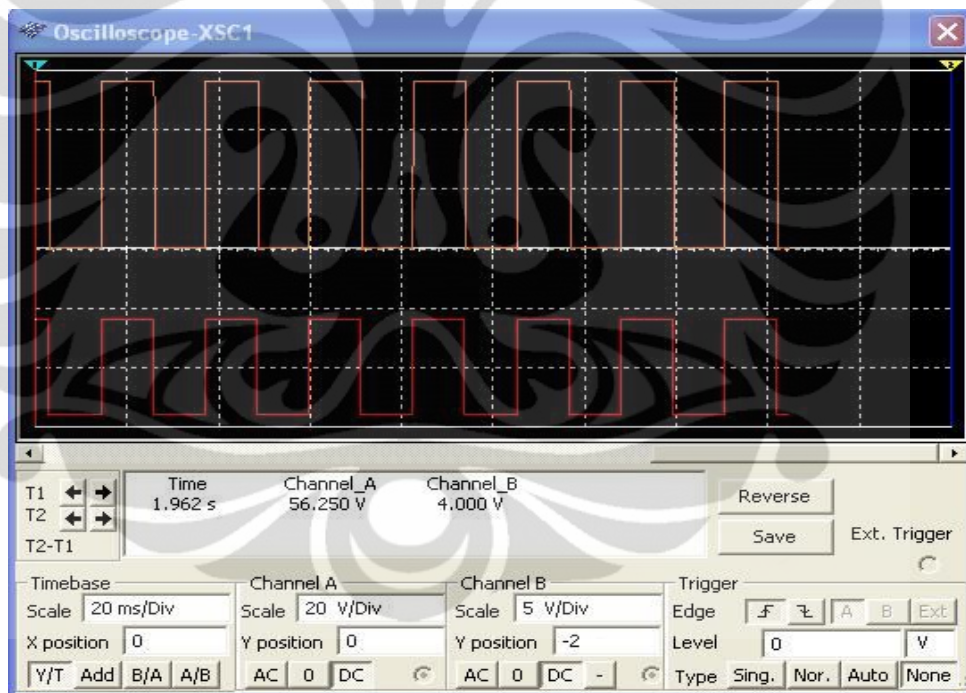


Gambar 4.2 Grafik hubungan f_{in} dengan f_{out} pada amplifier switching (tidak dihubungkan transduser) saat amplitudo 2 V dan power supply 50 V

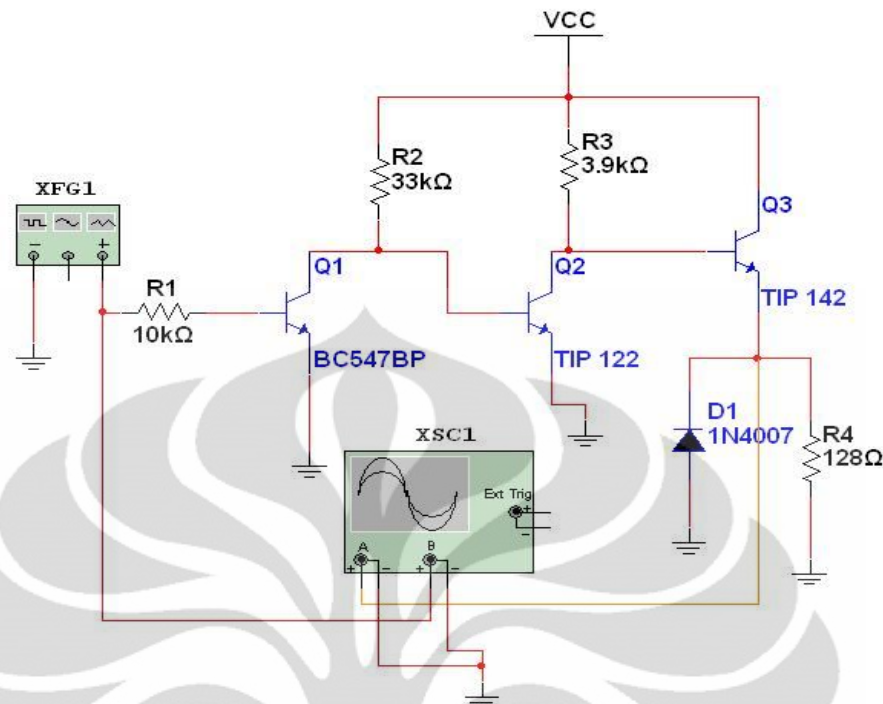
Berdasarkan hasil pengujian frekuensi output amplifier terlihat dengan jelas bahwa semakin besar frekuensi input maka frekuensi output yang dihasilkan juga akan semakin besar. Perubahan frekuensi output dengan frekuensi input tidak terlalu besar, dari grafik **Gambar 4.2** terlihat hubungan yang dihasilkan cukup linear. Namun tetap saja terdapat perbedaan hasil frekuensi input dengan frekuensi output. Faktor yang menyebabkan bermacam-macam antara lain output transistor pada rangkaian amplifier switching tidak stabil. Hal ini disebabkan transistor pada rangkaian amplifier switching semakin panas karena terlalu lama

digunakan, sehingga kemampuan transistor pada rangkaian amplifier switching berkurang.

Pada program simulasi, digunakan Multisim 10. Function generator (virtual) sebagai sumber sinyal kotak pada input. Pada Multism komponen transduser ultrasonik tidak ada sehingga penulis menggunakan hambatan sebesar 128 ohm sebagai pengganti tansduser ultrasonik. Dari perancangan program yang ideal ini, dapat dilakukan penentuan nilai komponen sinyal yang akan disesuaikan dengan komponen-komponen sinyal yang sesungguhnya. Berikut ini merupakan simulasi bentuk gelombang frekuensi output dan input pada rangkaian amplifier switching:



Gambar 4.3 Bentuk sinyal frekuensi ouput dan input pada rangkaian amplifier switching saat amplitudo 2 V dan power supply 50 V



Gambar 4.4 Rangkaian simulasi frekuensi output rangkaian amplifier switching

Dari hasil simulasi pada **Gambar 4.3** terlihat bahwa pada channel b gelombang frekuensi input terhadap channel a gelombang frekuensi output sefase. Gelombang ini seperti pada lampiran 1 yang merupakan data pengujian frekuensi output amplifier. Bentuk gelombang yang diperoleh ketika pengujian sefase dan berbeda fase hanya beberapa derajat, maka penulis menganggap hasil bentuk gelombang pengujian sefase.

4.2 Pengukuran Tegangan rms Amplifier

Secara teori tegangan rms merupakan rata-rata kuadrat dari beberapa titik tegangan sinyal listrik dalam satu periode, hasil rata-rata ini kemudian diakarkan. Secara praktis tegangan rms merupakan tegangan yang terukur oleh alat ukur listrik misalkan multimeter.

Secara matematika maka tegangan rms dianggap sebagai fungsi rms dimana dapat dituliskan seperti pada persamaan 4.1 di bawah ini.

$$f_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} [f(t)]^2 dt} \quad (4.1)$$

Bentuk sinyal output dari ultrasonik generator adalah gelombang kotak. Jika duty cycle gelombang kotak tersebut adalah 50% maka dengan menggunakan

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} [Vp(t)]^2 dt} < 0.5$$

Persamaan diatas menghasilkan :

$$V_{rms} = V_p \sqrt{\frac{1}{0.5} \int_0^{0.5} dt}$$

Untuk periode 0 sampai 0.5 periode maka menghasilkan:

$$V_{rms} = V_p \quad (4.2)$$

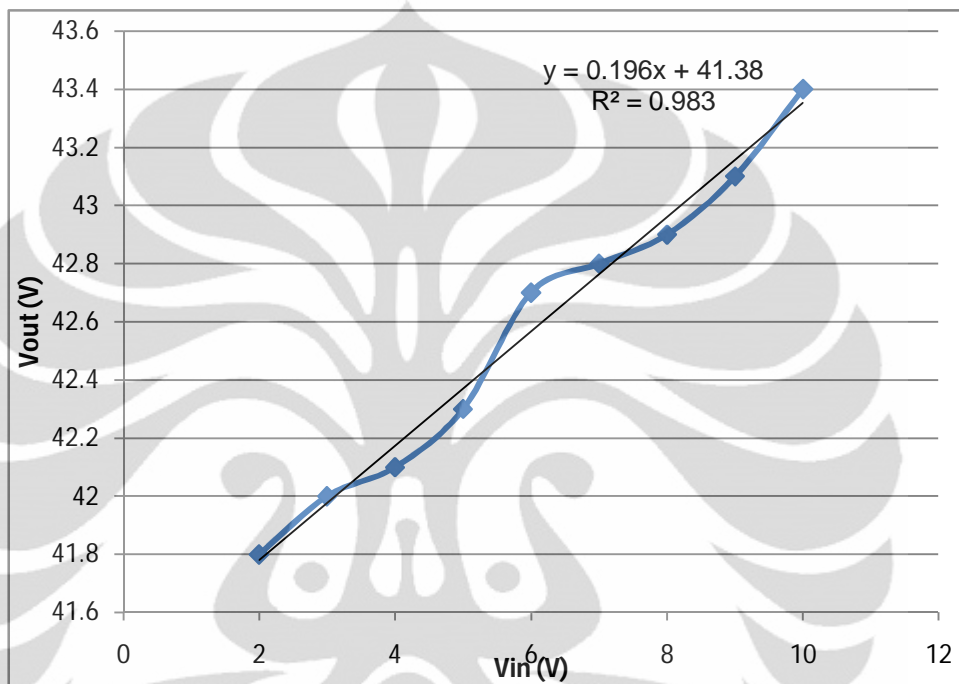
Pengukuran tegangan rms dilakukan dengan menggunakan alat ukur multimeter digital merk Sanwa. Ujicoba dilakukan dengan memvariasikan tegangan input. Power supply yang digunakan adalah power supply variabel DC dengan tegangan konstan 50 Volt.

Tabel 4.1 di bawah ini menunjukkan hasil pengukuran tegangan rms pada output amplifier dengan frekuensi 44.03 Khz dan duty cycle 50%.

Tabel 4.1 Pengukuran tegangan rms pada amplifier dengan frekuensi 44.03 kHz dan power supply 50 V

Vin (V)	Vout (Vrms)
2	41.8
3	42
4	42.1
5	42.3

6	42.7
7	42.8
8	42.9
9	43.1
10	43.4



Gambar 4.5 Grafik pengukuran tegangan rms pada amplifier dengan frekuensi 44.03 kHz

Berdasarkan grafik dan data yang diperoleh, semakin besar tegangan input maka tegangan rms rangkaian amplifier switching yang dihasilkan semakin besar pula. Dengan demikian rangkaian amplifier switching bekerja dengan baik. Tetapi hal tersebut tidak terlalu signifikan mempengaruhi output rangkaian amplifier switching. Sehingga penulis menggunakan tegangan input 4 volt untuk menjaga rangkaian amplifier switching tetap aman.

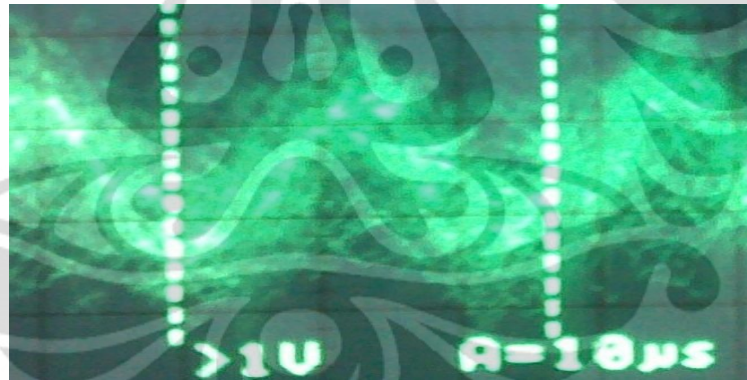
4.3 Pengujian Output Transduser Ultrasonik

Pengujian transduser ultrasonik disini dilakukan untuk melihat resonansi maksimum transduser ultrasonik. Tujuannya disini ingin melihat melihat serta

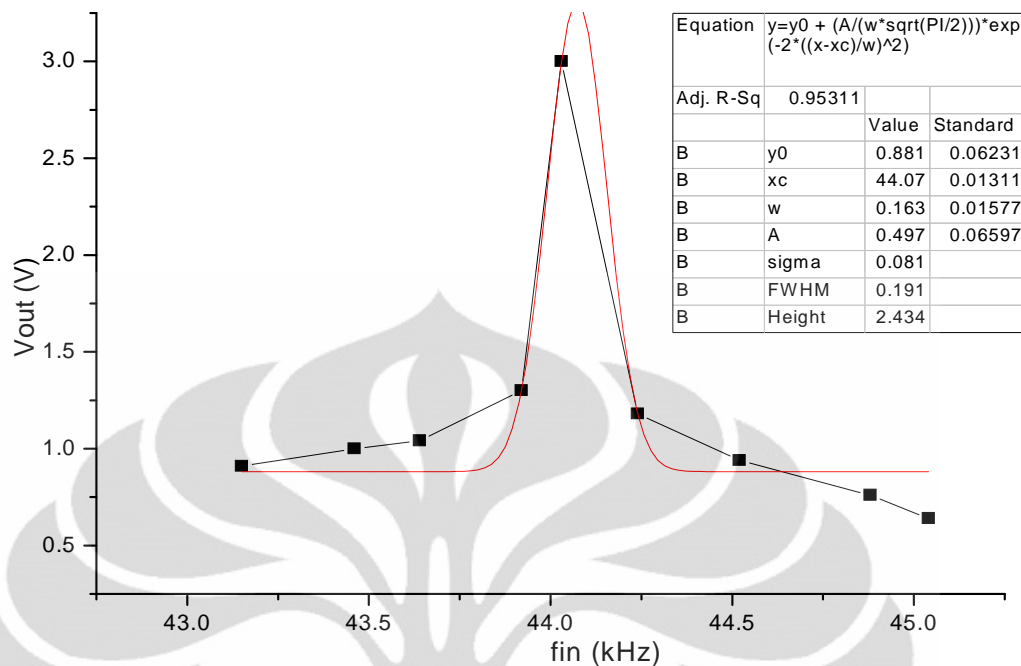
mengetahui bagaimana perubahan nilai keluaran dan respon transduser ultrasonik dengan cara mengukur dengan osiloskop pada keluaran mekanika transduser ultrasonik dan juga menggunakan multimeter untuk mengukur frekuensi input.

Tabel 4.2 Respon output transduser ultrasonik

f_{in_1} (kHz)	Vout (Vpp)	Keadaan Transduser Ultrasonik
43.15	0.91	mulai perlahan bergetar
43.46	1	bergetar pelan
43.64	1.04	bergetar pelan
43.92	1.3	bergetar
44.03	3	resonansi max
44.24	1.18	bergetar
44.52	0.94	bergetar pelan
44.88	0.76	bergetar pelan
45.04	0.64	mulai perlahan tidak bergetar



Gambar 4.6 Bentuk gelombang tegangan output transduser ultrasonik



Gambar 4.7 Respon tegangan output (Vout) pada transduser ultrasonik terhadap variasi nilai frekuensi input (fin)

Dari hasil pengujian output didapatkan data pengujian output transduser ultrasonik seperti terlihat pada **Tabel 4.2**. Dari data yang didapat diplot grafik respon tegangan output transduser ultrasonik terhadap frekuensi input pada **Gambar 4.7**. Resonansi maksimum yang diperoleh dari pengujian output transduser ultrasonik saat frekuensi 44,03 kHz. Di mana hal tersebut disebabkan oleh material piezoelektriknya yang dapat menghasilkan gelombang ultrasonik. Pada penggunaan generator fungsi dalam pengujian transduser ultrasonic tidak sesuai dengan frekuensi yang diberikan, panel frekuensi generator fungsi sangat sensitive dapat berubah-ubah karena range panelnya sangat besar. Sehingga bentuk gelombang resonansi maksimum yang dihasilkan transduser ultrasonic mempunyai noise. Bentuk gelombang tersebut bergetar karena disebabkan noise yang dihasilkan generator fungsi tersebut.

4.4 Pengukuran Daya Output Transduser Ultrasonik

Secara umum untuk menghitung daya dapat ditulis dalam persamaan :

$$P = V I \quad (4.3)$$

atau dapat pula ditulis:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (4.4)$$

Karena tegangan keluaran dari amplifier adalah bolak-balik maka persamaan di atas berubah menjadi :

$$P_{rms} = \frac{V_{rms}^2}{R} \quad (4.5)$$

Berikut ini merupakan hasil pengukuran dan simulasi daya output pada transduser ultrasonik dengan hambatan sebesar 1 ohm:

Tabel 4.3 Hasil pengukuran daya output transduser ultrasonik

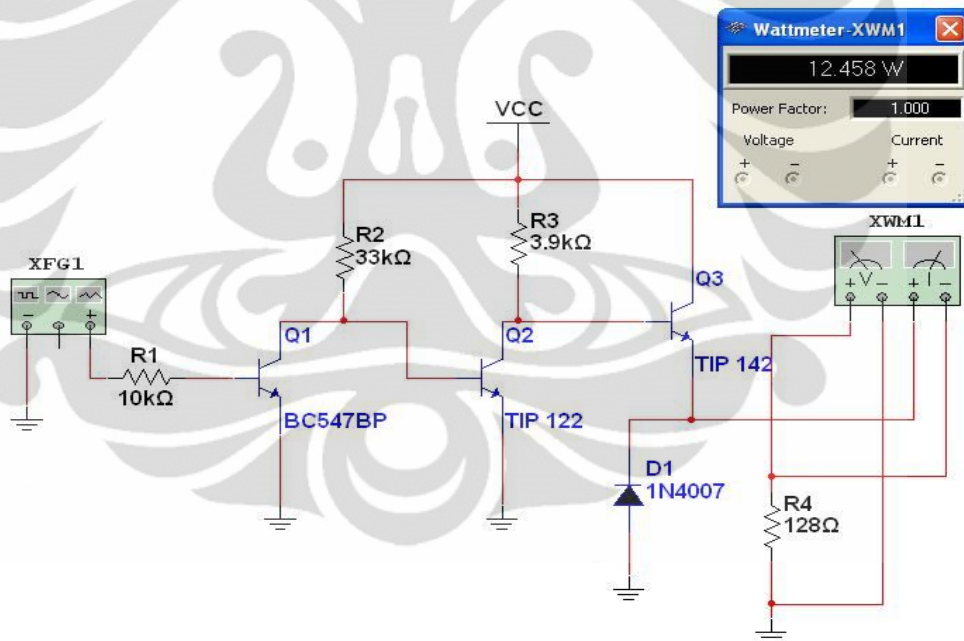
V _{cc} (V)	V _{transduser} (V)	V _{total} (V)	Daya (Watt)
50	42.5	42.7	8.5
54	42.6	42.9	12.78
55	43.3	43.6	12.99
60	43.5	43.9	17.4
64	43.9	44.4	21.95

Pada **Tabel 4.3** merupakan data pengukuran daya output transduser ultrasonic. Daya output tersebut diperoleh dari pengukuran tegangan total dikurangkan dengan pengukuran tegangan transduser. Hasil pengurangan tersebut kemudian dikalikan dengan resistor sebesar 1 ohm sehingga diperoleh daya output transduser ultrasonic. Kendala dalam pengambilan data pengukuran daya output transduser ultrasonic, tidak menggunakan tang penjepit pengukur watt melainkan menggunakan multimeter untuk mengukur tegangan.

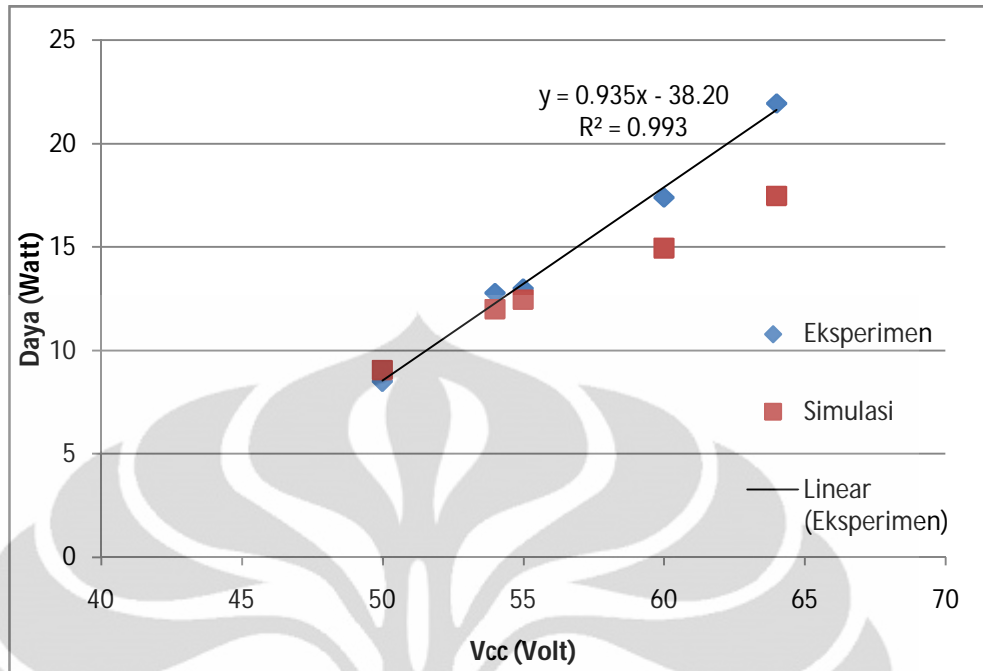
Di program Multisim tidak ada komponen transduser ultrasonik, maka penulis menggunakan hambatan sebesar 128 ohm sebagai pengganti transduser ultrasonik.

Tabel 4.4 Hasil simulasi daya output transduser ultrasonik

Vcc (V)	Daya (Watt)
50	9.039
54	11.973
55	12.458
60	14.935
64	17.455



Gambar 4.8 Rangkaian simulasi daya output transduser ultrasonik



Gambar 4.9 Grafik perubahan daya output transduser ultrasonik terhadap tegangan power supply

Berdasarkan data hasil pengukuran **Tabel 4.2** dan hasil simulasi **Tabel 4.3**, daya output yang diperoleh tidak mengalami perbedaan yang signifikan. Grafik **Gambar 4.9** memperlihatkan respon linear dengan bertambahnya tegangan input yang diberikan terhadap daya output yang dihasilkan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan perencanaan dan pembuatan alat serta pengujian dan analisis, maka dapat ditarik kesimpulan, yaitu:

- Prinsip kerja transduser ultrasonik berbahan piezoelektrik sesuai dengan penulis tulis pada teori dasar. Apabila transduser diberi energi listrik, maka transduser akan bergetar. Dan sebaliknya, apabila transduser diberi energi mekanik (getaran) maka transduser dapat mengeluarkan energi listrik.
- Daerah kerja resonansi transduser ultrasonik berbahan piezoelektrik terjadi pada saat 44,03 kHz.
- Respon frekuensi output (fout) pada rangkaian amplifier switching mendekati frekuensi input (fin).
- Besarnya power supply berpengaruh pada daya output. Semakin besar power supply maka daya output semakin besar. Dan semakin kecil power supply maka daya output semakin kecil pula.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, hasil yang diperoleh masih banyak terdapat kekurangan baik dalam proses pengukuran maupun perhitungan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan pada penelitian yang akan datang diperlukan beberapa perbaikan dan peningkatan, diantaranya :

- Rangkaian transduser ultrasonik ini memerlukan komponen resonator agar dapat diaplikasikan pada alat *ultrasonic cleaner*.
- Keterbatasan power supply yang digunakan untuk memberikan daya output maksimum pada transduser ultrasonik.

- Perlu merancang rangkaian generator ultrasonik yang mampu beroperasi frekuensi tinggi untuk memberikan memberikan input sinyal bolak-balik pada rangkaian transduser ultrasonik.



DAFTAR REFERENSI

- Acoustic Impedance*. [Online] [Cited: Februari 5, 2011.] <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Introduction/description.htm>.
- Fairchild Semiconductor Corporation*. [Online] 2001. [Cited: Maret 3, 2011.] <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/BC547.pdf>.
- Fairchild Semiconductor Corporation*. [Online] 2001. [Cited: Maret 3, 2011.] <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/TIP122.pdf>.
- Fairchild Semiconductor Corporation*. [Online] 2001. [Cited: Maret 3, 2011.] <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/TIP142.pdf>.
- Refraction and Snells Law*. [Online] [Cited: Februari 5, 2011.] <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Introduction/description.htm>.
- Sounds Propagation in Elastic Materials*. [Online] [Cited: Februari 5, 2011.] <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Introduction/description.htm>.
- Wave Propagation*. [Online] [Cited: Februari 5, 2011.] <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Introduction/description.htm>.
- Cheeke, J. and N., David.** *Fundamentals and Applications of Ultrasonic Wave*. Florida : CRC Press LLC, 2002.
- Crowell, Benjamin.** *Vibrations and Waves*. California : Light and Matter, 2008.
- Fuchs, F. John.** *Ultrasonic Cleaning: Fundamental Theory and Application*. New York : Blackstone Ultrasonic, 2002.
- Halliday, David dan Resnick, Robert.** *Fisika*. [penerj.] Pantur Silaban dan Erwin Sucipto. Jakarta : Erlangga, 1997.
- Full-Bridged MOS-FET DC-to-RF inverter for Use with High-Power Ultrasonic Transducer*. **Ikeda, H., et al.** 1994, IEEE IECON, pp. 108-111.
- Malvino, Albert Paul.** *Prinsip-Prinsip Elektronika*. [trans.] M. Barmawi and M.O. Tjia. Ketiga. Jakarta : Erlangga, 1994.

Pain, H. J. *Physics of Vibrations and Waves*. 5th Edition. Chichester : John Wiley & Sons, 1999.

Sukarno. *Ultrasonic Generator dengan Frekuensi Maksimum 100 kHz dan Daya 100 Watt Berbasis Mikrokontroler AVR ATTINY2313*. Departemen Fisika, Universitas Indonesia. Depok : s.n., 2010.



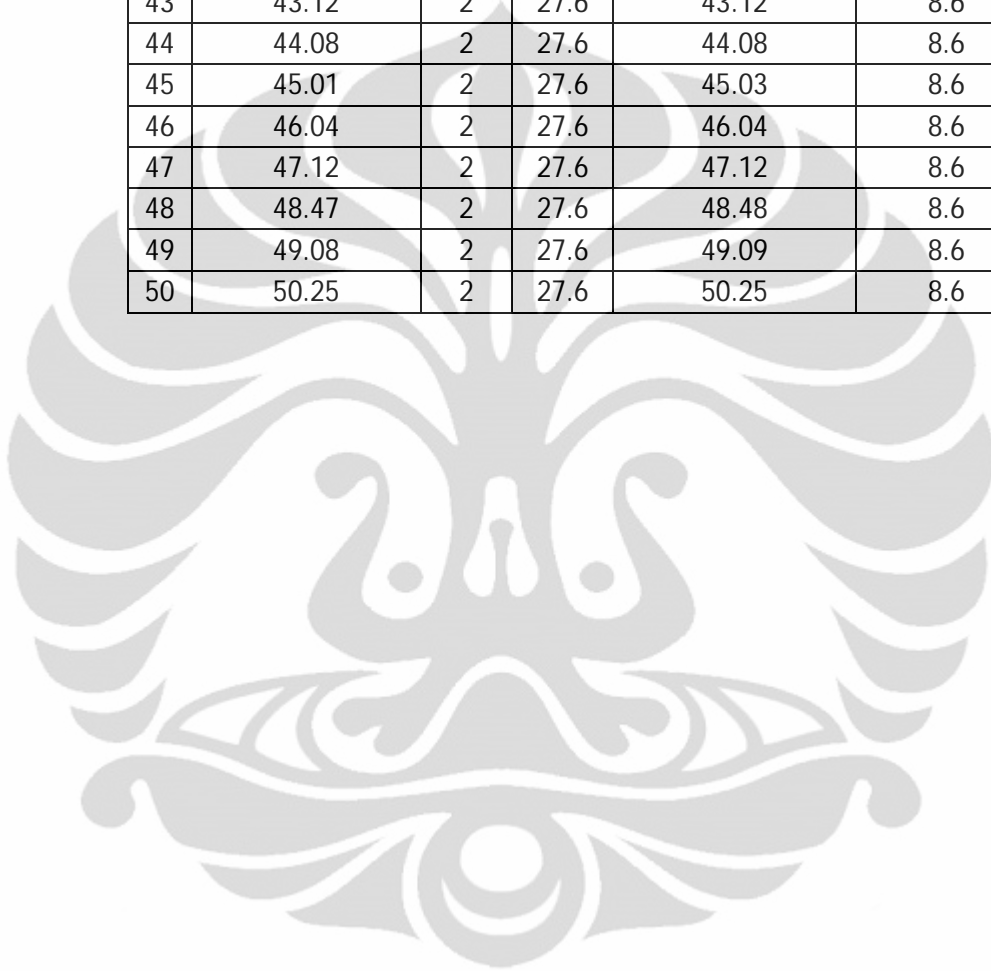
LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Tabel 1 Hubungan f_{in} dengan f_{out} pada power amplifier saat saat amplitudo 2 V dan power supply 50 V

No	f_{in} osiloskop(kHz)	A_{in} (V)	A_{out} (V)	f_{out} osiloskop(kHz)	beda fase (°)
1	1.01	2	27.6	1.01	0
2	2.016	2	27.6	2.016	0
3	3.092	2	27.6	3.092	0
4	4.048	2	27.6	4.048	0
5	5.044	2	27.6	5.044	0
6	6.032	2	27.6	6.032	0
7	7.142	2	27.6	7.142	0
8	8.064	2	27.6	8.064	0
9	9.03	2	27.6	9.03	0
10	10.01	2	27.6	10.01	0
11	11.11	2	27.6	11.11	0
12	12.09	2	27.6	12.09	0
13	13.15	2	27.6	13.15	0
14	14.07	2	27.6	14.07	0
15	15.03	2	27.6	15.03	0
16	16.04	2	27.6	16.04	0
17	17.02	2	27.6	17.02	0
18	18.11	2	27.6	18.11	0
19	19.13	2	27.6	19.13	0
20	20.16	2	27.6	20.16	2.8
21	21.18	2	27.6	21.18	2.8
22	22.03	2	27.6	22.03	2.8
23	23.14	2	27.6	23.14	2.8
24	24.51	2	27.6	24.51	2.8
25	25.14	2	27.6	25.14	2.8
26	26.23	2	27.6	26.23	2.8
27	27.17	2	27.6	27.17	2.8
28	28.12	2	27.6	28.12	2.8
29	29.06	2	27.6	29.06	2.8
30	30.01	2	27.6	30.01	5.7
31	31.16	2	27.6	31.15	5.7
32	32.46	2	27.6	32.45	5.7
33	33.32	2	27.6	33.32	5.7
34	34.24	2	27.6	34.23	5.7
35	35.71	2	27.6	35.71	5.7

36	36.23	2	27.6	36.22	5.7
37	37.88	2	27.6	37.88	5.7
38	38.14	2	27.6	38.14	5.7
39	39.04	2	27.6	39.03	5.7
40	40.16	2	27.6	40.16	5.7
41	41.11	2	27.6	41.12	5.7
42	42.19	2	27.6	42.19	5.7
43	43.12	2	27.6	43.12	8.6
44	44.08	2	27.6	44.08	8.6
45	45.01	2	27.6	45.03	8.6
46	46.04	2	27.6	46.04	8.6
47	47.12	2	27.6	47.12	8.6
48	48.47	2	27.6	48.48	8.6
49	49.08	2	27.6	49.09	8.6
50	50.25	2	27.6	50.25	8.6




LAMPIRAN 2

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR

TIP120/121/122

Medium Power Linear Switching Applications
Complementary to TIP129/12A/2F

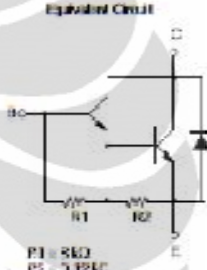


NPN Epitaxial Darlington Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units	
V_{CB0}	Collector-Base Voltage	TIP120	60	V
		TIP121	80	V
		TIP122	100	V
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage	TIP120	60	V
		TIP121	80	V
		TIP122	100	V
V_{EB0}	Emitter-Base Voltage	5	V	
I_C	Collector Current (DC)	5	A	
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	9	A	
I_B	Base Current (DC)	120	mA	
P_C	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	2	W	
	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	65	W	
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$	
T_{STG}	Storage Temperature	-55 - 150	$^\circ\text{C}$	

Equivalent Circuit



$R1 = 8k\Omega$
 $R2 = 3.02k\Omega$

Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Max.	Units
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 1.0\text{A}, I_B = 0$	6C		V
			8C		V
			100		V
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = 50\text{V}, I_B = 0$		0.5	mA
		$V_{CE} = 40\text{V}, I_B = 0$		0.5	mA
		$V_{CE} = 50\text{V}, I_B = 0$		0.5	mA
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB} = 60\text{V}, I_E = 0$		0.2	mA
		$V_{CB} = 80\text{V}, I_E = 0$		0.2	mA
		$V_{CB} = 100\text{V}, I_E = 0$		0.2	mA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{BE} = 5\text{V}, I_C = 0$		2	mA
β_{DC}	DC Current Gain	$V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 15\text{A}$	100C		
		$V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 3\text{A}$	100C		
$V_{CE(sat)}$	* Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 3\text{A}, I_B = 1.3\text{mA}$ $I_C = 5\text{A}, I_B = 20\text{mA}$		2.0 4.0	V
$V_{BE(on)}$	* Base-Emitter ON Voltage	$V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 3\text{A}$		2.5	V
C_{out}	Output Capacitance	$V_{CE} = 13\text{V}, I_C = C, f = 0.1\text{MHz}$		20C	pF


* Data File: PWS011a, May 2002

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation


Rev. 01 Jun 2001

LAMPIRAN 3

TIP140/141/142



TIP140/141/142



TO-3P
1.Base 2.Collector 3.Emmitter

Monolithic Construction With Built In Base-Emitter Shunt Resistors

- High DC Current Gain: $h_{FE} = 1000 @ V_{CE} = 4V, I_C = 5A$ (Min.)
- Industrial Use
- Complement to TIP145/146/147

NPN Epitaxial Silicon Darlington Transistor


Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	: TIP140	60 V
		: TIP141	80 V
		: TIP142	100 V
V_{CEO}	Collector-Emmitter Voltage	: TIP140	60 V
		: TIP141	80 V
		: TIP142	100 V
V_{EBO}	Emmitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	10	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	15	A
I_B	Base Current (DC)	0.5	A
P_C	Collector Dissipation ($T_C = 25^\circ C$)	125	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ C$
T_{STG}	Storage Temperature	-65 - 150	$^\circ C$

Electrical Characteristics $T_C = 25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
$V_{CE0(sus)}$	Collector-Emmitter Sustaining Voltage	$I_C = 30mA, I_B = 0$: TIP140	60		V
			: TIP141	80		V
			: TIP142	100		V
I_{CEO}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = 30V, I_B = 0$ $V_{CE} = 40V, I_B = 0$ $V_{CE} = 50V, I_B = 0$			2	mA
					2	mA
					2	mA
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB} = 60V, I_E = 0$ $V_{CB} = 80V, I_E = 0$ $V_{CB} = 100V, I_E = 0$			1	mA
					1	mA
					1	mA
I_{EBO}	Emmitter Cut-off Current	$V_{BE} = 5V, I_C = 0$			2	mA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE} = 4V, I_C = 5A$ $V_{CE} = 4V, I_C = 10A$	1000			
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emmitter Saturation Voltage	$I_C = 5A, I_B = 10mA$ $I_C = 10A, I_B = 40mA$			2	V
					3	V
$V_{BE(sat)}$	Base-Emmitter Saturation Voltage	$I_C = 10A, I_B = 40mA$			3.5	V
$V_{BE(on)}$	Base-Emmitter ON Voltage	$V_{CE} = 4V, I_C = 10A$			3	V
t_D	Delay Time	$V_{OC} = 30V, I_C = 5A$		0.15		μs
t_R	Rise Time	$I_{B1} = 20mA, I_{B2} = -20mA$		0.55		μs
t_{STG}	Storage Time	$R_L = 6\Omega$		2.5		μs
t_F	Fall Time			2.5		μs

Equivalent Circuit



R1 = 84Ω
R2 = 0.12kΩ

©2000 Fairchild Semiconductor International
Rev. A February 2000

LAMPIRAN 4

Philips Semiconductors

Product specification

NPN general purpose transistors

BC546; BC547

FEATURES

- Low current (max. 100 mA)
- Low voltage (max. 85 V).

APPLICATIONS

- General purpose switching and amplification.

DESCRIPTION

NPN transistor in a TO-18; SOT54 plastic package.
PNP complements: BC556 and BC557.

PINNING

PN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector

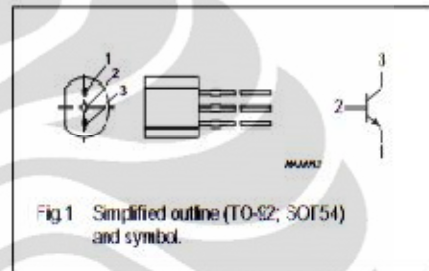


Fig. 1 Simplified outline (TO-18; SOT54) and symbol.

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CB0}	collector-base voltage	open emitter	-	80	V
	BC546		-	50	V
V_{CE0}	collector-emitter voltage	open base	-	65	V
	BC547		-	45	V
V_{BE0}	emitter-base voltage	open collector	-	6	V
	BC547		-	6	V
I_C	collector current (DC)		-	100	mA
I_{CM}	peak collector current		-	200	mA
I_{BM}	peak base current		-	200	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$; note 1	-	500	mW
T_{stg}	storage temperature		-65	+150	$^\circ\text{C}$
T_J	junction temperature		-	150	$^\circ\text{C}$
T_{amb}	operating ambient temperature		-65	+150	$^\circ\text{C}$

Note

1. Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board.

LAMPIRAN 5

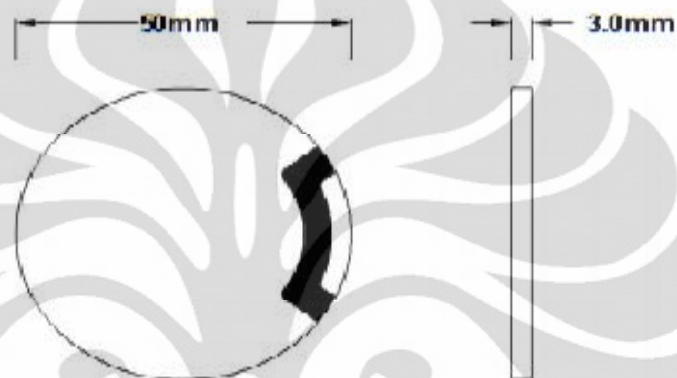
Specification

Piezoelectric Ceramic Element

Part No: ANN-P4F50030

Unit: mm

Dimension: $\Phi 50 \times 3.0$ (mm)



Piezoelectric Material: PZT-4

Silver Electrodes: on the same side

Electrical Characteristics:

1. Resonant Frequency (fs)	: 46.0 \pm 5% KHz
2. Capacitance (C)	: 5800 pf \pm 12.5%
3. Impedance	: $\leq 15\Omega$
4. Electromechanical coupling coefficient (Kt)	: ≥ 0.54
5. Dielectric dissipation factor (tan δ)	: ≤ 0.50
6. Piezoelectric charge coefficient (d ₃₃)	: 250 $\times 10^{-12}$ C/N
7. Mechanical quality factor (Qm)	: ≥ 500
8. Curie temperature (Tc)	: 310°C