



UNIVERSITAS INDONESIA

***ULTRASONIC GENERATOR* DENGAN FREKUENSI MAKSIMUM
100 KHz DAN DAYA 100 WATT BERBASIS MIKROKONTROLER
AVR ATTINY2313**

TESIS

**SUKARNO
0706172134**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
MAGISTER FISIKA
JAKARTA
MEI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

***ULTRASONIC GENERATOR DENGAN FREKUENSI MAKSIMUM
100 KHz DAN DAYA 100 WATT BERBASIS MIKROKONTROLER
AVR ATTINY2313***

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Magister

**SUKARNO
0706172134**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
MAGISTER FISIKA
DEPOK
MEI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : SUKARNO

NPM : 0706172134

Tanda Tangan :

Tanggal : 18 MEI 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh :

Nama : SUKARNO

NPM : 0706172134

Program Studi : Magister Fisika

Judul Tesis : *Ultrasonic Generator* Dengan Frekuensi Maksimum
100 Khz Dan Daya 100 Watt Berbasis Mikrokontroler
AVR ATTINY2313

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

DEWAN PENGUJI

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

Penguji : Prof. Dr. B.E.F. Da Silva, MSc,DEA ()

Penguji : Dr. Tony Mulia ()

Penguji : Dr. Santoso Sukirno ()

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 18 Mei 2010

KATA PENGANTAR

Setelah satu tahun lebih empat bulan berlutut dalam kesibukan dan kemalasan, akhirnya penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Terima kasih ya Allah atas segala yang Engkau berikan kepada Kami. Tanpa karunia dan keajaiban yang Engkau berikan mungkin tesis ini hanya akan menjadi ide dan impian saja.

Penulis juga menyadari bahwa selesainya tesis ini bukan hanya hasil kerja keras penulis saja, namun banyak pihak yang turut serta memberikan andil dalam tesis ini. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih terutama kepada :

1. Bapak dan Ibu serta keluarga penulis yang selalu mendoakan penulis serta selalu sabar untuk menanti waktu wisuda tiba
2. Bapak Dr. Bambang Soegijono selaku pembimbing yang senantiasa memberikan motivasi dan saran untuk masalah tesis maupun untuk masalah-masalah yang lain
3. Bapak Prof. Dr. BEF da Silva, Dr. Tony Mulia, dan Dr Santoso Sukirno selaku penguji, terima kasih atas saran dan masukannya untuk perbaikan tesis ini
4. Teman-teman yang ada di Group H8 seperti Muchtar, Mahmud, Lia, JK, dan Thea terima kasih atas kebersamaannya, dan dukungannya serta tidak lupa jalan-jalannya
5. Teman-Teman di Labkom, Pak Supriyanto, Mas Arief, Seno, Gindo dan Aziz, terima kasih atas dukungannya dan kesediaanya menggantikan penulis untuk mengajar di CNAP selama penulis mengerjakan tesis ini
6. Teman-teman yang ada di Delameta, Pak Bayu, Pak Aris, Pak Andre, spesial untuk yang ada di bagian software development seperti Pak Ridwan, Spto, Ardhan, Risdi dan Trio yes , serta semua teman-teman engineering dan produksi yang tidak bisa disebut satu persatu, terima kasih atas kebersamaannya dan selamat berjuang teman-teman, maaf kerjaan saya terganggu sebentar karena harus menyelesaikan tesis terlebih dulu

7. Teman-teman kuliah penulis seperti Pak Kanton, Pak Bambang, Pak Ahmad, Pendi, Agus, Elon, dan spesial buat Nila yang selalu rajin nanyain kapan sidangnya, terima kasih semua
8. Semua staf Departemen Fisika terutama Mas Parno, Pak Dono ,Mas Dwi, terima kasih atas pintunya setiap hari minggu
9. Pak Arief Sudarmaji, yang selalu menasihati penulis selama merancang alat ini

dan semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Hanya ucapan terima kasih yang tulus yang bisa penulis berikan.

Tak ada gading yang tak retak. Penulis sadar, apa yang penulis lakukan di dalam tesis ini jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, semua kritik dan saran yang membangun akan senantiasa penulis terima dengan lapang dada. Dan akhirnya penulis berharap, tesis ini bisa bermanfaat buat siapa saja yang membutuhkannya.

Depok, 18 Mei 2010

Penulis

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

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

Nama : Sukarno
NPM : 0706172134
Program Studi : Magister Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Tesis

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

***ULTRASONIC GENERATOR DENGAN FREKUENSI MAKSIMUM
100 KHz DAN DAYA 100 WATT BERBASIS MIKROKONTROLER
AVR ATTINY2313***

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*Database*), merawat, mempublikasikan 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 : Jakarta
Pada tanggal : 18 Mei 2010
Yang menyatakan

(Sukarno)

Nama : Sukarno
Program studi : Magister Fisika
Judul Tesis : *Ultrasonic Generator* Dengan Frekuensi Maksimum
100 Khz Dan Daya 100 Watt Berbasis Mikrokontroler
AVR ATTINY2313

ABSTRAK

Pembuatan *ultrasonic generator* telah selesai dilakukan dengan hasil yang cukup menjanjikan untuk daya lebih besar dari 100 Watt dan mampu bekerja dengan baik sampai frekuensi 100 Khz. *Ultrasonic generator* ini dibuat dengan menggunakan komponen utama mikrokontroler AVR ATTINY2313 sebagai pembangkit sinyal dan *switching power amplifier* untuk memperkuat daya output. *Switching power amplifier* dibuat dengan menggunakan mosfet IRF540N yang disusun membentuk *H-Bridge* dan dikendalikan oleh *H-Bridge driver* yaitu HIP4081A. Dari hasil ujicoba diperoleh besarnya daya output ditentukan oleh besarnya tegangan VDD yang diberikan rangkaian *H-Bridge* mosfet dan *duty cycle* dari gelombang kotak.

Kata kunci : *ultrasonic*, frekuensi, mikrokontroler, *switching*, *power amplifier*

Name : Sukarno
Program study : Magister of Physics
Title of thesis : Ultrasonic Generator With Maximum Frequency 100 KHz
and 100 Watt Power Based On Microcontroller AVR
ATTiny2313

ABSTRACT

Developing an ultrasonic generator has been completed with results promising enough to power more than 100 Watts and able to work well until the frequency of 100 KHz. Ultrasonic generator is made by using major components ATTiny2313 AVR microcontroller as a signal generator and switching power amplifiers to strengthen the power output. Switching power amplifier is made using a prepared form IRF540N MOSFET H-Bridge and is controlled by H-Bridge drivers is HIP4081A. From the results obtained by testing the power output is determined by the voltage VDD is given a series of H-Bridge MOSFET and duty cycle of square wave

Keywords : ultrasonic, generator, frequency, microcontroler, switching, power amplifier

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Metode Penelitian	2
BAB 2 TEORI DASAR	4
2.1 Gelombang <i>Ultrasonic</i>	4
2.2 Gelombang Akustik	5
2.3 <i>Transducers Ultrasonic</i>	5
2.4 Gelombang Kotak	7
2.5 Konsep Dasar <i>Switching Amplifier</i>	9
2.6 Mosfet H-Bridge	12
BAB 3 PERANCANGAN <i>ULTRASONIC GENERATOR</i>	14
3.1 Perancangan <i>Hardware</i>	14
3.1.1. Rangkaian Mikrokontroler	14
3.1.2. Rangkaian Komunikasi RS-232	16
3.1.3. Rangkaian <i>H-Bridge Driver</i>	17
3.1.4. <i>Power Mosfet</i>	19
3.2 Perancangan <i>Software</i>	24

3.2.1. Program Mengendalikan H-Bridge <i>Driver</i>	24
3.2.2. Komunikasi Dengan Komputer	26
3.2.3. Rancangan <i>Software</i> di Komputer	26
BAB 4 PENGUJIAN DAN HASIL	28
4.1 Bentuk Sinyal Output <i>Ultrasonic Generator</i>	28
4.2 Pengukuran Tegangan rms (<i>Root Mean Square</i>)	34
4.3 Daya Output Terhadap VDD	38
4.4 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Tegangan rms	41
4.5 Pengaruh Frekuensi Terhadap Tegangan rms	43
4.6 Menghitung Impedansi Output	44
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	48
DAFTAR ACUAN	49
LAMPIRAN	50

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Kondisi logika input mosfet <i>driver</i> HIP4081A	19
Tabel 3.2 Daftar <i>command</i> untuk mengendalikan <i>ultrasonic generator</i>	26
Tabel 4.1 Hubungan VDD dengan tegangan rms	36
Tabel 4.2 Hubungan VDD dengan tegangan rms dengan resistor beban 4,5 Ω	36
Tabel 4.3 Daya output <i>ultrasonic generator</i> dengan variasi resistor beban	39
Tabel 4.4 Hubungan Tegangan VDD dengan Daya Output pada saat Resistor Beban 4,5 Ω	40
Tabel 4.5 Hubungan <i>duty cycle</i> terhadap Tegangan rms	42
Tabel 4.6 Pengaruh Frekuensi terhadap Tegangan rms	43
Tabel 4.7 Tabel Konversi dari Tegangan rms ke Impendansi Output	46

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Spektrum gelombang ultrasonik	4
Gambar 2.2 Prinsip kerja <i>transducers</i> ultrasonik tipe <i>magnetostrictive</i>	6
Gambar 2.3 Prinsip kerja <i>transducers</i> ultrasonik tipe <i>piezoelectric</i>	7
Gambar 2.4 Bentuk gelombang kotak	8
Gambar 2.5 Bentuk gelombang kotak yang dimodifikasi	9
Gambar 2.6 Rangkaian lampu sederhana	10
Gambar 2.7 Rangkaian lampu ditambah dengan resistor	10
Gambar 2.8 Rangkaian lampu sederhana saat saklar terbuka	11
Gambar 2.9 Rangkaian lampu sederhana saat saklar tertutup	12
Gambar 2.10 Rangkaian mosfet <i>H-Bridge</i>	13
Gambar 3.1 Blok diagram <i>ultrasonic generator</i>	14
Gambar 3.2 Rangkaian mikrokontroler AVR ATTINY2313	15
Gambar 3.3 Rangkaian komunikasi RS-232	17
Gambar 3.4 Rangkaian mosfet <i>H-Bridge</i> dan mosfet <i>driver</i> HIP4081A	18
Gambar 3.5 Rangkaian <i>power</i> mosfet H-Bride	20
Gambar 3.6 Aliran arus pada fase pertama	21
Gambar 3.7 Aliran arus pada fase kedua	22
Gambar 3.8 Aliran arus pada fase ketiga	23
Gambar 3.9 Sinyal gelombang kotak bolak-balik dengan duty cycle 50%	23
Gambar 3.10 Potongan <i>flowchart</i> untuk mengendalikan <i>input</i> mosfet <i>driver</i>	25
Gambar 3.11 Rancangan Gui untuk <i>ultrasonic generator</i>	27
Gambar 4.1 Resistor beban untuk ujicoba <i>ultrasonic generator</i>	28
Gambar 4.2 Sinyal output <i>ultrasonic generator</i> pada saat Rl 1,2 Ω dengan menggunakan power supply xxx pada tegangan 12 Volt	29
Gambar 4.3 Sinyal output <i>ultrasonic generator</i> pada saat Rl 1,2 Ω dengan menggunakan <i>power supply</i> komputer pada tegangan 5 Volt	30
Gambar 4.4 Sinyal output <i>ultrasonic generator</i> pada saat Rl 1,2 Ω dengan menggunakan <i>power supply</i> komputer pada tegangan 12 Volt	31

Gambar 4.5 Sinyal output <i>ultrasonic generator</i> pada saat R_l 4,5 Ω dengan tegangan 5 Volt	31
Gambar 4.6 Sinyal output <i>ultrasonic generator</i> pada saat R_l 4,5 Ω dengan tegangan 12 Volt	32
Gambar 4.7 Sinyal output <i>ultrasonic generator</i> pada saat R_l 8,3 Ω dengan tegangan 5 Volt	33
Gambar 4.8 Sinyal output <i>ultrasonic generator</i> pada saat R_l 8,3 Ω dengan tegangan 12 Volt	33
Gambar 4.9 Contoh tegangan <i>ripple</i> pada saat R_L diperbesar	34
Gambar 4.10 Grafik hubungan antara resistor beban dengan tegangan rms	36
Gambar 4.11 Grafik hubungan antara VDD dengan tegangan rms dengan resistor beban 4,5 Ω	37
Gambar 4.12 Grafik Hubungan antara resistor beban dengan daya output	39
Gambar 4.13 Grafik Hubungan Tegangan VDD dengan daya output pada saat resistor beban 4,5 Ω	40
Gambar 4.14 Grafik hubungan antara <i>duty cycle</i> dengan tegangan rms pada saat resistor beban 4,5 Ω	42
Gambar 4.15 Grafik hubungan frekuensi dengan tegangan rms	44
Gambar 4.16 Rangkaian impedansi output	45

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini *ultrasonic* telah dipakai untuk banyak keperluan dalam berbagai bidang. Dalam bidang medis, *ultrasonic* dapat dimanfaatkan untuk pencitraan gambar (*ultrasonography*) dan membantu untuk pengobatan beberapa penyakit contohnya kanker. Dalam bidang kimia (*sonochemistry*) banyak memanfaatkan *ultrasonic* sebagai alat untuk membantu proses *atomizing*. Dalam bidang industri *ultrasonic* dapat dipakai untuk NDT (*Non Destructive Test*), pembersih bahan (*cleaning*), *welding* dan *cutting*. Selain itu *ultrasonic* masih banyak dipakai dalam bidang lainnya antara lain pertanian, fisika, biologi, seismologi dan masih banyak yang lain.

Dalam penggunaan *ultrasonic* dibutuhkan dua komponen dasar yaitu *ultrasonic generator* dan *transducers*. *Ultrasonic generator* dipakai untuk membangkitkan sinyal listrik dengan frekuensi di atas 20 KHz sampai dengan 1 GHz dan power tertentu sesuai dengan kebutuhan. Dan *transducers* dipakai untuk mengubah sinyal listrik dari *ultrasonic generator* menjadi gelombang mekanik. *Transducers* memiliki jenis yang berbeda-beda, tergantung dari aplikasinya. Dengan demikian *transducers* yang dipakai untuk *welding* akan berbeda dengan *transducers* untuk *cutting*, baik frekuensi maupun *power* yang masih mampu diberikan.

Meskipun jenis *transducers* berbeda-beda namun tetap membutuhkan *ultrasonic generator*. Biasanya *ultrasonic generator* dibuat untuk jenis *transducers* tertentu dimana frekuensi dan powernya telah dirancang khusus untuk *transducers* tersebut. Akan tetapi, ada pula *ultrasonic generator* yang dibuat dan dirancang untuk untuk berbagai jenis *transducers*, namun harganya sangat mahal. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dibuat sebuah *ultrasonic generator* yang bisa dipakai untuk beberapa jenis *transducers*, dengan frekuensi 20 KHz sampai dengan 100 KHz dengan power maksimum 100 Watt, dan dengan biaya yang relatif lebih murah.

1.2 Tujuan

Membuat *ultrasonic generator* yang dapat menghasilkan beberapa frekuensi serta *power* yang dapat diatur. Ultrasonic generator ini dapat dikontrol melalui komputer untuk mengatur besarnya frekuensi dan *power* yang dikeluarkan.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya difokus pada pembuatan alat *ultrasonic generator* yang diharapkan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Mampu menghasilkan gelombang *ultrasonic* dengan frekuensi yang dapat diatur dari 20 Khz sampai dengan 100 KHz.
- Mampu menghasilkan *power* yang dapat diatur dengan maksimum *power* adalah 100 Watt
- Memiliki timer sebagai pembatas waktu
- Frekuensi dan *power* dapat disetting secara manual atau juga dapat dilakukan melalui komputer
- Jika memungkinkan dapat pula mengukur gelombang ultrasonic hasil pantulan dan waktunya.

Selain alat, penelitian juga akan menjangkau pembuatan *software* pada komputer yang mampu mengontrol *ultrasonic generator*. *Software* ini nantinya bisa berjalan multiplatform baik di windows maupun di linux.

1.4 Metode Penelitian

Penelusuran Literatur

Metode ini digunakan untuk memperoleh referensi teknik informasi dan teori yang bersumber dari buku-buku, jurnal, majalah, user manual alat, data sheet, internet dan lain-lain.

Perancangan Alat

Metode ini merupakan tahap awal dalam mendisain *ultrasonic generator*.

Pembuatan Alat

Metode ini merupakan tahap lanjut untuk merealisasikan rancangan

ultrasonic generator yang sesuai dengan tujuan dari penelitian ini.

Pembuatan Software

Metode ini merupakan tahap akhir untuk membuat software yang dapat mengendalikan *ultrasonic generator* dengan komputer.

Analisis

Dalam analisis ini intinya mengamati kondisi dari *ultrasonic generator* sehingga dapat ditarik suatu kesimpulan dan saran-saran terhadap alat yang dibuat.

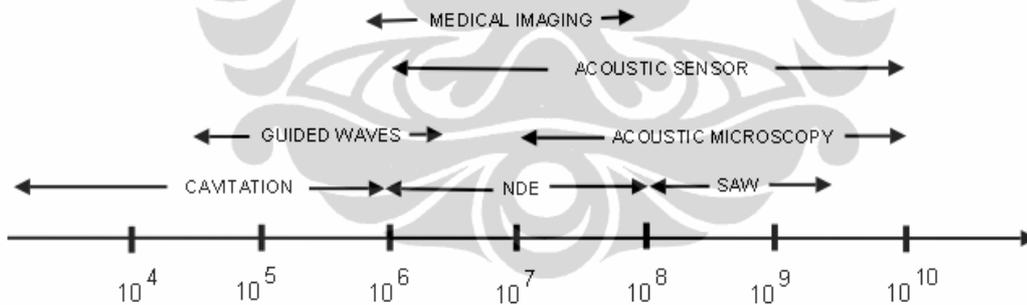


BAB 2 TEORI DASAR

Ultrasonic generator adalah perangkat elektronik yang mampu menghasilkan sinyal listrik dengan frekuensi dan daya yang bisa diatur sesuai dengan kebutuhan. Pada bab ini akan dibahas sekilas tentang gelombang *ultrasonic*, dan konsep dasar penguat daya dari *ultrasonic generator*.

2.1 Gelombang *Ultrasonic*

Pada dasarnya *ultrasonic* adalah gelombang suara yang memiliki frekuensi di atas batas pendengaran manusia. Frekuensi batas pendengaran manusia berbeda-beda untuk setiap orang. Namun pada umumnya frekuensi batas pendengaran manusia adalah dari 20 Hz – 20 kHz. Dan gelombang *ultrasonic* memiliki frekuensi lebih dari 20 kHz. Sampai saat ini, frekuensi gelombang *ultrasonic* telah mencapai 1 GHz dan jika melebihi frekuensi 1 GHz maka disebut *hypersonic*.



Gambar 2.1: Spektrum gelombang ultrasonic

Dari Gambar 1 terlihat spektrum dari gelombang *ultrasonic* beserta aplikasinya. Pada frekuensi 10 kHz – 150 kHz, *ultrasonic* dipakai untuk komunikasi beberapa binatang seperti kelelawar dan lumba-lumba. Jika pada frekuensi ini dayanya ditingkatkan maka *ultrasonic* dapat dipakai untuk membantu proses pembersihan (*cleaner*) beberapa material misalkan perhiasan. Untuk aplikasi *medical imaging* dibutuhkan frekuensi dari 1 MHz sampai dengan 20 MHz misalkan seperti yang dipakai untuk ultrasonografi (USG). Demikian pula untuk aplikasi lainnya membutuhkan range frekuensi tersendiri.

Dalam bukunya J. David N. Cheeke menyebutkan setidaknya ada dua fitur unik yang dimiliki oleh gelombang *ultrasonic* :

1. Gelombang *ultrasonic* merambat lebih pelan 100000 kali daripada gelombang elektromagnetik. Hal ini memudahkan untuk memperoleh informasi waktu, variabel delay , dan lain-lainnya pada saat gelombang *ultrasonic* merambat.
2. Gelombang *ultrasonic* mudah masuk melewati bahan yang tidak bisa dilewati oleh cahaya. Karena gelombang *ultrasonic* cukup murah, sensitif dan reliabel maka dapat dimanfaatkan untuk mengetahui bentuk gambar topografi dari bahan yang tidak tembus cahaya.

2.2 Gelombang Akustik

Gelombang *ultrasonic* merupakan gelombang akustik sama halnya dengan gelombang suara. Gelombang akustik membutuhkan medium untuk merambat. Bagian terpenting dari gelombang akustik adalah *pressure* akustik (p). *Pressure* akustik ini dipakai untuk memvibrasi partikel-partikel pada medium. Pada saat satu buah partikel bervibrasi maka akan melepaskan energi vibrasi (energi potensial dan energi kinetik) yang digunakan untuk memvibrasi partikel yang lain. Perambatan energi vibrasi dari satu partikel ke partikel yang lain membentuk gelombang akustik.

Persamaan sederhana dari *pressure* akustik untuk gelombang dalam bentuk sinusoidal adalah :

$$p = p_0 \sin(\omega t \mp kx) \quad (2.1)$$

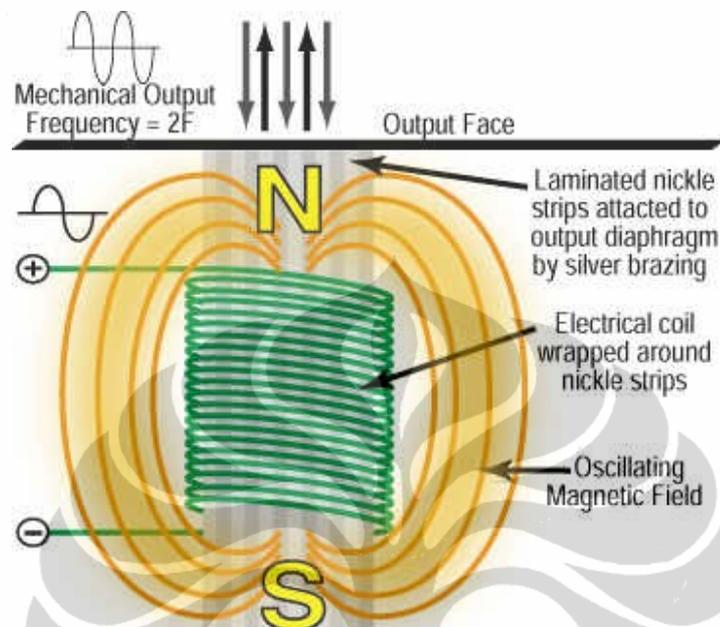
di mana ω adalah kecepatan sudut dan k adalah bilangan gelombang. Persamaan di atas terbentuk dengan menganggap c (cepat rambat medium) adalah konstan. Arti konstan adalah tidak dipengaruhi oleh perubahan frekuensi.

2.3 Transducers Ultrasonic

Transducers ultrasonic diperlukan untuk merubah energi listrik tegangan bolak-balik menjadi gelombang *ultrasonic*. Secara umum ada dua jenis tipe transducers ultrasonic yaitu *magnetostrictive* dan *piezoelectric*.

Transducers ultrasonic tipe *magnetostrictive* bekerja dengan

memanfaatkan prinsip magnetisasi. Gambar 2.2 menunjukkan diagram dari transducers *ultrasonic* tipe *magnetostrictive*.

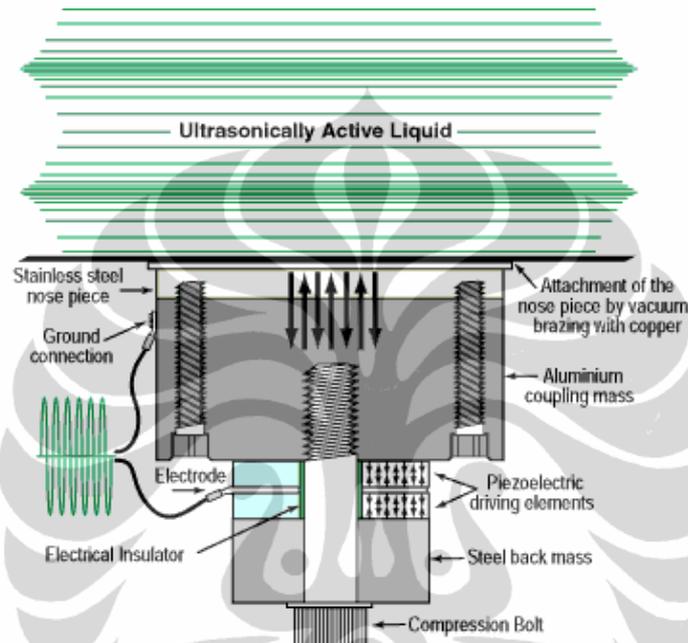


Gambar 2.2: Prinsip kerja transducers ultrasonic tipe magnetostrictive

Pertama sinyal listrik bolak-balik akan dirubah menjadi medan magnet bolak-balik oleh kumparan. Medan magnet bolak-balik yang dihasilkan digunakan untuk menginduksi penggentar mekanis (diafragma yang dilapisi bahan nikel) untuk bervibrasi pada frekuensi resonansi dari penggentar mekanis. Bahan *magnetostrictive* yang melapisi diafragma memiliki perilaku yang sama dengan medan magnet tetapi berbeda polarisasinya. Sehingga frekuensi sinyal listrik bolak-balik yang akan dipasang pada *transducers* harus setengah dari frekuensi yang diharapkan.

Ada dua kekurangan dari jenis *transducers* ini. Pertama adalah masalah ukuran fisik dari *transducers* yang akan semakin besar pada saat menggunakan power besar serta kompleksnya lilitan untuk frekuensi di atas 20 Khz. Dan yang kedua masalah efesiensi. Transducers tipe ini bekerja dengan dua tahap konversi energi, yaitu dari energi listrik menjadi magnet kemudian dari magnet menjadi energi mekanik.

Transducers tipe kedua adalah tipe *piezoelectric* yang mampu mengatasi kekurangan-kekurangan pada transducers tipe *magnetostrictive*. Transducers tipe *piezoelectric* bekerja dengan mengubah energi listrik bolak-balik secara langsung menjadi energi mekanik melalui efek *piezoelectric* dimana material akan berubah bentuknya pada saat diberi medan listrik.



Gambar 2.3: Prinsip kerja transducers ultrasonic tipe piezoelectric

Gambar 2.3 menunjukkan prinsip kerja dari *transducers* tipe *piezoelectric*. Mula-mula energi listrik pada frekuensi *ultrasonic* yang dihasilkan oleh *ultrasonic generator* diberikan ke *transducers ultrasonic* tipe *piezoelectric*. Energi listrik tersebut akan diubah menjadi energi mekanik oleh elemen *piezoelectric* yang berada dalam *transducers* dengan cara bervibrasi. Hasil vibrasi ini kemudian akan diperkuat dengan cara resonansi masal dan kemudian dipancarkan secara langsung ke medium melalui sebuah plat menjadi gelombang *ultrasonic*.

2.4 Gelombang Kotak

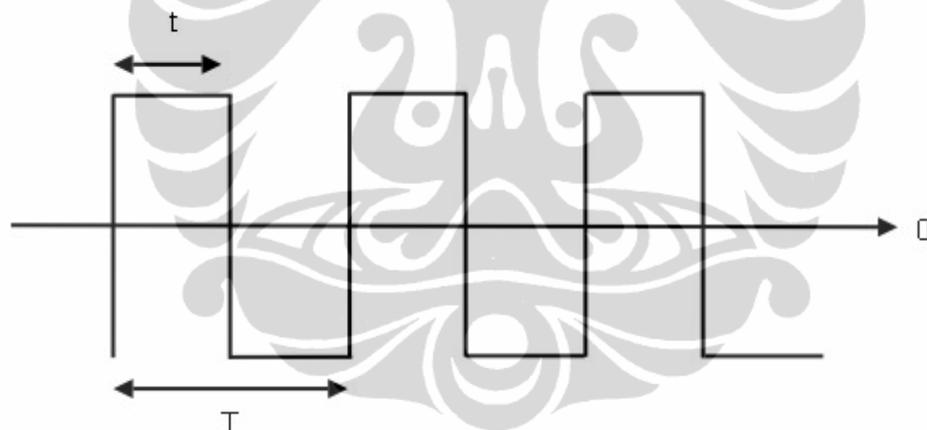
Untuk dapat menghasilkan gelombang *ultrasonic* maka diperlukan sinyal listrik bolak-balik dengan frekuensi *ultrasonic*. Dari Persamaan 2.1 terlihat bahwa persamaan *pressure* akustik untuk gelombang sinus hampir mirip dengan

persamaan gelombang sinus pada tegangan listrik bolak-balik yaitu :

$$v(t) = v_{peak} \sin(\omega t) \quad (2.2)$$

Jika asumsi ini benar maka dapat diambil kesimpulan sederhana bahwa pada kondisi ideal besarnya *pressure* akustik sebanding dengan tegangan listrik bolak-balik yang diberikan ke *transducers*.

Meskipun idealnya sinyal listrik yang diberikan ke *transducers ultrasonic* dalam bentuk sinus, namun dalam praktiknya, gelombang kotak lebih banyak dipakai sebagai sinyal pembangkit pada *transducers ultrasonic*. Dan *ultrasonic generator* yang akan penulis buat juga akan menghasilkan sinyal listrik bolak-balik dalam bentuk gelombang kotak. Hal ini dikarenakan gelombang kotak lebih mudah dibuat oleh komponen digital seperti mikrokontroler. Selain itu, *ultrasonic generator* ini menggunakan *switching power amplifier* maka sinyal inputnya harus menggunakan gelombang kotak.



Gambar 2.4: Bentuk gelombang kotak

Secara umum bentuk gelombang kotak terlihat seperti pada gambar 2.2. Dari gambar tersebut terlihat bahwa periode dari gelombang kotak ditunjukkan dengan T dan t menunjukkan waktu on dari pulsa. Frekuensi dapat dihitung dengan persamaan

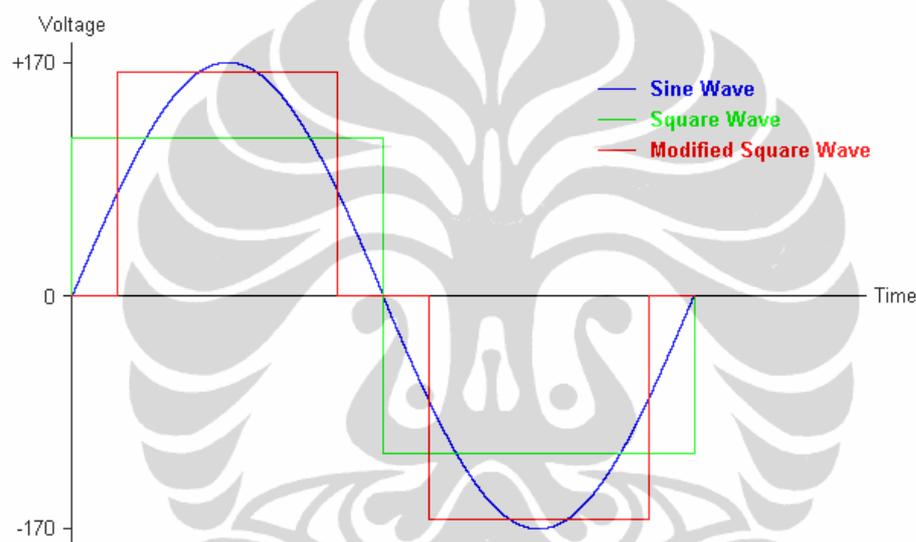
$$f = \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

dan *duty cycle* dapat dihitung dengan persamaan

$$D = \frac{t}{T} \quad (2.4)$$

Penggunaan gelombang kotak pada *transducers ultrasonic* memiliki kekurangan yaitu munculnya frekuensi harmonis. Namun dibebberapa aplikasi tertentu frekuensi harmonis ini juga menguntungkan misalkan pada saat *ultrasonic* dimanfaatkan sebagai pembersih.

Untuk mencapai kondisi maksimal biasanya orang menggabungkan kombinasi antara sinyal listrik bolak-balik dalam bentuk gelombang sinus dengan gelombang kotak yang menghasilkan gelombang sinus yang dimodifikasi atau bisa juga disebut gelombang kotak yang dimodifikasi. Gambar 2.5 di bawah ini adalah bentuk gelombang sinus atau gelombang kotak yang telah dimodifikasi.



Gambar 2.5: Bentuk gelombang kotak atau gelombang sinus yang dimodifikasi

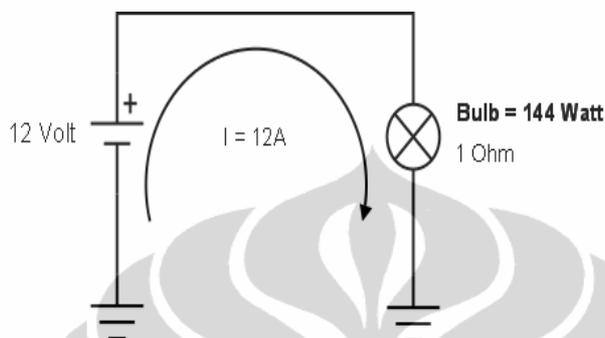
2.5 Konsep Dasar *Switching Amplifier*

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*.

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.

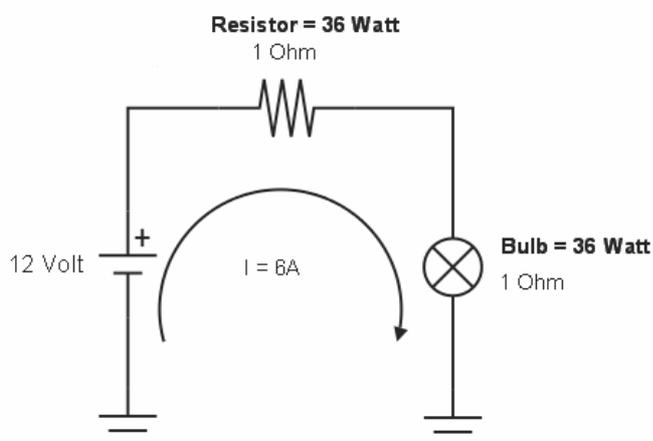
Prinsip dasar dari *switching amplifier* sangat sederhana, sebagai ilustrasi terlihat seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2.6: Rangkaian lampu sederhana

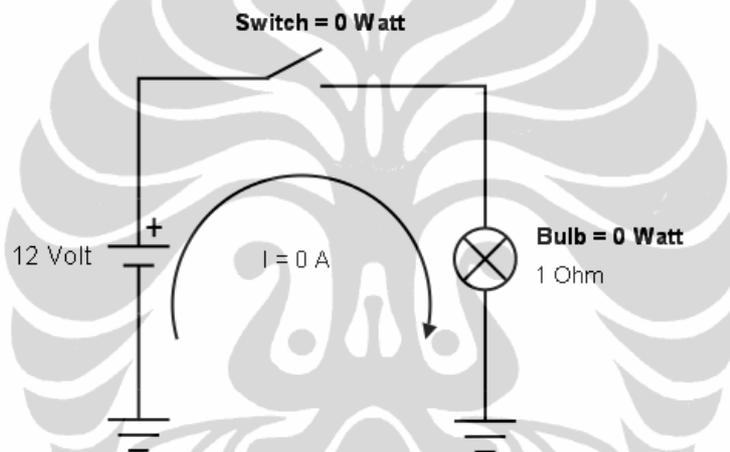
Sebuah sumber tegangan 12 Volt dihubungkan ke sebuah lampu yang memiliki hambatan 1 Ohm. Maka dengan menggunakan hukum Ohm kita bisa menghitung arus yang mengalir ke lampu yaitu sebesar 12 Amper. Dengan menggunakan persamaan $P = V \cdot I$ maka kita akan mendapatkan disipasi daya lampu sebesar 144 Watt.

Jika lampu terlalu terang menyalnya maka cara termudah untuk meradupkannya adalah dengan memasang sebuah hambatan sebelum lampu seperti yang terlihat pada gambar 2.7.



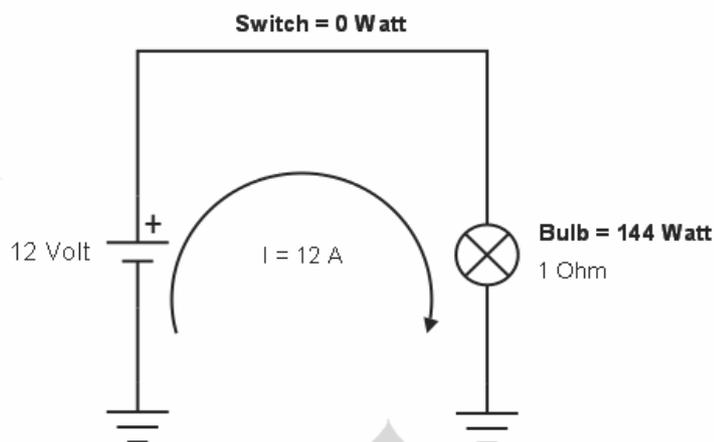
Gambar 2.7: Rangkaian lampu ditambah dengan resistor

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 2.8.



Gambar 2.8: 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 2.9.

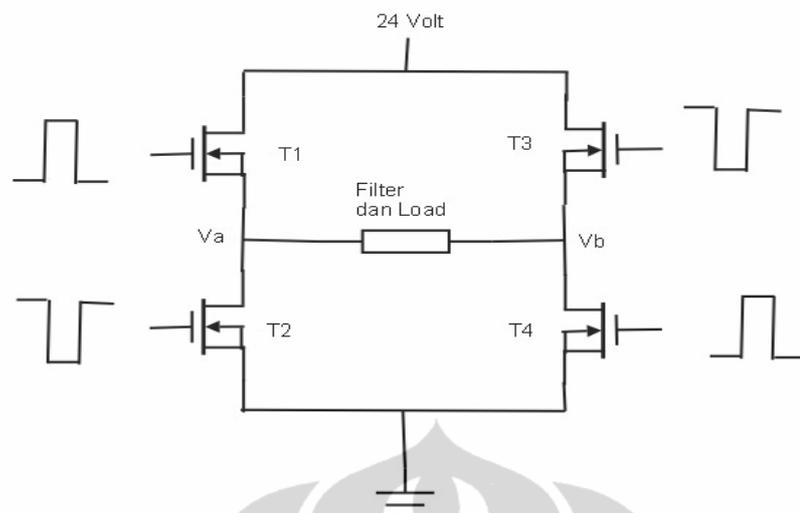


Gambar 2.9: Rangkaian lampu sederhana saat saklar tertutup

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.

2.6 Rangkaian Mosfet H-Bridge

Pada *switching amplifier* penggunaan saklar diganti dengan menggunakan mosfet. Ada 2 jenis susunan rangkaian mosfet untuk membentuk *switching amplifier* yaitu *half bridge* dan *full bridge*. Rangkaian *half bridge* hanya menggunakan 2 mosfet saja sedangkan untuk *full bridge* menggunakan 4 mosfet. Dan rangkaian mosfet yang dipakai oleh penulis adalah *full bridge* seperti terlihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10: Rangkaian mosfet H-Bridge

Dari gambar di atas, terdapat 4 buah mosfet dimana T1 dan T2 di sebelah kiri sedangkan di sebelah kanan terdapat T3 dan T4. Masing-masing pasang bekerja secara berkebalikan, misalkan ketika T1 diberi sinyal *high* maka T2 kebalikannya di beri sinyal *low*, demikian pula untuk pasangan T3 dan T4 bekerja secara berkebalikan.

Agar bekerja normal pembiasan mosfet harus dilakukan dengan benar. Misalkan ketika T1 dan T4 dibias maka T1 dan T4 akan bekerja. Arus mengalir dari catu daya menuju T1 kemudian melalui *load* dan T4 menuju *ground*. Jika titik Va jadi acuan dan catu daya 12 Volt dianggap sebagai VDD maka:

$$V_a = VDD \quad (2.5)$$

$$V_b = 0 \quad (2.6)$$

sehingga :

$$V_a - V_b = VDD - 0 = VDD \quad (2.7)$$

Dan ketika T2 dan T3 dibias maka T2 dan T3 akan bekerja, sehingga arus akan mengalir dari catu daya menuju T3 melalui *load* dan T2 dan akhirnya ke *ground*.

Jika titik Va masih menjadi acuan maka :

$$V_a = 0 \quad (2.8)$$

$$V_b = VDD \quad (2.9)$$

sehingga

$$V_a - V_b = 0 - VDD = -VDD \quad (2.10)$$

BAB 3 PERANCANGAN *ULTRASONIC GENERATOR*

Pada bab ini akan dibahas tentang perancangan alat dari *ultrasonic generator* secara spesifik per bagian, baik secara *hardware* maupun *software* beserta prinsip kerjanya.

3.1 Perancangan *Hardware*

Secara umum diagram blok *ultrasonic generator* terlihat seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Diagram blok *ultrasonic generator*

Bagian utama dari *ultrasonic generator* adalah mikrokontroler. Bagian ini berfungsi untuk menghasilkan gelombang kotak. Selain itu mikrokontroler juga dipakai untuk berkomunikasi dengan komputer, dan jika memungkinkan mikrokontroler juga bisa dimanfaatkan untuk mengendalikan peralatan lainnya contohnya LCD.

Bagian lainnya adalah H-Bridge *driver* yang dipakai untuk mengendalikan mosfet agar dapat menghasilkan arus maximum yang aman pada mosfet dan juga beban yang akan dipasang. Sedangkan bagian *power mosfet* dan *filter* adalah tingkat penguat yang akan menghasilkan tegangan dan arus serta frekuensi yang dibutuhkan oleh beban.

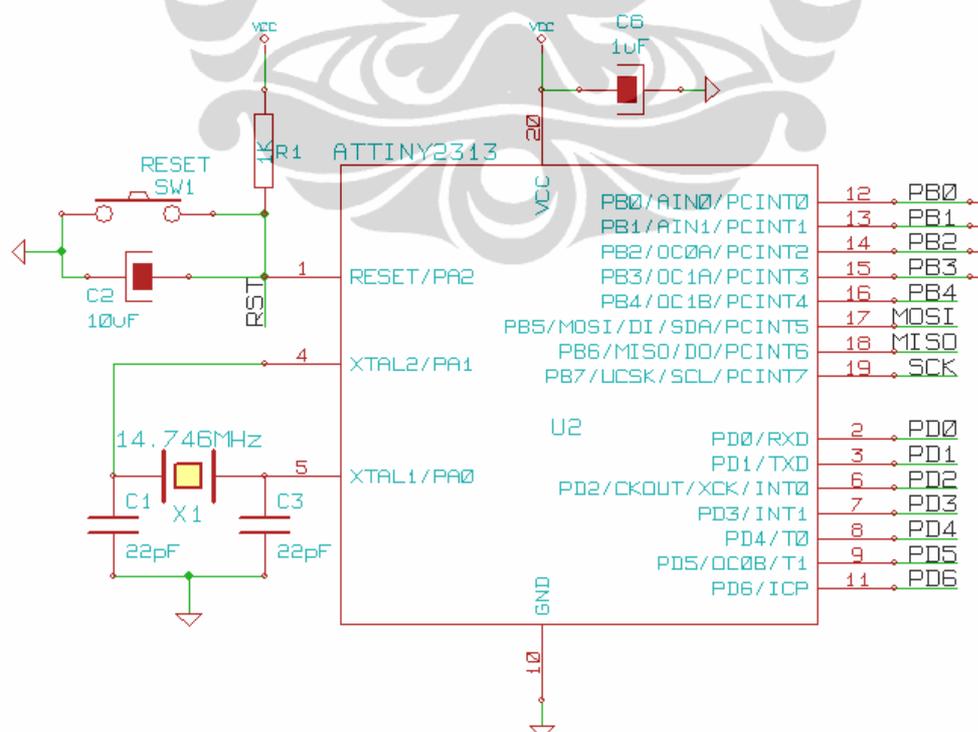
3.1.1 Rangkaian Mikrokontroler

Dua fungsi utama mikrokontroler pada rangkaian *generator ultrasonic* adalah sebagai pembangkit sinyal dan mengatur komunikasi ke komputer. Mikrokontroler yang digunakan adalah AVR ATTINY2313 buatan Atmel.

Secara fisik mikrokontroler AVR ATTINY2313 memiliki bentuk yang sangat sederhana. mikrokontroler ini hanya memiliki dua port yaitu PORTB dan

PORTD. Meskipun hanya memiliki 2 PORT namun secara internal mikrokontroler memiliki feature yang sama dengan mikrokontroler buatan Atmel lainnya. Misalkan mikrokontroler ini dilengkapi dengan *Timer*, PWM dan Eksternal *Interrupt*. Untuk komunikasi dengan alat lain mikrokontroler ini dilengkapi dengan UART dan USI (*universal serial interface*). UART memungkinkan mikrokontroler bisa berkomunikasi dengan menggunakan RS-232 sedangkan USI digunakan untuk berkomunikasi melalui SPI atau I2C. Namun mikrokontroler AVR ATTINY2313 hanya dilengkapi dengan *flash* memori sebesar 2 KiB dan internal SRAM sebesar 128 byte.

Pada rangkaian *generator ultrasonic* tidak semua *feature* dari mikrokontroler AVR ATTINY2313 akan dipakai, yang hanya dipakai adalah *Timer/PWM* dan UART. *Timer/PWM* dipakai untuk mengatur frekuensi serta *duty cycle* dari gelombang ultrasonic sedangkan UART dipakai untuk berkomunikasi dengan komputer. Meskipun ukuran flash memori dan internal SRAMnya kecil namun masih mencukupi untuk dipakai pada rangkaian *ultrasonic generator* ini. Gambar 3.2 di bawah ini menunjukkan rangkaian mikrokontroler AVR ATTINY2313.



Gambar 3.2: Rangkaian mikrokontroler AVR ATTINY2313

Rangkaian mikrokontroler AVR ATTINY2313 di atas sangat sederhana dan hanya memiliki beberapa komponen pendukung. Komponen pendukung utama adalah crystal oscillator X1 yang dilengkapi dengan kapasitor C1 dan C3 sebagai *resonator*. Dan komponen pendukung yang kedua adalah resistor R1 yang dihubungkan secara seri dengan kapasitor C2 dan dilengkapi dengan push button *switch* SW1.

Agar dapat bekerja dengan normal maka setiap mikrokontroler memerlukan *clock*. Sebenarnya mikrokontroler AVR ATTINY2313 sudah memiliki internal *clock* sebesar 1 MHz. Namun karena *generator ultrasonic* diharapkan menghasilkan gelombang ultrasonic hingga 10 MHz maka internal *clock* tidak mencukupi. Dari gambar rangkaian mikrokontroler di atas terlihat bahwa rangkaian ini dikendalikan oleh eksternal *clock* dengan frekuensi 14.746 MHz yang diharapkan mampu membangkit gelombang ultrasonic sampai dengan 10 MHz.

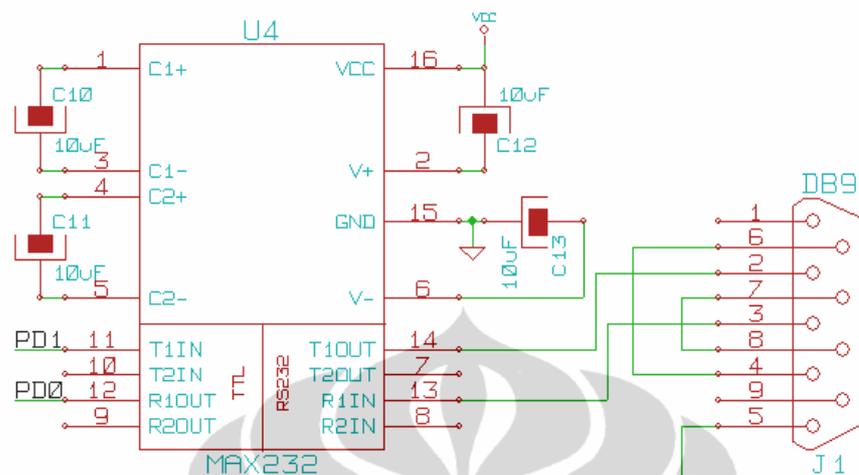
Sedangkan komponen R1, C1 dan SW1 dipakai untuk mengendalikan reset pada mikrokontroler. Mikrokontroler AVR ATTINY2313 akan reset ketika pin reset diberi logika 0. Sehingga ketika *power supply* baru dinyalakan maka mikrokontroler dalam kondisi reset. Kapasitor C2 akan discharge oleh arus yang besarnya ditentukan oleh nilai resistor R1. Dan SW1 dipakai untuk mereset mikrokontroler disaat mikrokontroler sedang beroperasi dimana ketika SW1 maka C2 akan mendischarge muatannya ke ground sehingga tegangan di C2 menjadi 0.

Pin PB0-PB3 pada PORTB digunakan untuk mengendalikan input dari *gate driver*. Sedangkan pin MISO, MOSI dan SCK terhubung ke konektor ISP (*In System Programming*). Dan pin PD0-PD1 pada PORTD terhubung ke MAX232 yang dipakai untuk komunikasi dengan komputer.

3.1.2 Rangkaian Komunikasi RS-232

Mikrokontroler AVR ATTINY2313 menyediakan fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer melalui UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*). UART dari mikrokontroler tidak bisa dikoneksikan langsung ke komputer. Perlu penyesuaian level tegangan dari TTL menjadi RS-232. Gambar 3.3 adalah rangkaian konverter dari level TTL ke RS-232 dengan

memanfaatkan IC MAX232.



Gambar 3.3: Rangkaian komunikasi RS-232

Bagian TTL dari IC ini terkoneksi ke mikrokontroler pin PD0 dan PD1 pada PORTD. Pin PD0 berfungsi sebagai RX atau penerima data yang dikirim oleh komputer. Sedangkan pin PD1 dipakai untuk mengirim data dari mikrokontroler menuju ke komputer.

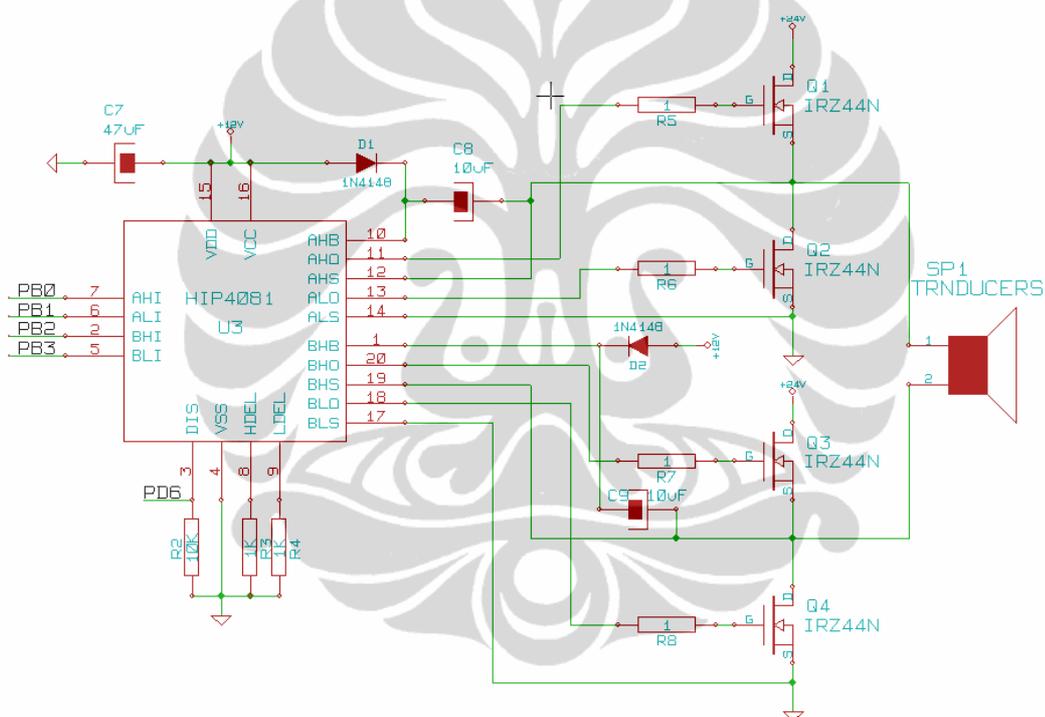
Pada bagian RS-232 dari IC ini dihubungkan dengan konektor DB-9 female. Pin TX pada bagian RS-232 dihubungkan ke pin no 2 dan bagian RX dihubungkan ke pin 3 dari konektor DB-9. Khusus pin 4 dan 6 serta pin 7 dan 8 dikoneksikan secara langsung sebagai loopback.

3.1.3 Rangkaian H-Bridge Driver

Untuk mendapatkan daya yang optimal pada rangkaian Mosfet H-Bridge maka *gate* pada mosfet perlu diberi tegangan (VGS) yang tepat, biasanya lebih besar dari 10 Volt sehingga arus drain (I_d) yang mengalir juga optimal. Arus I_d dikatakan optimal ketika besarnya arus mampu menghasilkan power yang besar tanpa harus menghasilkan panas berlebih.

Tegangan yang dikeluarkan dari port mikrokontroler hanya sebesar 5 Volt saja, dan ini tidak cukup untuk menghasilkan arus I_d yang optimal pada mosfet. Oleh karena itu dibutuhkan rangkaian tambahan untuk mengubah tegangan 5 Volt ke level yang lebih tinggi. Ada banyak cara untuk melakukannya misalkan dengan

memanfaatkan *optocoupler*, *transformer* atau menggunakan komponen diskrit seperti transistor atau fet. Namun, penggunaan komponen diskrit cukup menyulitkan. Hal ini dikarenakan adanya input kapasitansi (Ciss) yang cukup besar antara kaki gate dengan kaki-kaki yang lainnya. Pada saat sinyal datang ke kaki gate maka sinyal tersebut harus mengisi input kapasitor ini terlebih dahulu sebelum mencapai tegangan melebihi 10 Volt. Sehingga rangkaian *driver* untuk *gate* mosfet harus mampu mensuplai arus yang cukup agar input kapasitor ini mampu terisi dengan cepat. Cara termudah untuk mendrive *gate* mosfet adalah dengan menggunakan IC khusus, misalkan HIP4081A.



Gambar 3.4: Rangkaian mosfet H-Bridge dan mosfet driver HIP4081A

Gambar 3.4 di atas adalah rangkaian HIP4081A yang digunakan untuk mendrive *full bridge* mosfet (H-Bridge mosfet). HIP4081A merupakan *driver* H-Bridge mosfet keluaran Intersil, dimana IC ini mampu beroperasi hingga frekuensi 1 MHz.

Dari gambar 3.4 terlihat bahwa semua kaki input IC HIP4081A dikoneksikan ke mikrokontroler pada PORTB dimana PB0 ke AHI, PB1 ke ALI, PB2 ke BHI dan PB3 ke BLI, dan semua outputnya terkoneksi ke *gate* pada

mosfet. Rangkaian D1 dan C8 serta D2 dan C9 merupakan rangkaian *bootstrap*. Rangkaian *bootstrap* sangat berguna untuk frekuensi *switching* yang tinggi untuk menjaga agar input kapasitansi tetap terisi.

HIP4081A memiliki 4 input yaitu AHI, ALI, BHI, dan BLI. Keempat input tersebut dikendalikan pada level TTL oleh mikrokontroler. Sedangkan outputnya yaitu AHO, ALO, BHO, BLO akan menghasilkan tegangan 12 Volt yang digunakan untuk mendrive *gate* mosfet. Tabel 3.1 menunjukkan kondisi logika antara input dan output dari IC HIP4081A.

Tabel 3.1 Kondisi logika input mosfet driver HIP4081A

ALI,BLI	AHI,BHI	DIS	ALO,BLO	AHO,BHO
X	X	1	0	0
1	X	0	1	0
0	1	0	0	1
0	0	0	0	0

Dari tabel di atas terlihat bahwa pada saat pin disable bernilai 1 maka apapun nilai input akan menghasilkan output 0. Untuk mengaktifkan kedua mosfet sisi bawah maka ALI dan BLI harus diset 1, sedangkan untuk AHI dan BHI nilainya terserah. (boleh 1 boleh 0). Dan untuk mengaktifkan kedua mosfet sisi atas maka AHI dan BHI harus diset 1, sedangkan ALI dan BLI harus diset 0.

3.1.4 Power Mosfet

Bagian krusial dari rangkaian *ultrasonic generator* adalah bagian *power* yang terdiri atas 4 buah mosfet dan susun membentuk H bridge. Bagian ini haruslah mampu dilewati oleh tegangan dan arus yang besar agar mampu menghasilkan daya yang besar pula.

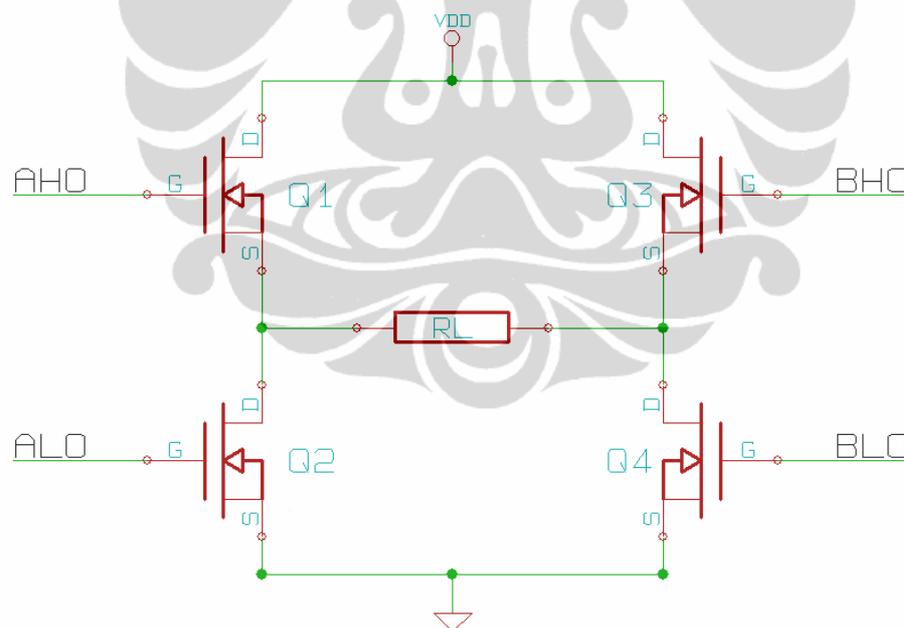
Semua mosfet pada bagian *power* ini pada prinsipnya bekerja seperti saklar saja. Mosfet akan aktif pada saat gate diberi tegangan dan mosfet tidak akan aktif pada saat gate diberi tegangan 0. Meskipun hanya bekerja seperti saklar, kesalahan mengaktifkan mosfet pada H bridge tidak boleh terjadi karena bisa merusak beban maupun merusak mosfet itu sendiri.

Mosfet yang dipakai sebagai power pada ultrasonic generator ini harus memenuhi beberapa kriteria, yaitu:

- ◆ bisa dipakai untuk tegangan tinggi
- ◆ bisa dilewati arus yang besar
- ◆ mampu melakukan *fast switching*
- ◆ harga yang relatif murah.

Dalam hal ini penulis menggunakan mosfet tipe IRF540N yang penulis anggap memenuhi semua kriteria di atas. IRF540N termasuk dalam kategori mosfet N channel. Mosfet ini mampu bekerja pada tegangan (VDSS) 100 Volt dan arus (I_d) maksimum yang mampu dilewati adalah 33 A. Dan kecepatan switchingnya bisa mencapai 40 ns.

Rangkaian mosfet H bridge pada gambar 3.4 di atas bisa disusun secara sederhana seperti pada gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.5: Rangkaian power mosfet H-Bridge

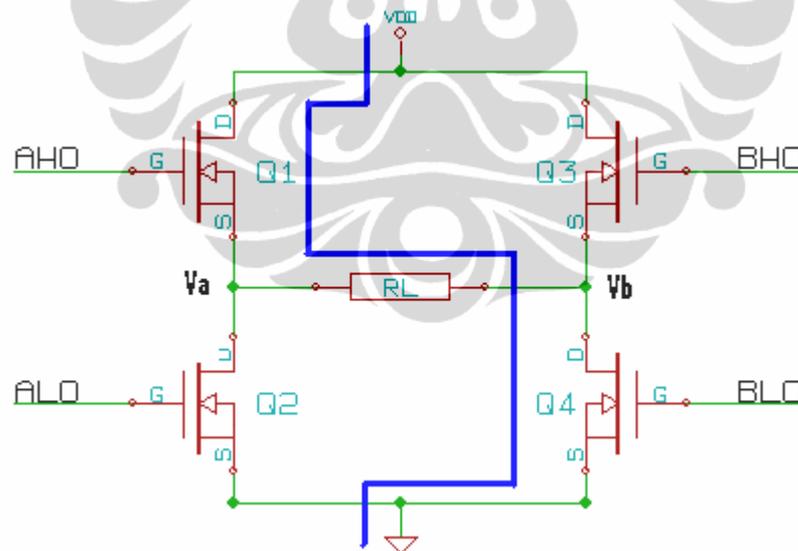
H-Bridge terdiri atas 4 buah mosfet yang terbagi atas 2 buah bagian yaitu bagian A di sebelah kiri dan bagian B di sebelah kanan. Masing-masing bagian terdiri atas dua buah mosfet. Untuk bagian A terdapat Q1 di sisi atas dan Q2 di sisi bawah. Sedangkan untuk bagian B terdapat Q3 di sisi atas dan Q4 di sisi bawah.

Setiap pin *gate* pada mosfet terkoneksi ke mosfet driver HIP4081A, dimana Q1 terkoneksi ke pin AHO, Q2 ke pin ALO, Q3 ke pin BHO dan Q4 ke pin BLO.

Prinsip kerja mosfet pada H-Bridge ini hanya berfungsi sebagai saklar elektronik, sehingga mosfet hanya mengenal dua kondisi yaitu *on* dan *off*. Pada saat pin *gate* diberi tegangan (VGS) sebesar 12 Volt maka kondisi mosfet akan *on* sedangkan jika diberi tegangan 0 Volt maka mosfet akan *off*. Dalam satu waktu ada dua mosfet yang kondisinya *on* sekaligus. Mosfet yang kondisinya *on* akan menghantar arus dari VDD melalui beban menuju ground. Pasangan mosfet kondisi *on* yang memungkinkan adalah Q1 dan Q4, serta Q3 dan Q2.

Agar mampu memberikan power yang yang maksimal ke beban maka H-Bridge dirancang untuk bekerja dalam tiga fase. Fase pertama ketika Q1 dan Q4 *on*, keadaan kedua ketika Q3 dan Q2 *on* dan keadaan ketiga ketika Q2 dan Q4 *on*.

Gambar 3.6 menunjukkan fase pertama dimana Q1 dan Q4 dalam keadaan *on*. Pada fase ini maka arus dari VDD akan melewati Q1 menuju beban RL kemudian akan melewati Q4 dan akhirnya menuju ground.

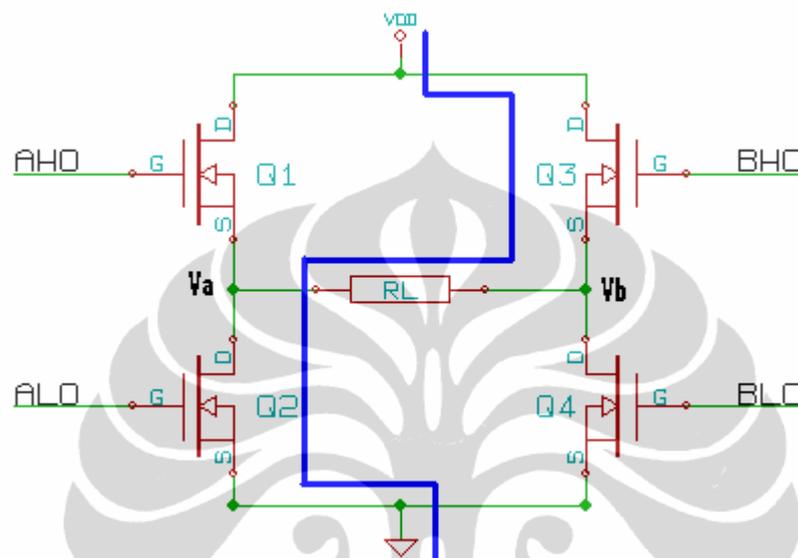


Gambar 3.6: Aliran arus pada fase pertama

Pada fase pertama ini, tegangan di titik Va sebesar VDD dan tegangan di titik Vb adalah 0. Sehingga besarnya tegangan antara titik Va dan Vb adalah:

$$V_a - V_b = VDD - 0 = VDD \quad (3.1)$$

Fase kedua terlihat seperti gambar 3.7 dimana mosfet Q3 dan Q2 yang on. Pada fase ini arus dari VDD akan melewati Q3 kemudian dilewatkan ke beban RL. Dari beban RL arus terus dilewatkan menuju Q2 hingga akhirnya mencapai *ground*.

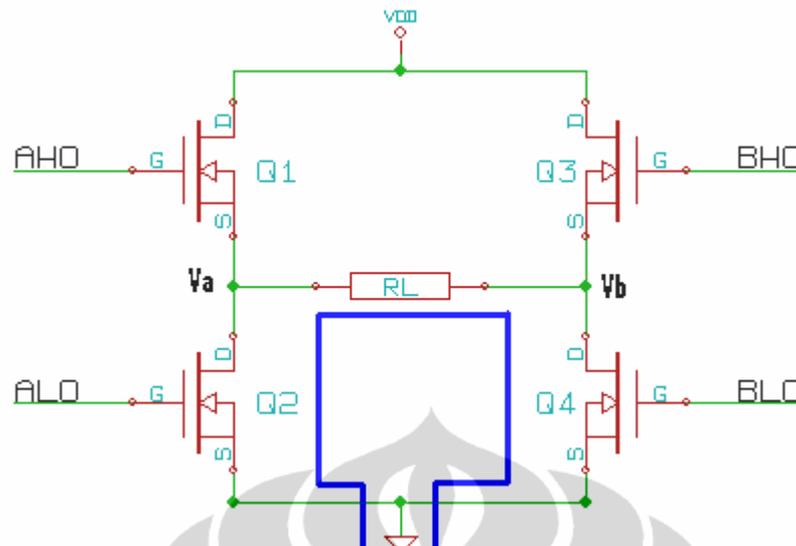


Gambar 3.7: Aliran arus pada fase kedua

Tegangan di titik Va akan menjadi 0 Volt sedangkan di titik Vb adalah sebesar VDD. Dan jika Va dijadikan titik acuan maka besarnya tegangan antara titik Va dan Vb adalah:

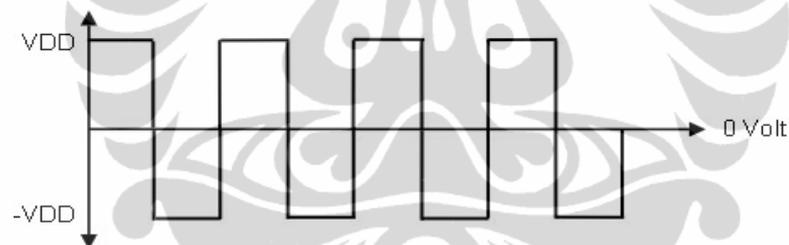
$$V_a - V_b = 0 - V_{DD} = -V_{DD} \quad (3.2)$$

Dan fase ketiga adalah ketika Q2 dan Q4 on seperti terlihat pada gambar 3.8. Pada fase ini terlihat bahwa beban RL digroundkan. Ketika Q2 on maka tegangan di titik Va adalah 0 Volt. Demikian pula Q4 juga on sehingga tegangan di titik Vb sebesar 0 Volt. Fase ini menyebabkan tidak ada arus yang mengalir melewati beban RL serta mosfet Q2 dan Q4.



Gambar 3.8: Aliran arus pada fase ketiga

Kombinasi ketiga fase di atas diharapkan bisa menghasilkan gelombang kotak seperti pada gambar 3.9.



Gambar 3.9: Sinyal gelombang kotak bolak-balik dengan duty cycle 50%

Siklus positif pada gambar di atas terjadi pada saat fase pertama dimana Q1 dan Q4 on. Siklus negatif terjadi pada saat fase kedua dimana Q3 dan Q2 on. Karena gambar di atas memiliki duty cycle 50% maka fase ketiga belum terpakai. Fase ketiga akan terpakai pada saat kita ingin mengatur daya dari ultrasonic generator. Keuntungan dengan menggunakan kombinasi ketiga fase di atas adalah rangkaian H-Bridge akan bekerja secara bergantian, sehingga semua mosfet tidak akan menghasilkan panas yang berlebihan.

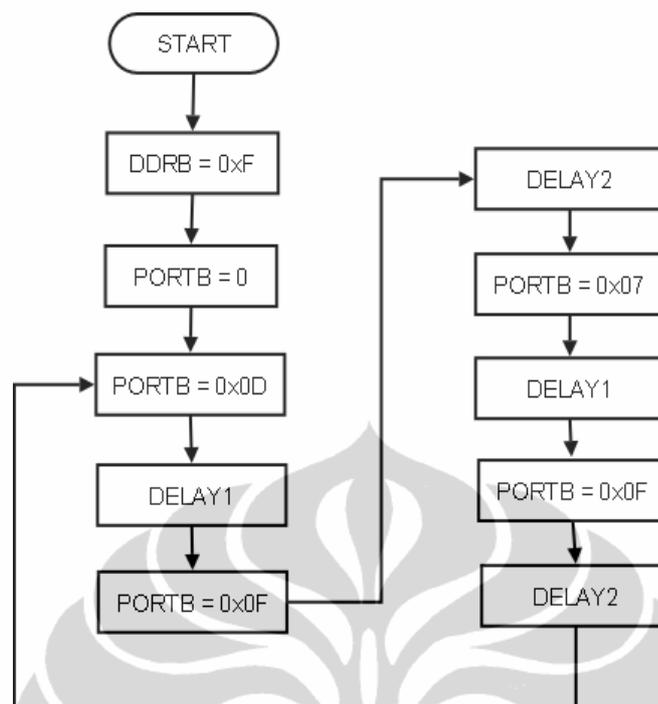
3.2 Perancangan *Software*

Mikrokontroler merupakan komponen utama yang digunakan dalam rangkaian *ultrasonic generator*. Dua hal yang dilakukan oleh mikrokontroler adalah mengendalikan H-Bridge *driver* dan yang kedua adalah berkomunikasi dengan komputer. Agar bekerja sesuai dengan fungsinya maka mikrokontroler perlu diprogram terlebih dahulu. Di sub bab ini akan dijelaskan tentang bagaimana program untuk mengendalikan H-Bridge *driver*, komunikasi dengan komputer serta rancangan *software* untuk komputer.

3.2.1 Program Mengendalikan H-Bridge *Driver*

H-Bridge driver (HIP4081A) terkoneksi dengan mikrokontroler ke pin PB0, PB1, PB2, PB3 pada PORTB. PB0 terkoneksi ke pin AHI, PB1 ke ALI, kemudian PB2 terkoneksi ke BHI dan PB3 terkoneksi ke BLI.

Agar bisa menghasilkan tegangan *output* seperti yang terlihat pada gambar 3.8 maka pin-pin input dari HIP4081A harus dikendalikan sesuai dengan Tabel 3.1. Dari table tersebut terlihat bahwa pin input yang paling menentukan *output* dari HIP4081A adalah pin ALI dan BLI. Sedangkan untuk bagian AHI dan BHI kondisinya sangat bergantung dari pin ALI dan BLI. Dan untuk memudahkan pemrograman maka pin AHI dan BHI selalu di set 1. Gambar 3.10 berikut merupakan potongan *flowchart* untuk mengendalikan HIP4081A H-Bridge driver.



Gambar 3.10: Potongan *flowchart* untuk mengendalikan *input* mosfet driver

Dari gambar di atas terlihat bahwa mula-mula pin PB0, PB1, PB2, PB3 pada PORTB mikrokontroler ATTINY2313 difungsikan sebagai output, kemudian PORTB diberi nilai 0. Proses pengendalian H-Bridge *driver* dimulai dengan menset nilai PORTB sebesar 0x0D yang menyebabkan ALI menjadi 0 dan BLI menjadi 1 dan akan menyebabkan Q1 dan Q4 menjadi on.

Tahap berikutnya menjadikan Q2 dan Q4 on dengan cara menset PORTB dengan 0x0F. Pada kondisi ini pin ALI dan BLI diset menjadi 1. Selanjutnya PORTB akan diberi nilai 0x07 dimana hal ini akan menyebabkan pin ALI diset menjadi 1 dan BLI menjadi 0. Kondisi ini akan menyebabkan Q3 dan Q2 on. Dan kondisi terakhir membuat Q2 dan Q4 on kembali dengan cara memberi PORTB nilai 0x0F.

Pada gambar potongan *flowchart* di atas semua *delay* ditentukan besarnya berdasarkan *duty cycle*. *Duty cycle* maksimum yang ditentukan adalah 50 % dimana akan menyebabkan DELAY2 bernilai 0 sedangkan nilai DELAY1 menjadi setengah dari periode gelombang. Sedangkan pada saat *duty cycle* bernilai di bawah 50% nilai DELAY2 akan bertambah besar sedangkan DELAY1 menjadi semakin kecil.

3.2.2 Komunikasi Dengan Komputer

Konfigurasi frekuensi dan *duty cycle* dari *ultrasonic generator* dilakukan oleh komputer. Komunikasi antara komputer dengan mikrokontroler dilakukan melalui UART dengan menggunakan protokol yang sederhana. Protokol tersebut hanya memanfaatkan kode-kode ASCII saja sebagai *command* untuk mikrokontroler. Table 3.2 di bawah ini berisi daftar semua *command* yang digunakan untuk mengkonfigurasi mikrokontroler.

Tabel 3.2 Daftar *command* untuk mengendalikan *ultrasonic generator*

Command	Parameter	Deskripsi
\$SA		Memerintah mikrokontroler untuk mulai membangkitkan gelombang
\$SO		Menghentikan mikrokontroler untuk membangkitkan gelombang
\$F n	n = 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9	Mengatur keluaran frekuensi gelombang ultrasonic
\$D n	n = 1,2,3,4,5 1 → 10% 2 → 20% 3 → 30% 4 → 40% 5 → 50%	Mengatur besarnya <i>duty cycle</i>

3.2.3 Rancangan Software di Komputer

Untuk mempermudah pengguna dalam mengkonfigurasi *ultrasonic generator* maka dibuat sebuah program di komputer. Gambar 3.11 menunjukkan GUI (*Graphical User Interface*) dari program yang mengkonfigurasi *ultrasonic generator*.



Gambar 3.11: Design Gui untuk *ultrasonic generator*

Dari Gambar 3.11 terlihat bahwa ada 2 parameter penting yang akan dikonfigurasi pada *ultrasonic generator*. Parameter pertama adalah frekuensi dan yang kedua adalah *duty cycle*. Frekuensi yang dikeluarkan *ultrasonic* harus sesuai dengan frekuensi resonansi dari *transducer ultrasonic*. Dan untuk saat ini hanya baru beberapa frekuensi saja yang disiapkan. Nantinya diharapkan bisa bertambah agar bisa menyesuaikan dengan *transducer* yang ada dipasaran. Sedangkan *duty cycle* dipakai salah satu parameter untuk mengatur daya keluaran dari ultrasonic generator.

BAB 4 PENGUJIAN DAN HASIL

Pada bab ini akan dibahas tentang pengujian dari *ultrasonic generator* serta hasil dan analisisnya. Perlu dijelaskan di sini bahwa pengujian *ultrasonic generator* dilakukan dengan menggunakan beban resistor karbon, bukan dengan menggunakan *ultrasonic transducer*. Gambar 4.1 di bawah ini adalah bentuk resistor beban dari *ultrasonic generator*.



Gambar 4.1: Resistor beban untuk ujicoba *ultrasonic generator*

Resistor beban tersusun dari 40 buah resistor karbon $10\ \Omega$ yang masing-masing resistor memiliki disipasi daya 2 Watt. Sehingga bisa dihitung bahwa kemampuan arus yang mampu dilewatkan pada satu resistor beban adalah 0,44 A. Oleh karena itu resistor beban disusun sedemikian rupa agar arus yang melewati resistor beban tidak berlebihan sehingga dapat merusak resistor tersebut.

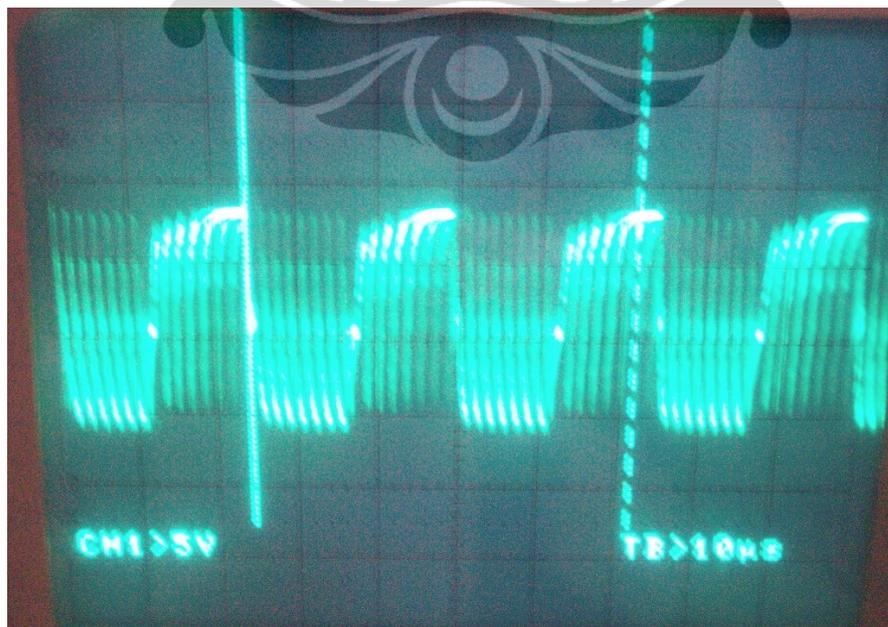
4.1 Bentuk Sinyal Output *Ultrasonic generator*

Bentuk sinyal output dari *ultrasonic generator* yang diharapkan adalah seperti pada Gambar 3.9. Dimana bentuknya adalah gelombang kotak dengan tegangan output sebesar $\pm VDD$. Tegangan VDD positif terjadi pada fase pertama dan tegangan -VDD terjadi pada fase kedua.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan resistor beban (RL) sebesar 1,2 Ω dan 4,5 Ω serta 8,3 Ω pada tegangan VDD sebesar 5 Volt dan 12 Volt. Ada 2 jenis power supply diujicobakan, yaitu *power supply* merk xxx dan yang kedua adalah *power supply* komputer biasa. Keduanya masuk dalam kategori *switching power supply*.

Gambar 4.2 , Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 di bawah ini adalah bentuk gelombang dari *ultrasonic generator* dengan menggunakan RL sebesar 1,2 Ω . Untuk Gambar 4.2, *power supply* yang digunakan adalah merk xxx pada tegangan 12 Volt dengan arus maksimum yang bisa disuplai sebesar 0,5A. Sedangkan untuk Gambar 4.3 dan Gambar 4.4, menggunakan *power supply* komputer.

Gambar 4.2 menunjukkan hasil yang tidak diharapkan. Penulis menduga hal ini terjadi karena power supply yang digunakan tidak cukup untuk mensuplai arus. Untuk beban RL sebesar 1,2 Ω pada tegangan VDD sebesar 12 Volt maka setidaknya arus total yang mengalir dibeban pada saat H-Bridge fase pertama dan fase kedua sebesar 10 A, sedangkan kemampuan *power supply* hanya sebesar 0,5 A. Hal ini menyebabkan *power supply* drop pada saat fase pertama dan fase kedua.

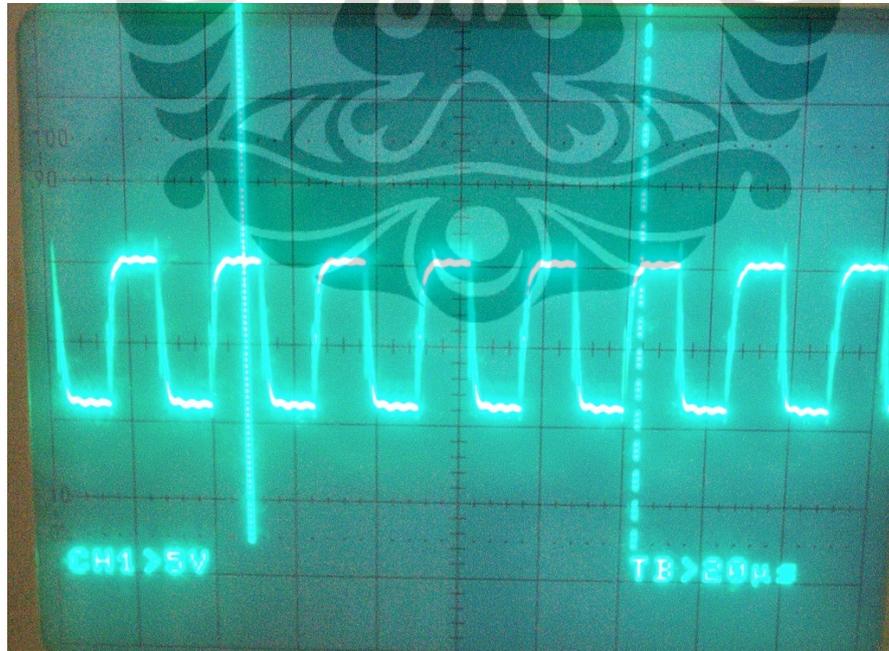


Gambar 4.2: Sinyal output ultrasonic generator pada saat RL 1,2 Ω dengan menggunakan power supply xxx pada tegangan 12 Volt

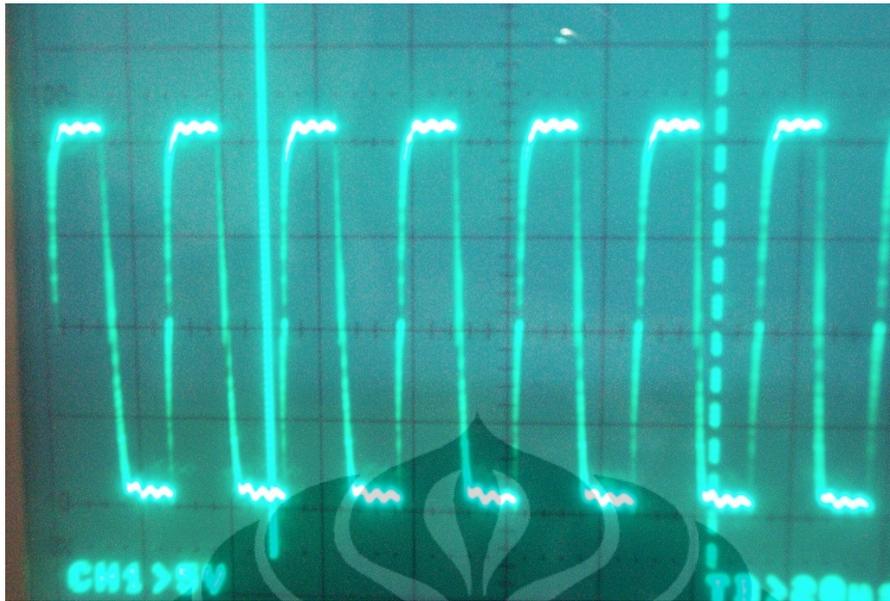
Karena menggunakan *power supply* merk xxx tidak mencukupi arusnya maka penulis mengganti dengan menggunakan power supply komputer. Dari spesifikasi teknis yang tertulis, power supply ini mampu mensuplai arus sebesar 30 A pada tegangan 5 Volt, dan 24 A pada tegangan 12 Volt.

Sinyal output yang dihasilkan ternyata seperti yang diharapkan. Dengan beban sebesar $1,2 \Omega$ dihasilkan output seperti pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4. Gambar 4.3 pada saat VDD diberi tegangan 5 Volt dan Gambar 4.4 pada saat VDD diberi tegangan sebesar 12 Volt.

Dari Gambar 4.3 terlihat bahwa amplitudo sinyal *output* dari *ultrasonic generator* tidak bisa mencapai maksimum VDD yaitu 5 Volt. Demikian pula pada Gambar 4.4, amplitudo sinyal outputnya tidak bisa mencapai maksimum VDD yaitu 12 Volt. Kondisi ini bisa saja terjadi dikarenakan pada saat resistansi beban RL rendah maka nilai resistansi dari penghantar (kabel) yang digunakan untuk menghubungkan mosfet ke PCB dan dan PCB ke beban cukup signifikan untuk mempengaruhi nilai tegangan pada beban RL.

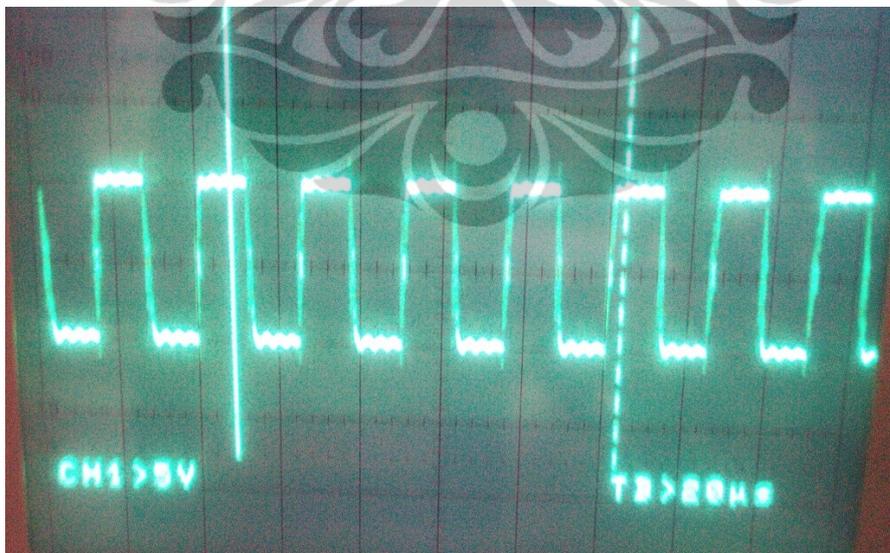


Gambar 4.3: Sinyal output ultrasonic generator pada saat RL $1,2 \Omega$ dengan menggunakan power supply komputer pada tegangan 5 Volt



Gambar 4.4: Sinyal output *ultrasonic generator* pada saat RL 1,2 Ω dengan menggunakan *power supply* komputer pada tegangan 12 Volt

Pengujian kemudian dilakukan dengan memperbesar RL menjadi 4,5 Ω dan hanya *power supply* komputer yang dipakai sebagai catu daya VDD. Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 adalah bentuk sinyal *output* dari *ultrasonic generator*.



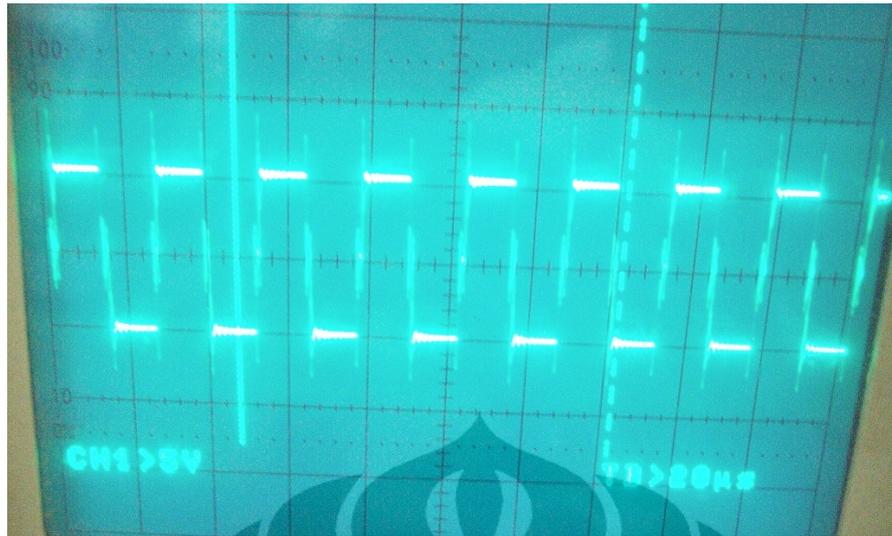
Gambar 4.5: Sinyal output *ultrasonic generator* pada saat RL 4,5 Ω dengan tegangan 5 Volt



Gambar 4.6: Sinyal output *ultrasonic generator* pada saat RL $4,5 \Omega$ dengan tegangan 12 Volt.

Pada saat resistansi beban RL dinaikan menjadi $4,5 \Omega$ maka resistansi penghantar tidak cukup signifikan untuk mempengaruhi tegangan pada nilai tegangan pada beban RL. Hal terlihat pada Gambar 4.5, dimana amplitudo sinyal output mencapai nilai maksimum VDD yaitu 5 Volt. Demikian pula pada Gambar 4.6 terlihat bahwa amplitudo sinyal output dari *ultrasonic generator* mencapai 12 Volt.

Nilai resistor beban RL dinaikan kembali menjadi $8,3 \Omega$ untuk pengujian berikutnya. Pada pengujian ini resistor beban RL yang dipakai hanya satu buah saja, karena resistor beban yang sudah direncanakan tidak mencukupi untuk membentuk hambatan total mencapai 8Ω . Dan pengujian menggunakan *power supply* komputer. Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 adalah bentuk sinyal dari *ultrasonic generator* dengan resistor beban RL sebesar $8,3 \Omega$. Gambar 4.7 VDD diberi tegangan sebesar 5 Volt dan Gambar 4.8 VDD diberi tegangan sebesar 12 Volt.



Gambar 4.7: Sinyal output *ultrasonic generator* pada saat RL 8,3 Ω dengan tegangan 5 Volt

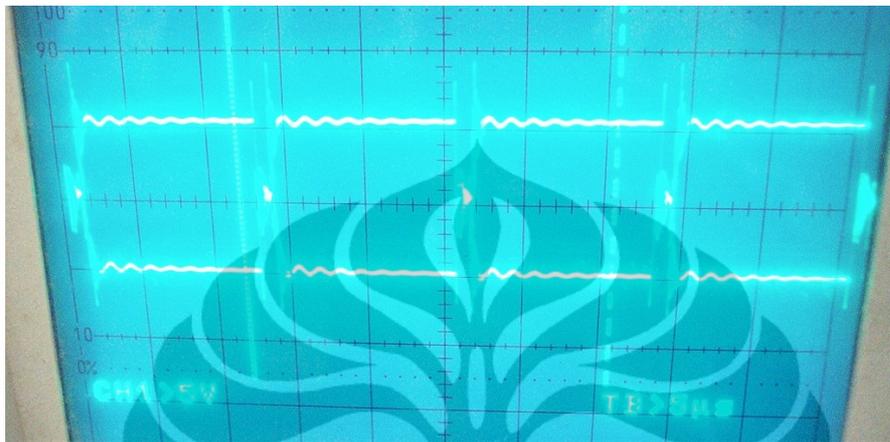


Gambar 4.8: Sinyal output *ultrasonic generator* pada saat RL 8,3 Ω dengan tegangan 12 Volt

Dari Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 di atas terlihat bahwa peningkatan nilai resistansi beban RL menjadi 8,3 Ω membuat sinyal keluaran *ultrasonic generator* mencapai tegangan maksimum VDD.

Dari semua pengujian yang dilakukan untuk mengetahui bentuk sinyal keluaran *ultrasonic generator* dapat diambil gambaran bahwa semakin besar nilai resistansi beban RL maka sinyal output dari *ultrasonic generator* akan mencapai tegangan maksimum positif VDD dan negatif VDD. Namun peningkatan nilai resistansi beban ini ternyata juga meningkat besarnya tegangan *ripple* pada saat

sinyal berada di VDD dan -VDD serta 0 Volt. Selain nilai resistansi beban, tegangan *ripple* juga akan bertambah besar pada saat tegangan VDD diperbesar. Gambar 4.9 di bawah ini hanya salah satu contoh tegangan *ripple* yang penulis dokumentasikan.



Gambar 4.9: Contoh tegangan *ripple* pada saat RL diperbesar

Munculnya tegangan ripple ini merupakan sesuatu yang wajar. Jika mosfet pada rangkaian H-Bridge ini bekerja sebagai saklar elektronik, maka pada saat mosfet transisi dari *on* ke *off* atau dari *off* ke *on* akan menimbulkan efek *bouncing* seperti pada saklar biasa. Efek *bouncing* ini yang menyebabkan munculnya tegangan ripple.

4.2 Pengukuran Tegangan rms (*Root Mean Square*)

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 *ultrasonic generator* adalah gelombang kotak. Jika *duty cycle* gelombang kotak tersebut adalah 50% maka dengan menggunakan

persamaan 4.1 dapat dihitung besarnya tegangan rms, sebagai berikut:

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

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} [-V_p]^2 dt} > 0.5$$

Kedua persamaan di atas menghasilkan :

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} V_p^2 dt}$$

Untuk periode 0 sampai 0.5 periode maka:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{0.5 - 0} \int_0^{0.5} V_p^2 dt} \text{ sehingga } V_{rms} = V_p \sqrt{\frac{1}{0.5} \int_0^{0.5} dt}$$

$$V_{rms} = V_p \sqrt{\frac{1}{0.5} [t]} \text{ sehingga } V_{rms} = V_p \sqrt{\frac{1}{0.5} [0.5 - 0]}$$

maka akan menghasilkan :

$$V_{rms} = V_p \tag{4.2}$$

Untuk 0.5 periode sampai 1 akan menghasilkan :

$$V_{rms} = V_p \tag{4.3}$$

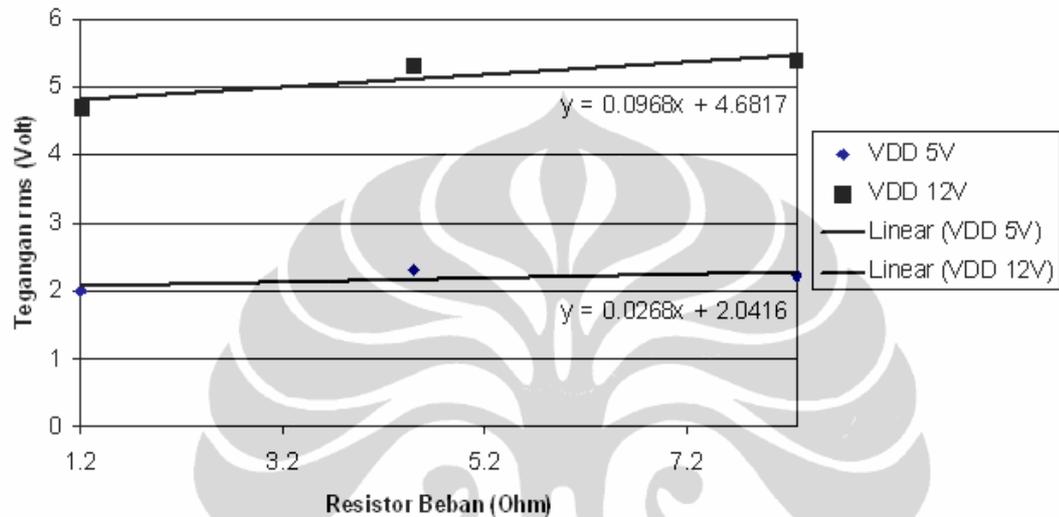
Dari persamaan 4.2 dan 4.3 terlihat bahwa besarnya tegangan rms untuk gelombang kotak adalah sebesar tegangan *peaknya*.

Pengukuran tegangan rms pada *ultrasonic generator* ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur multimeter digital merk Fluke. Ujicoba dilakukan dengan menggunakan resistor beban 1,2 Ω , 4,5 Ω dan 8,3 Ω . *Power supply* yang digunakan adalah *power supply* komputer dengan tegangan 5 Volt dan 12 Volt. Khusus untuk resistor beban 4,5 Ω , dilakukan juga pengujian menggunakan *linear power supply*. *Power supply* ini dengan menggunakan *varibel transformer* dimana tegangan diset dari 1 Volt hingga 12 Volt.

Tabel 4.1 di bawah ini menunjukkan hasil pengukuran tegangan rms pada *ultrasonic generator* dengan frekuensi 40 Khz dan *duty cycle* 50% terhadap VDD. Sedangkan Tabel 4.2 menunjukkan tegangan rms pada *ultrasonic generator* dimana resistor beban sebesar 4,5 Ω dengan menggunakan *linear power supply* pada frekuensi 40 Khz dan *duty cycle* 50%.

Tabel 4.1 Hubungan Resistor beban dengan tegangan rms

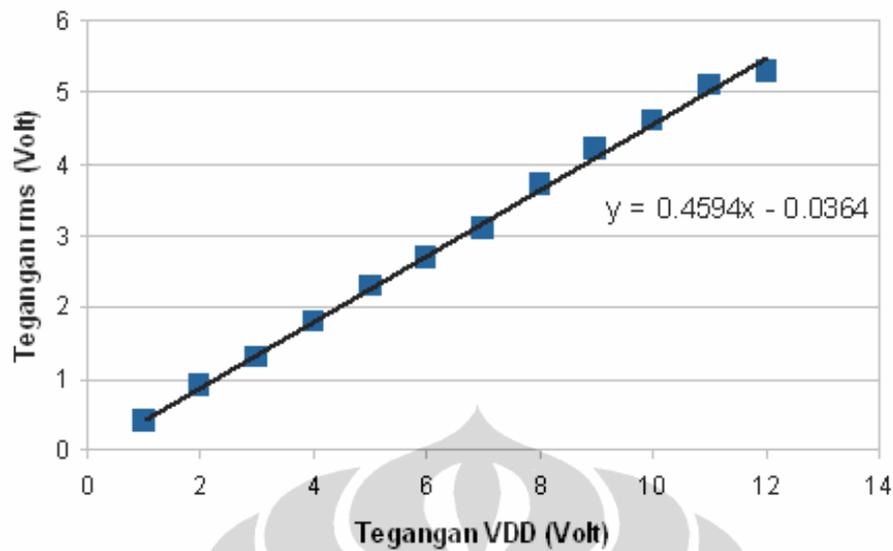
Tegangan VDD (V)	Tegangan rms (V)		
	1,2 Ω	4,5 Ω	8,3 Ω
5	2,0	2,3	2,2
12	4,7	5,3	5,4



Gambar 4.10: Grafik hubungan antara resistor beban dengan tegangan rms

Tabel 4.2 Hubungan VDD dengan tegangan rms dengan resistor beban 4,5 Ω

Tegangan VDD (V)	Tegangan rms (V)
1	0,4
2	0,9
3	1,3
4	1,8
5	2,3
6	2,7
7	3,1
8	3,7
9	4,2
10	4,6
11	5,1
12	5,3



Gambar 4.11: Grafik hubungan antara VDD dengan tegangan rms dengan resistor beban $4,5 \Omega$

Dari kedua tabel di atas terlihat bahwa hasil pengukuran tegangan rms tidak sesuai dengan persamaan tegangan rms untuk gelombang kotak seperti pada persamaan 4.2 dan 4.3. Ternyata dari hasil pengukuran, menghasilkan tegangan rms yang selalu mendekati setengah dari tegangan VDD untuk semua beban. Jika merujuk ke persamaan yang lain yaitu :

$$V_{rms} = V_{high} D + V_{low} (1 - D) \quad (4.4)$$

dimana D adalah duty cycle, V_{high} dan V_{low} adalah tegangan power supply yang diberikan ke rangkaian H-Bridge maka hasilnya akan mendekati benar.

Pada ujicoba, rangkaian H-Bridge diberi tegangan VDD dan ground sehingga tegangan rms yang dihasilkan adalah setengah VDD jika duty cycle 50%. Untuk tegangan VDD 5 Volt maka seharusnya tegangan rmsnya adalah 2,5 Volt. Dan untuk VDD 12 Volt maka tegangan rmsnya adalah 6 Volt. Dari Gambar 4.10 dan 4.11 di atas terlihat bahwa semua hasil pengukur tegangan rms secara umum masih di bawah tegangan rms ideal. Untuk Gambar 4.10 pengukuran tegangan rms memvariasikan nilai resistor beban. Namun dari grafik pada Gambar 4.10 terlihat persamaan linear yang didapat adalah $y = 0,0968x + 4,6817$ dan $y = 0,0268x + 2,0416$, dimana nilai kemiringannya (*slope*) sangat kecil. Sehingga dapat diperoleh gambaran bahwa perubahan nilai resistor beban tidak berpengaruh secara signifikan terhadap tegangan rms.

Berbeda dengan Gambar 4.11 dimana pengukuran tegangan rms dilakukan dengan memvariasikan tegangan VDD dan dari garfik diperoleh persamaan linear $y = 0,4594x - 0,0364$. Nilai kemiringan dari persamaan tersebut cukup besar yaitu mendekati nilai 0,5. Ini berarti bahwa semua tegangan rms adalah mendekati setengah dari tegangan VDD.

Menurut penulis ada beberapa penyebab terjadinya penurunan tegangan rms ini. Pertama adalah faktor hambatan RDS(on) pada mosfet ketika kondisi mosfet on. Mosfet IRF540N memiliki RDS(on) 44 mΩ, padahal pada H-Bridge arus melewati 2 mosfet sehingga RDS(on) total adalah 88 mΩ. Meskipun nilainya cukup kecil namun akan cukup berpengaruh pada saat nilai resistor beban kecil atau pada saat VDD kecil. Faktor kedua adalah karena munculnya tegangan ripple pada saat sinyal output mencapai VDD maksimum dan VDD minimum akibat bouncing. Dan faktor ketiga adalah kemungkinan terjadinya kesalahan pengukuran karena faktor alat ukur, meskipun kemungkinannya sangat kecil.

4.3 Daya Output Terhadap Tegangan VDD

Salah satu spesifikasi *ultrasonic generator* yang ingin dicapai oleh penulis adalah daya outputnya lebih dari 100 Watt. Secara umum untuk menghitung daya dapat ditulis dalam persamaan :

$$P = VI \quad (4.5)$$

atau dapat pula ditulis:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (4.6)$$

Karena tegangan keluaran dari *ultrasonic generator* adalah bolak-balik maka persamaan di atas berubah menjadi :

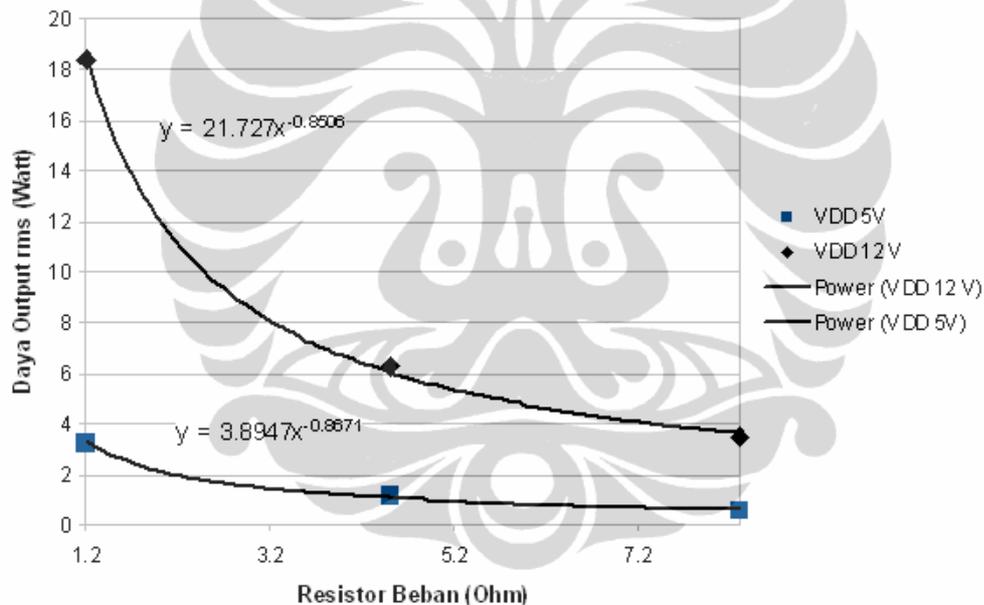
$$P_{rms} = \frac{V_{rms}^2}{R} \quad (4.7)$$

Untuk mendapatkan besarnya daya output pada *ultrasonic generator* ini maka penulis memanfaatkan hasil pengukuran tegangan rms seperti yang terlihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2. Dengan memanfaatkan kedua tabel tersebut, diharapkan akan terlihat karakteristik daya output untuk dua kondisi, yaitu daya output pada saat nilai resistor beban berubah dan yang kedua adalah daya output pada saat terjadi perubahan tegangan VDD.

Dari hasil pengukuran tegangan rms seperti yang terlihat pada Tabel 4.1 maka dengan memanfaatkan persamaan 4.7 dapat dihitung besarnya daya output untuk *ultrasonic generator* pada saat nilai resistor beban divariasikan. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3 Daya output *ultrasonic generator* dengan variasi resistor beban

Tegangan VDD (V)	P rms (Watt)		
	1,2 Ω	4,5 Ω	8,3 Ω
5	3,33	1,17	0,58
12	18,41	6,24	3,51



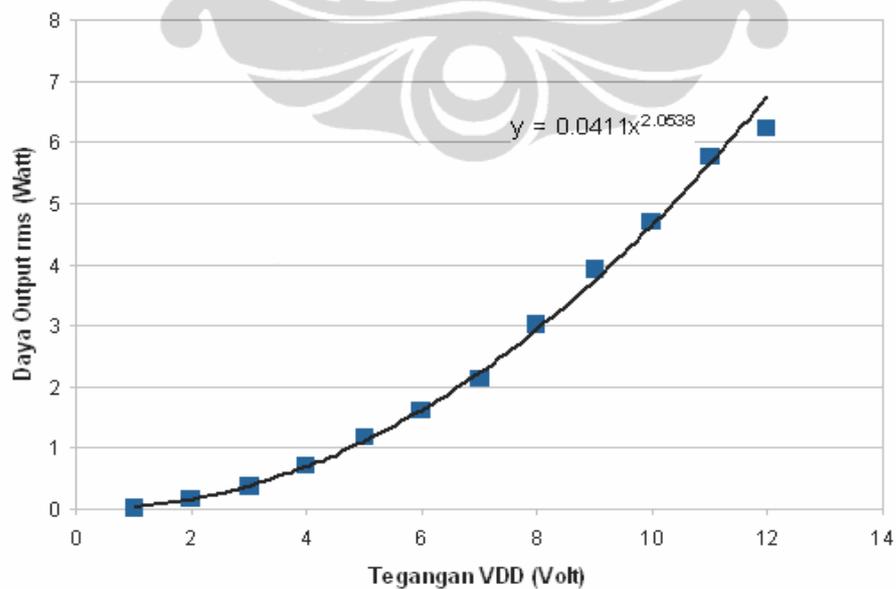
Gambar 4.12: Grafik Hubungan antara resistor beban dengan daya output

Gambar 4.12 di atas merupakan gambar grafik daya output yang divariasikan dengan perubahan nilai resistor beban seperti pada Tabel 4.3. Dari grafik diperoleh persamaan $y = 21,727x^{-0,8506}$ dan $y = 3,8947x^{-0,8671}$. Pangkat negatif dari kedua persamaan tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai resistor beban maka daya output yang dihasilkan semakin kecil secara eksponensial. Pada saat nilai resistor beban dinaikan maka besarnya arus yang mengalir ke resistor tersebut akan berkurang. Akibatnya ini akan menurunkan daya output dari *ultrasonic generator*.

Sedangkan perhitungan daya output pada Tabel 4.2 terlihat seperti pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hubungan Tegangan VDD dengan daya output pada saat resistor beban $4,5 \Omega$

Tegangan VDD (V)	P rms (V)
1	0,04
2	0,18
3	0,37
4	0,72
5	1,17
6	1,62
7	2,14
8	3,04
9	3,92
10	4,70
11	5,78
12	6,24



Gambar 4.13: Grafik Hubungan Tegangan VDD dengan daya output pada saat resistor beban $4,5 \Omega$

Dari Tabel 4.4 dan Gambar 4.13 di atas terlihat bahwa daya output *ultrasonic generator* berbanding lurus dengan tegangan yang VDD yang diberikan ke H-Bridge. Hal ini terlihat dari persamaan grafik yang dihasil yaitu $y = 0,0411x^{2,0538}$. Pangkat pada persamaan grafik tersebut bernilai positif. Sehingga bisa disimpulkan bahwa daya output sebanding dengan tegangan VDD. Jika tegangan VDD yang diberikan semakin besar maka daya outputnya akan semakin besar, demikian pula jika VDD semakin kecil maka daya output juga semakin kecil.

Perlu menjadi perhatian, bahwa daya output di atas terjadi pada saat *duty cycle* 50% dan frekuensi 40 Khz. Sehingga perlu dilakukan pengujian untuk mengukur daya output pada saat *duty cycle* selain 50% dan frekuensi lebih besar dari 40 Khz. Namun demikian, dapat diperoleh gambaran bahwa untuk mendapatkan daya output yang besar maka diperlukan tegangan VDD yang cukup besar dan nilai resistor beban yang kecil.

4.4 Pengaruh *Duty Cycle* Terhadap Tegangan rms

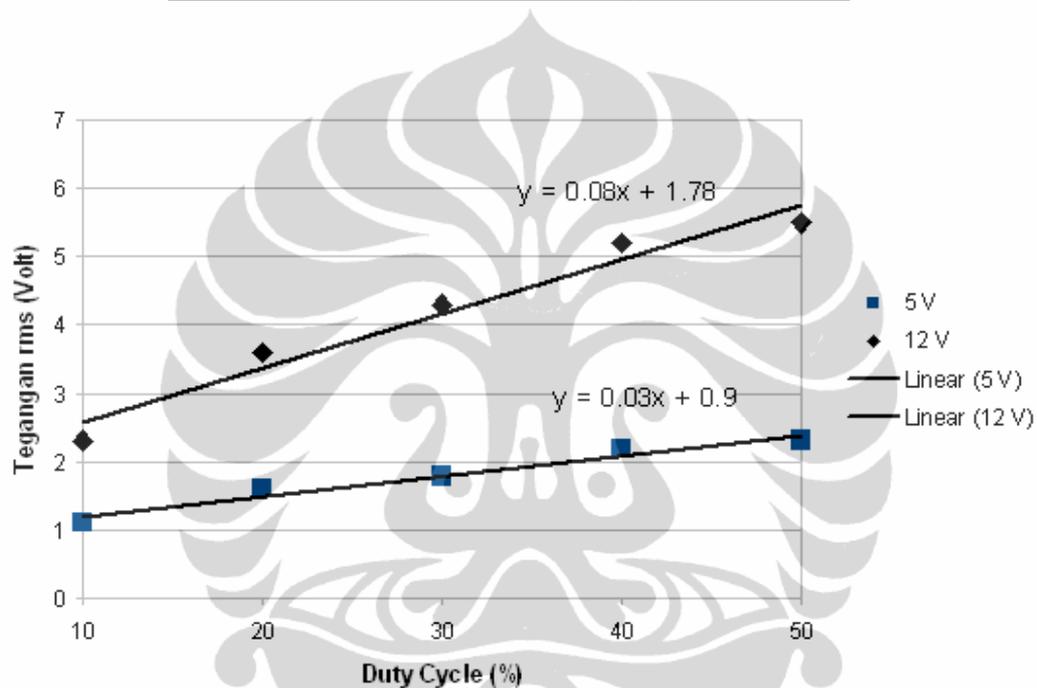
Tegangan rms menjadi kunci utama untuk mendapatkan daya output dari *ultrasonic generator* ini. Oleh karena itu perlu dilakukan ujicoba untuk mengetahui hubungan antara *duty cycle* dengan tegangan rms. Sehingga nantinya juga dapat diperoleh gambaran tentang pengaruh *duty cycle* terhadap daya output dari *ultrasonic generator* ini.

Uji coba yang dilakukan ini masih tetap menggunakan frekuensi 40 Khz, dengan tegangan VDD sebesar 5 Volt dan 12 Volt. Sedangkan *duty cycle* diatur dari 10% hingga maksimal 50%. Tabel 4.5 adalah hasil yang diperoleh dari ujicoba ini.

Dari Table 4.5 di bawah ini terlihat bahwa perubahan *duty cycle* bisa mempengaruhi besarnya tegangan rms. Semakin besar nilai *duty cycle* maka tegangan rms yang dihasilkan juga semakin besar.

Tabel 4.5 Hubungan *duty cycle* terhadap tegangan rms

Duty Cycle (%)	Tegangan rms (V)	
	5 V	12 V
10	1,1	2,3
20	1,6	3,6
30	1,8	4,3
40	2,2	5,2
50	2,3	5,5

Gambar 4.14: Grafik hubungan antara *duty cycle* dengan tegangan rms pada saat resistor beban $4,5 \Omega$

Grafik pada Gambar 4.14 memperlihatkan dengan jelas bahwa semakin besar nilai *duty cycle* maka tegangan rms yang dihasilkan juga akan besar. Namun perubahannya tidak terlalu besar, hal ini ditunjukkan dari kemiringan persamaan grafik $y = 0,03x + 0,9$ untuk VDD 5 Volt dan $y = 0,08x + 1,78$ untuk VDD 12 Volt, yang besarnya masih di bawah 1.

Pada saat *duty cycle* kecil maka mosfet kondisinya akan *on* secara singkat, sedangkan pada saat *duty cycle* besar maka mosfet akan *on* lebih lama. Hal ini sesuai dengan dugaan awal penulis bahwa semakin besar *duty cycle* maka tegangan rmsnya akan semakin besar, dan begitu pula sebaliknya pada saat *duty*

cycle semakin kecil maka tegangan rms akan semakin kecil. Jika tegangan rms sebanding dengan daya output dari *ultrasonic generator*, maka dapat diambil kesimpulan sederhana bahwa besarnya *duty cycle* akan menyebabkan daya output *ultrasonic generator* akan semakin besar, dan jika *duty cycle* semakin kecil maka daya output juga akan semakin kecil.

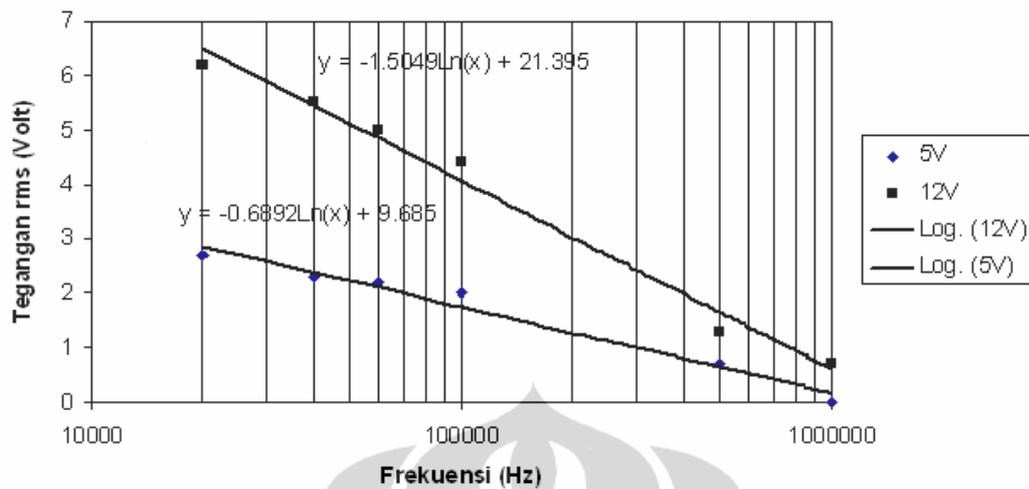
4.5 Pengaruh Frekuensi Terhadap Tegangan rms

Uji coba terakhir yang dilakukan oleh penulis adalah uji frekuensi dari *ultrasonic generator*. Uji coba ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh frekuensi terhadap tegangan rms, sekaligus untuk mengetahui frekuensi maksimum yang masih bisa dihasilkan dari *ultrasonic generator* ini.

Pada ujicoba ini tidak semua frekuensi dilakukan pengukuran, akan tetapi hanya beberapa frekuensi saja. Tabel 4.6 menunjukkan hubungan antara frekuensi dengan tegangan rms.

Tabel 4.6 Pengaruh Frekuensi terhadap Tegangan rms

Frekuensi	Tegangan rms (V)	
	5V	12V
20 Khz	2,7	6,2
40 Khz	2,3	5,5
60 Khz	2,2	5,0
100 Khz	2,0	4,4
500 Khz	0,7	1,3
1 Mhz	0	0,7



Gambar 4.15: Grafik hubungan frekuensi dengan tegangan rms

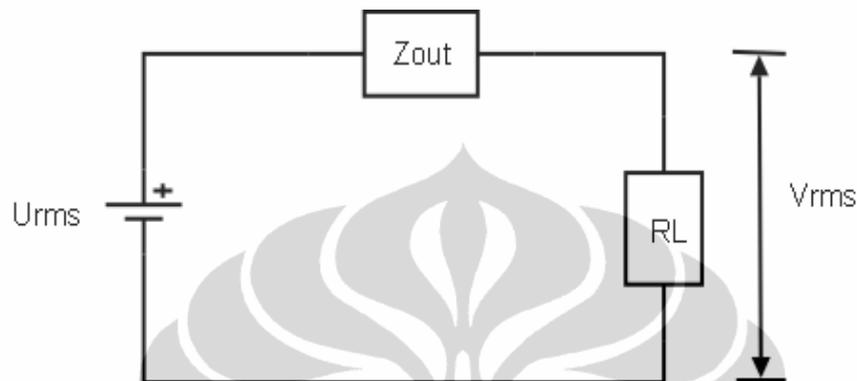
Dari Tabel 4.6 dan Gambar 4.15 terlihat bahwa tegangan rms akan semakin melemah pada saat frekuensi semakin tinggi. Menurut penulis ada tiga hal yang bisa menyebabkan hal ini terjadi. Pertama adalah faktor H-Bridge driver HIP4081A, dimana di dalam datasheet disebutkan kemampuan maksimum frekuensi yang bisa diberikan adalah 1 MHz. Faktor kedua adalah karena semakin besar frekuensi maka lebar pulsa gelombang kotak semakin kecil, dan ini menyebabkan kondisi mosfet on dengan singkat sehingga arus yang mengalir ke resistor beban semakin singkat dan kecil yang pada akhirnya menyebabkan tegangan rms menjadi kecil pula. Dan faktor ketiga adalah ketidak mampuan alat ukur yang dipakai untuk mengukur tegangan rms pada frekuensi tinggi. Dari datasheet multimeter digital versi terbaru yang penulis pakai, hanya memiliki frekuensi sampling sebesar 200 KHz. Jika mengikuti hukum Nyquist maka frekuensi maksimum yang bisa diukur oleh multimeter tersebut adalah 100 KHz.

Meskipun uji coba ini tidak menyeluruh untuk semua frekuensi, namun dari Gambar 4.15 dapat diambil kesimpulan sederhana bahwa semua frekuensi di bawah 100 KHz masih mampu menghasilkan tegangan rms yang relatif baik.

4.6 Menghitung Impedansi Output

Sebuah rangkaian elektronik yang ideal biasanya memiliki impedansi output nol. Namun tidak ada rangkaian elektronik yang ideal, sehingga

impedansi *output* dari sebuah rangkaian yang baik haruslah sekecil-kecilnya. Impedansi output juga biasa disebut dengan resistansi internal dari sebuah rangkaian. Untuk dapat menghitung impedansi *output* perhatikan Gambar 4.16 di bawah ini.



Gambar 4.16: Rangkaian impedansi output

Dari gambar di atas, sebagai sumber tegangan adalah U_{rms} yang merupakan tegangan rms yang seharusnya dicapai, sedangkan V_{rms} merupakan tegangan yang terukur pada beban. Jika besarnya arus yang mengalir di Z_{out} dan RL adalah sama maka dapat dituliskan:

$$I_{Z_{out}} = I_{RL} \quad (4.8)$$

sehingga :

$$\frac{U_{rms} - V_{rms}}{Z_{out}} = \frac{V_{rms}}{RL} \quad (4.9)$$

dan besarnya Z_{out} adalah :

$$Z_{out} = RL \frac{U_{rms} - V_{rms}}{V_{rms}} \quad (4.10)$$

Impedansi *output* dihitung dengan memanfaatkan data yang telah ada yaitu data perubahan VDD terhadap tegangan rms pada saat resistor beban $4,5 \Omega$, seperti yang terlihat pada Tabel 4.2. Dengan memanfaatkan persamaan impedansi *output* di atas maka Tabel 4.2 dapat dirubah seperti pada Tabel 4.7 di bawah ini. Nilai U_{rms} adalah tegangan rms ideal dan dihitung dengan asumsi bahwa *duty cycle* adalah 50% sehingga besarnya adalah setengah dari tegangan VDD.

Tabel 4.7 Tabel Konversi dari Tegangan rms ke Impendansi Output

VDD (V)	Urms (V)	Vrms (V)	Zout (Ω)
1	0,5	0,4	0,90
2	1	0,9	0,45
3	1,5	1,3	0,60
4	2	1,8	0,45
5	2,5	2,3	0,36
6	3	2,7	0,45
7	3,5	3,1	0,51
8	4	3,7	0,34
9	4,5	4,2	0,30
10	5	4,6	0,36
11	5,5	5,1	0,33
12	6	5,2	0,53

Dari Tabel 4.7 di atas terlihat bahwa nilai impedansi *output* terkecil adalah $0,30 \Omega$ dan yang tertinggi adalah $0,90 \Omega$, sehingga bisa diambil besarnya impedansi *output* rata-rata adalah $0,45 \Omega$. Jika masing-masing mosfet memiliki $R_{ds(on)}$ sebesar $44 \text{ m}\Omega$ maka besarnya $R_{ds(on)}$ dalam satu fase adalah $88 \text{ m}\Omega$ karena melewati dua buah mosfet sekaligus. Dan nilai impedansi output rata-rata masih lebih besar daripada nilai total $R_{ds(on)}$ mosfet. Hal ini dimungkinkan karena adanya tambahan resistansi dari kabel dan sambungan-sambungan kabel yang dipakai selama ujicoba.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

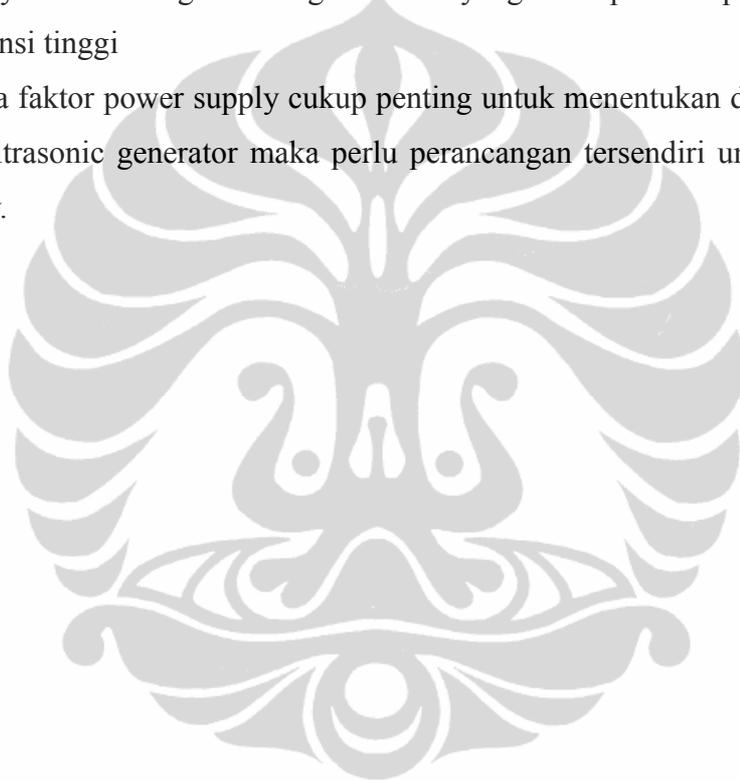
Dari hasil uji coba *ultrasonic generator* yang telah dilakukan, dapat diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu :

1. *Ultrasonic generator* ini membutuhkan power supply yang mampu mensuplai arus lebih besar dari 10A terutama jika resistansi beban bernilai rendah
2. Sinyal output ultrasonic generator akan mencapai maksimum tegangan VDD 5V dan 12V pada saat resistansi beban lebih besar dari 8Ω
3. Peningkatan nilai resistansi beban dan tegangan VDD akan memperbesar tegangan ripple pada sinyal output ultrasonic generator
4. Peningkatan nilai resistansi beban hanya meningkatkan tegangan rms sebesar 9% pada saat VDD 12V dan 2% pada saat VDD 5V
5. Peningkatan tegangan VDD akan memperbesar tegangan rms sebesar 45%
6. Daya output akan meningkatkan secara kuadrat pada saat tegangan VDD meningkat
7. Peningkatan besarnya *duty cycle* akan meningkatkan tegangan rms sebesar 8% pada saat VDD 12V dan 3% pada saat VDD 5V
8. Ultrasonic generator ini mampu bekerja dengan baik sampai dengan frekuensi 100 Khz
9. Dari hasil perhitungan diperoleh impedansi output rata-rata sebesar 0.45 ohm

5.2 Saran

Meskipun dari hasil uji spesifikasi cukup menjanjikan, namun ultrasonic generator yang penulis buat belum teruji untuk aplikasi sebenarnya. Berikut ini beberapa saran untuk perbaikan masa yang akan datang:

1. Ultrasonic generator yang dibuat ini perlu diuji dengan menggunakan bermacam-macam transducers ultrasonic yang sebenarnya
2. Perlunya merancang H-Bridge driver yang mampu beroperasi pada frekuensi tinggi
3. Karena faktor power supply cukup penting untuk menentukan daya output dari ultrasonic generator maka perlu perancangan tersendiri untuk power supply.



DAFTAR ACUAN

- Agbossou, Kodjo, & Dion, Jean-Luc, & Carignan, Syvain, & Abdelkrim, Meftah, & Cheriti, Ahmed. (2000). *Class D Amplifier for a Power Piezoelectric Load*. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol. 47, No. 4, July 2000
- Cheeke, J. David N. (2002). *Fundamentals and Applications of Ultrasonic Wave*. Florida: CRC Press LLC
- Crowell, benjamin. (2008). *Vibrations and Waves*. California: Light and Matter
- Didonato, Alex C., & Dupuis, Ryan T., & Folsom, Tyler W. (2004, April). *Class-D Audio Amplifier*. Worcester Polytechnic Institute
- Fuchs, F. John. *Ultrasonic Cleaning: Fundamental Theory and Application*. Blackstone Ultrasonic
- Liu, Huimin. (2000). *Science and Engineering of Droplets*. New Jersey: Noyes Publications
- <http://sound.westhost.com/articles/pwm.htm> diakses pada tanggal 5 Januari 2010 pukul 11:12 WIB
- <http://robots.freehostia.com/SpeedControl/Mosfets.html> diakses pada tanggal 5 Januari 2010 pukul 12:30 WIB
- http://en.wikipedia.org/wiki/Acoustic_wave_equation diakses pada tanggal 10 Januari 2010 pukul 10:43 WIB
- http://en.wikipedia.org/wiki/Square_wave diakses pada tanggal 10 Januari 2010 pukul 10:45 WIB
- http://en.wikipedia.org/wiki/Root_mean_square diakses pada tanggal 5 Pebuari 2010 pukul 13:04 WIB
- http://en.wikipedia.org/wiki/Output_impedance diakses pada tanggal 4 Maret 2010 pukul 9:30 WIB

LAMPIRAN

ultrasonic.c

```
/*
Program utama untuk ultrasonic generator
Nama File : ultrasonic.c
Dibuat oleh sukarno
Tanggal : 30 April 2010
*/
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/pgmspace.h>
#include "uart.h"

#define u16 unsigned int

#define CTRL PORTB
#define DCTRL DDRB

#define HIGH 0x0D
#define LOW 0x07
#define NOL 0x0F

#define SET_HIGH() (CTRL = HIGH)
#define SET_LOW() (CTRL = LOW)
#define SET_NOL() (CTRL = NOL)

/*
Deklarasi variabel
*/
unsigned char freq, dc, bufIn;
volatile unsigned char run;
char data, buf[6];
/*
Deklarasi fungsi untuk frekuensi
*/
void freq_20khz_50(void);
void freq_20khz_40(void);
void freq_20khz_30(void);
void freq_20khz_20(void);
void freq_20khz_10(void);

void freq_40khz_50(void);
void freq_40khz_40(void);
void freq_40khz_30(void);
void freq_40khz_20(void);
void freq_40khz_10(void);

void freq_60khz_50(void);
void freq_60khz_40(void);
void freq_60khz_30(void);
```

```

void freq_60khz_20(void);
void freq_60khz_10(void);

void freq_100khz_50(void);
void freq_100khz_40(void);
void freq_100khz_30(void);
void freq_100khz_20(void);
void freq_100khz_10(void);

void freq_500khz_50(void);
void freq_500khz_40(void);
void freq_500khz_30(void);
void freq_500khz_20(void);
void freq_500khz_10(void);

void freq_1Mhz_50(void);
void freq_1Mhz_40(void);
void freq_1Mhz_30(void);
void freq_1Mhz_20(void);
void freq_1Mhz_10(void);

/*****/

const u16 freqFunc [6][5] PROGMEM = {
  { (u16)freq_20khz_10, (u16)freq_20khz_20, (u16)freq_20khz_30,
    (u16)freq_20khz_40, (u16)freq_20khz_50},
  { (u16)freq_40khz_10, (u16)freq_40khz_20, (u16)freq_40khz_30,
    (u16)freq_40khz_40, (u16)freq_40khz_50},
  { (u16)freq_60khz_10, (u16)freq_60khz_20, (u16)freq_60khz_30,
    (u16)freq_60khz_40, (u16)freq_60khz_50},
  { (u16)freq_100khz_10, (u16)freq_100khz_20, (u16)freq_100khz_30,
    (u16)freq_100khz_40, (u16)freq_100khz_50},
  { (u16)freq_500khz_10, (u16)freq_500khz_20, (u16)freq_500khz_30,
    (u16)freq_500khz_40, (u16)freq_500khz_50},
  { (u16)freq_1Mhz_10, (u16)freq_1Mhz_20, (u16)freq_1Mhz_30,
    (u16)freq_1Mhz_40, (u16)freq_1Mhz_50}
};

//Frequency 20 KHz
void freq_20khz_50(void)
{
  SET_NOL();
  _delay_us(0);
  SET_HIGH();
  _delay_us(25);
  SET_NOL();
  _delay_us(0);
  SET_LOW();
  _delay_us(25);
  SET_NOL();
  _delay_us(0);
}

```

```
void freq_20khz_40(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(2.5);
    SET_HIGH();
    _delay_us(20);
    SET_NOL();
    _delay_us(5);
    SET_LOW();
    _delay_us(20);
    SET_NOL();
    _delay_us(2.5);
}

void freq_20khz_30(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(5);
    SET_HIGH();
    _delay_us(15);
    SET_NOL();
    _delay_us(10);
    SET_LOW();
    _delay_us(15);
    SET_NOL();
    _delay_us(5);
}

void freq_20khz_20(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(7.5);
    SET_HIGH();
    _delay_us(10);
    SET_NOL();
    _delay_us(15);
    SET_LOW();
    _delay_us(10);
    SET_NOL();
    _delay_us(7.5);
}

void freq_20khz_10(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(10);
    SET_HIGH();
    _delay_us(5);
    SET_NOL();
    _delay_us(20);
    SET_LOW();
    _delay_us(5);
    SET_NOL();
    _delay_us(10);
}

```

```
//Frequency 40 KHz
void freq_40khz_50(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(0);
    SET_HIGH();
    _delay_us(12.5);
    SET_NOL();
    _delay_us(0);
    SET_LOW();
    _delay_us(12.5);
    SET_NOL();
    _delay_us(0);
}

void freq_40khz_40(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(1.25);
    SET_HIGH();
    _delay_us(10);
    SET_NOL();
    _delay_us(2.5);
    SET_LOW();
    _delay_us(10);
    SET_NOL();
    _delay_us(1.25);
}

void freq_40khz_30(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(2.5);
    SET_HIGH();
    _delay_us(7.5);
    SET_NOL();
    _delay_us(5);
    SET_LOW();
    _delay_us(7.5);
    SET_NOL();
    _delay_us(2.5);
}

void freq_40khz_20(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(3.75);
    SET_HIGH();
    _delay_us(5);
    SET_NOL();
    _delay_us(7.5);
    SET_LOW();
    _delay_us(5);
    SET_NOL();
    _delay_us(3.75);
}
```

```
void freq_40khz_10(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(5);
    SET_HIGH();
    _delay_us(2.5);
    SET_NOL();
    _delay_us(10);
    SET_LOW();
    _delay_us(2.5);
    SET_NOL();
    _delay_us(5);
}

//Frequency 60 KHz
void freq_60khz_50(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(0);
    SET_HIGH();
    _delay_us(8);
    SET_NOL();
    _delay_us(0);
    SET_LOW();
    _delay_us(8);
    SET_NOL();
    _delay_us(0);
}

void freq_60khz_40(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(0.8);
    SET_HIGH();
    _delay_us(6.4);
    SET_NOL();
    _delay_us(1.6);
    SET_LOW();
    _delay_us(6.4);
    SET_NOL();
    _delay_us(0.8);
}

void freq_60khz_30(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(1.6);
    SET_HIGH();
    _delay_us(4.8);
    SET_NOL();
    _delay_us(3.2);
    SET_LOW();
    _delay_us(4.8);
    SET_NOL();
    _delay_us(1.6);
}
}
```

```
void freq_60khz_20(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(2.4);
    SET_HIGH();
    _delay_us(3.2);
    SET_NOL();
    _delay_us(4.8);
    SET_LOW();
    _delay_us(3.2);
    SET_NOL();
    _delay_us(2.4);
}

void freq_60khz_10(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(3.2);
    SET_HIGH();
    _delay_us(1.6);
    SET_NOL();
    _delay_us(6.4);
    SET_LOW();
    _delay_us(1.6);
    SET_NOL();
    _delay_us(3.2);
}

//Frequency 100 Khz
void freq_100khz_50(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(0);
    SET_HIGH();
    _delay_us(5);
    SET_NOL();
    _delay_us(0);
    SET_LOW();
    _delay_us(5);
    SET_NOL();
    _delay_us(0);
}

void freq_100khz_40(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(0.5);
    SET_HIGH();
    _delay_us(4);
    SET_NOL();
    _delay_us(1);
    SET_LOW();
    _delay_us(4);
    SET_NOL();
    _delay_us(0.5);
}
```

```
void freq_100khz_30(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(1);
    SET_HIGH();
    _delay_us(3);
    SET_NOL();
    _delay_us(2);
    SET_LOW();
    _delay_us(3);
    SET_NOL();
    _delay_us(1);
}

void freq_100khz_20(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(1.5);
    SET_HIGH();
    _delay_us(2);
    SET_NOL();
    _delay_us(3);
    SET_LOW();
    _delay_us(2);
    SET_NOL();
    _delay_us(1.5);
}

void freq_100khz_10(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(2);
    SET_HIGH();
    _delay_us(1);
    SET_NOL();
    _delay_us(4);
    SET_LOW();
    _delay_us(1);
    SET_NOL();
    _delay_us(2);
}

//Frequency 500 Khz
void freq_500khz_50(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(0);
    SET_HIGH();
    _delay_us(1);
    SET_NOL();
    _delay_us(0);
    SET_LOW();
    _delay_us(1);
    SET_NOL();
    _delay_us(0);
}
}
```

```
void freq_500khz_40(void)
{
}

void freq_500khz_30(void)
{
}

void freq_500khz_20(void)
{
}

void freq_500khz_10(void)
{
}

void freq_1Mhz_50(void)
{
    SET_NOL();
    _delay_us(0);
    SET_HIGH();
    _delay_us(0.5);
    SET_NOL();
    _delay_us(0);
    SET_LOW();
    _delay_us(0.5);
    SET_NOL();
    _delay_us(0);
}

void freq_1Mhz_40(void)
{
}

void freq_1Mhz_30(void)
{
}

void freq_1Mhz_20(void)
{
}

void freq_1Mhz_10(void)
{
}
```

```

ISR(USART_RX_vect)
{
    data = DATA_REG;

    if (data != 13) {
        buf[bufln] = data;
        send_char(data);
        bufln++;
    } else {
        send_str_P(PSTR("\r\n"));
        buf[bufln] = '\0';

        if (buf[0] != '$') {
            send_str_P(PSTR("Invalid\r\n"));
        } else {
            if (buf[1] == 'S' || buf[1] == 's') {
                if (buf[2] == 'A' || buf[2] == 'a') {
                    run = 1;
                } else if (buf[2] == 'O' || buf[2] == 'o') {
                    run = 0;
                } else {
                    send_str_P(PSTR("Invalid\r\n"));
                }
            } else if (buf[1] == 'F' || buf[1] == 'f') {
                freq = (unsigned char) buf[3] - 0x30;
            } else if (buf[1] == 'D' || buf[1] == 'd') {
                dc = (unsigned char) buf[3] - 0x30;
            } else {
                send_str_P(PSTR("Invalid\r\n"));
            }
        }

        bufln = 0;
    }
}

int main (void)
{
    DCTRL = 0x0F;
    CTRL = 0;

    //Inisialisasi UART
    uart_init();
    send_str_P(PSTR("Inisialisasi\r\n"));

    freq = 0;
    dc = 0;
    run = 0;
    bufln = 0;

    sei();
    while(1){

```

```
while(run) {  
    ((void(*) (void))pgm_read_word(&(freqFunc[freq]  
    [dc])) )();  
}  
}  
return 0;  
}
```



uart.h

```
/*
File : uart.h
Tanggal :
Header untuk mengakse uart pada attiny2313
*/

#ifndef UART_H
#define UART_H

#include <avr/io.h>

//Ganti sesuaikan dengan Mikrokontroler
#define DATA_REG UDR
#define CTRL_REG UCSRB
#define STUS_REG UCSRA

//unsigned char get_rx_ch(void);
//void send_str(char *data);
void send_str_P(char *data);
void send_char(char data);
void uart_init(void);

#endif
```

uart.c

```

/*****
File : uart.c
Tanggal :
Library untuk mengakse uart pada attiny2313
*****/
#include <avr/io.h>
#include <avr/pgmspace.h>
//#include "global.h"
#include "uart.h"

//Fungsi membaca data
/*
unsigned char get_rx_ch(void)
{
    unsigned char ch;
    //Tunggu hingga RXC pada UCSRA menjadi 1
    while(!(STUS_REG &(1 << RXC)));
    //Ambil data dari register UDR
    ch = DATA_REG;
    return(ch);
}

void send_str(char *data)
{
    //unsigned char j;

    if(!data) return;
    //j = 0;
    while (*data != '\0'){
        send_char(*data);
        //j++;
        data++;
    }
}
*/

void send_str_P(char *data)
{
    while (pgm_read_byte(data) != '\0'){
        send_char(pgm_read_byte(data));
        data++;
    }
}

```

```
//Fungsi Untuk Menulis
void send_char(char c)
{
    //Tunggu hingga register UDR kosong yang ditunjukkan
    //dengan bit UDRE pada register UCSRA bernilai 1
    while(!(STUS_REG &(1 << UDRE)));
    //Masukan data ke register UDR dan data akan segera
    dikirim
    DATA_REG = c;
}

//Fungsi Inisialisasi
void uart_init(void)
{
    //baudrate 9600,8 bit, 1 stop, no parity, no flow control
    //Setting Baud rate
    //Dengan crystal 14.7456MHz

    UBRRH = 0;
    UBRL = 95;

    //Mengaktifkan Transmit dan Receive
    CTRL_REG = (1 << RXEN) |(1 << TXEN) |(1 << RXCIE);

    UCSRC = (1 << UCSZ1) |(1 << UCSZ0);
}
```