

**RANCANG BANGUN SONOREACTOR UNTUK APLIKASI DEGRADASI
LIMBAH ORGANIK CAIR BERBASIS ARDUINO**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains*



**Oleh :
YOSI ISFANDIANI
NIM/TM. 16034030/2016**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2021**

**RANCANG BANGUN SONOREACTOR UNTUK APLIKASI DEGRADASI
LIMBAH ORGANIK CAIR BERBASIS ARDUINO**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains*



acc
ygram
2/2-2021

Oleh :
YOSI ISFANDIANI
NIM/TM. 16034030/2016

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2021**

PERSETUJUAN SKRIPSI

RANCANG BANGUN *SONOREACTOR* UNTUK APLIKASI DEGRADASI LIMBAH ORGANIK CAIR BERBASIS ARDUINO

Nama : Yosi Isfandiani
NIM : 16034030
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

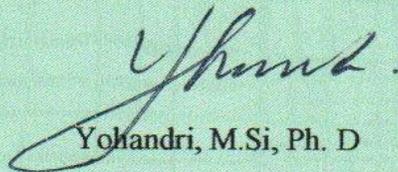
Mengetahui:
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Ratnawulan, M. Si
NIP. 19690120 1993032 002

Padang, April 2021

Disetujui Oleh:
Pembimbing



Yohandri, M.Si, Ph. D
NIP. 19780725 2006041 003

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Yosi Isfandiani
NIM : 16034030
Prodi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika Dan Ilmu Pengetahuan

**RANCANG BANGUN *SONOREACTOR* UNTUK APLIKASI
DEGRADASI LIMBAH CAIR ORGANIK BERBASIS ARDUINO**

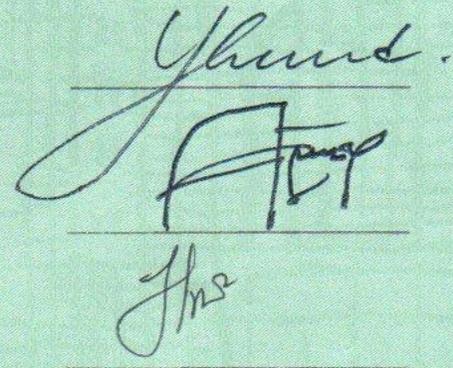
Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan Di Depan Tim Penguji Skripsi Jurusan
Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, April 2021

Ketua : Yohandri, M.Si, Ph.D

Anggota : Dr. Asrizal, S.Pd, M.Si

Anggota : Hary Sanjaya, M.Si



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini, tugas akhir berupa skripsi dengan judul “ Rancang Bangun *Sonoreactor* Untuk Aplikasi Degradasi Limbah Organik Cair Berbasis Arduino”, adalah asli karya sendiri.
2. Di dalam karya tulis ini berisi gagasan, rumusan, dari penelitian saya, tanpa bantuan pihak lain, kecuali pembimbing.
3. Di dalam Karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada kepustakaan.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan di dalam ada pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, April 2021

Pernyataan



Yosi Isfandiani
16034030

Rancang Bangun *Sonoreactor* Untuk Aplikasi Degradasi Limbah Cair Organik Berbasis Arduino

Yosi Isfandiani

ABSTRAK

Sonoreactor adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mendegradasi limbah organik cair menggunakan prinsip ultrasonik. *Sonoreactor* memanfaatkan getaran dari gelombang ultrasonik. *Sonoreactor* digunakan untuk mendegradasi larutan kimia dengan metode Sonokatalis. Komponen utama *Sonoreactor* yaitu generator dan transduser ultrasonik. Generator berfungsi untuk menghasilkan energi listrik. Sedangkan transduser ultrasonik berfungsi untuk mengkonversi sinyal listrik menjadi energi mekanik. Jika tegangan input yang diberikan semakin besar maka daya pada generator akan semakin besar sehingga frekuensi pada transduser ultrasonik akan semakin besar dan menghasilkan gelombang ultrasonik yang menyebabkan efek kavitasi pada larutan. Tujuan penelitian yaitu untuk menentukan spesifikasi desain spesifikasi performansi dari alat *Sonoreactor* dan menentukan persen degradasi sampel.

Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa, Pada penelitian ini dijelaskan spesifikasi performansi dan spesifikasi desain alat *Sonoreactor*. Spesifikasi performansi menjelaskan kinerja atau fungsi dari setiap sistem pembangun alat. Sedangkan spesifikasi desain menjelaskan ketepatan dan ketelitian dari alat. Penelitian ini menggunakan sampel *Congo red* dengan konsentrasi 10 ppm dengan penambahan katalis ZnO sebanyak 0,1 gram pada setiap 80 ml larutan.

Hasil yang didapatkan untuk spesifikasi performansi adalah *Sonoreactor* menggunakan mikrokontroler Arduino Uno yang berfungsi untuk pengontrolan, *Liquid Crystal Display* (LCD) untuk menampilkan nilai *input* variabel terikat. Transduser pizoelektrik untuk mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk getaran. *Sonoreactor* digunakan untuk mendegradasi zat warna *Congo red* dengan variasi tegangan dan waktu penelitian. Untuk variasi tegangan didapatkan hasil degradasi paling tinggi yaitu 78,5% dengan tegangan 210 Volt dan hasil degradasi paling rendah 31,05% dengan tegangan 80 Volt. Untuk variasi waktu didapatkan degradasi larutan *Congo red* yang paling tinggi yaitu 80,23 % pada waktu 90 menit dan yang paling rendah pada waktu 15 menit dengan adalah 50,15%. dan Tingkat akurasi data *timer* Alat *Sonoreactor* dengan *stopwatch* didapatkan 99,2%. Sedangkan presisi data *timer* alat *Sonoreactor* didapatkan 99,8%.

Kata Kunci: *Sonoreactor*, Transduser Ultrasonik, Arduino

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah, segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT, karena atas segala rahmat, nikmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa kita curahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Judul dari Tugas Akhir ini adalah **“Rancang Bangun Sonoreactor Untuk Aplikasi Degradasi Limbah Organik Cair Berbasis Arduino”** disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Penulis dapat menulis Tugas Akhir ini karena adanya bantuan, bimbingan serta petunjuk dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Yohandri, S.Si, M.Si, Ph.D, sebagai pembimbing atas segala bantuannya yang tulus dan ikhlas memberikan motivasi, bimbingan, arahan dan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Asrizal, S.Pd, M.Si dan Bapak Hary Sanjaya, S.Si, M.Si., sebagai penguji skripsi yang telah meluangkan waktu dan memberi masukan, kritikan dan pandangan kepada peneliti untuk menyempurnakan skripsi ini.
3. Bapak Drs. Letmi Dwiridal, M. Si sebagai Penasehat Akademik, yang selalu memberikan motivasi dan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

4. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M. Si, selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
5. Ibu Syafriani, M. Si, Ph. D, sebagai Ketua Prodi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
6. Bapak dan Ibu Dosen jurusan Fisika FMIPA UNP.
7. Staf administrasi dan Laboran di Laboratorium Fisika FMIPA UNP.
8. Keluarga tercinta serta seluruh orang tersayang yang telah memberikan motivasi, bantuan material, non material, serta kasih sayang dan dukungan kepada peneliti.
9. Rekan-rekan dan semua pihak yang telah ikut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, peneliti telah berusaha menyelesaikan dengan sebaik mungkin, akan tetapi penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu peneliti berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca sebagai referensi serta sebagai sarana untuk menambah ilmu pengetahuan dan informasi.

Padang, April 2021

Peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
ABSTRACT	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
A.Latar Belakang Penelitian	1
B.Rumusan Masalah.....	4
C.Batas Masalah.....	4
D.Tujuan Penelitian.....	5
E.Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN TEORI	6
A. Tinjauan Spesifikasi	6
B. <i>Sonoreactor</i>	7
C.Sonolisis.....	10
D.Kavitasi.....	13
E.Gelombang Ultrasonik	19
F.Karakteristik Gelombang Ultrasonik	21
G.Komponen Elektronika.....	23
BAB III METODE PENELITIAN	38
A.Tempat dan Waktu Penelitian	38
B. Alat dan Bahan	38
C.Jenis Penelitian	39
D.Data dan Variabel Penelitian.....	40

E.Prosedur Penelitian	41
F.Teknik Pengumpulan Data.....	48
G.Teknik Anilisa Data.....	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	51
A.Hasil Penelitian.....	51
B.Pembahasan	67
BAB V PENUTUP.....	76
A.Kesimpulan.....	76
B.Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN.....	84

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. karakteristik sifat fisika ZnO	13
2. Spesifikasi <i>board</i> Arduino Uno	29
3. Perbandingan <i>power supply</i> tipe <i>linear</i> dan tipe <i>swiching</i>	32
4. Pengalamatan pin LCD pada Arduino Uno	52
5. Pin potensiometer Stereo dan <i>Dimmer</i> pada Arduino Uno	56
6. Pengukuran <i>Dimmer</i> dengan Generator ultrasonic dan Transduser ultrasonik	59
7. Pengukuran <i>Sonoreactor</i> variasi waktu dengan tegangan <i>input</i> 210 Volt dan Frekuensi keluaran 38 KHz	62
8. Pengukuran hubungan variasi tegangan masukan dengan waktu yang konstan untuk setiap percobaan	63
9. Data Hasil Pengukuran Ketepatan	66
10. Data Hasil Pengukuran Ketelitian	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Skema <i>Sonoreactor</i>	9
2. Susunan Molekul <i>Congo Red</i>	12
3. Kavitasi dan <i>Implosion</i> Akibat Gelombang Ultrasonik.....	14
4. Mekanisme Proses Kavitasi Yang Disebabkan Oleh Gelombang Ultrasonik.....	15
5. Frekuensi Ultrasonik.....	20
6. Transduser Piezoelektrik	24
7. Prinsip Kerja Transduser Ultrasonik	24
8. Bentuk Fisik Arduino Uno	27
9. Tampilan Awal Arduino IDE	30
10. Bentuk fisik <i>Power Supply</i>	31
11. Bentuk fisik LCD 20x4.....	33
12. Bentuk I2C.....	33
13. (a). Bentuk Fisik (b). Rangkaian Dasar <i>Keypad 4x4</i>	34
14. Bentuk Fisik <i>Dimmer</i> (b). Rangkaian <i>Dimmer</i>	36
15. Potensiometer Stereo	37
16. Modul <i>Relay 1 Channel</i>	38
17. Prosedur Penelitian	41
18. Desain Blok Diagram Sistem <i>Sonoreactor</i>	43
19. a) Bentuk Desain Mekanik Alat <i>Sonoreactor</i> b) Desain keseluruhan komponen <i>Sonoreactor</i>	44
20. Rancangan Elektronik.....	45
21. Diagram Alir Perancangan Perangkat Lunak <i>Sonoreactor</i>	46
22. Rangkaian <i>Relay Rangkaian Liquid Crystal Display</i> dan <i>keypad 4x4</i> Dengan Arduino.....	52
23. Rangkaian <i>Relay Dengan Arduino</i>	53

24.	Rangkaian Potensiometer dan <i>Dimmer</i>	56
25.	Rangkaian Alat <i>Sonoreactor</i> Keseluruhan	57
26.	Pengukuran <i>Dimmer</i> dengan Generator Ultrasonik.....	59
27.	Pengaruh <i>Dimmer</i> Dengan Generator Dan Transduser	60
28.	Pengaruh Waktu Terhadap Degradasi Zat warna <i>Congo Red</i>	62
29.	Larutan <i>Congo Red</i> Sebelum Dan Setelah Didegradasi Dengan Variasi Waktu.....	63
30.	Grafik Hubungan Variasi Tegangan Masukan Terhadap frekuensi keluaran Dan Parsen Degradasi.....	69
31.	Hubungan Variasi Tegangan Masukan Terhadap Hasil Degradasi.....	71
32.	Larutan <i>Congo Red</i> Setelah Didegradasi Dengan Variasi Tegangan Masukan.....	71
33.	Hasil ketelitian Larutan <i>Congo Red</i> Setelah Didegradasi Dengan Waktu 15 Menit frekuensi 38 KHz Pada Tegangan 210 Volt	74

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Foto penelitian <i>Sonoreactor</i>	84
2. Pengolahan Data Degradasi	86
3. Sampel Larutan <i>Congo red</i>	87
4. Program Arduino rancang bangun <i>Sonoreactor</i> untuk degradasi limbah cair	89

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Limbah adalah buangan yang mengandung bahan nilai polutan yang memiliki sifat racun dan bahaya yang dikenal dengan limbah B₃ yang dinyatakan sebagai bahan yang dalam jumlah relatif sedikit tetapi berpotensi untuk merusak lingkungan hidup dan sumber daya (Ginting, 2007). Menurut Widjajanti (2009) Limbah dibagi menjadi dua sumber yaitu limbah domestik (rumah tangga) dan non domestik (industri). Bila ditinjau secara kimiawi, limbah ini terdiri dari bahan kimia senyawa anorganik dan senyawa organik.

Limbah anorganik adalah limbah yang tidak dapat diuraikan oleh organisme detrivor atau dapat diuraikan dalam jangka waktu yang lama. Sedangkan Limbah organik adalah limbah yang dapat dimanfaatkan baik secara langsung maupun secara tidak langsung melalui proses daur ulang (Widjajanti, 2009). Dengan konsentrasi dan kuantitas tertentu, kehadiran limbah dapat berdampak negatif terhadap lingkungan terutama bagi kesehatan manusia, sehingga perlu dilakukan penanganan terhadap limbah. Tingkat bahaya keracunan yang ditimbulkan oleh limbah tergantung pada jenis dan karakteristik limbah. Berdasarkan hal ini diperlukan penindak lanjutan untuk pengolahan limbah cair tersebut agar tidak terlalu bahaya.

Selama ini cara umum untuk mengolah air limbah buangan ini adalah dengan cara pengendapan kimia dan koagulasi. Pengolahan air limbah dengan cara

pengendapan kimia membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Perlakuan lain terhadap limbah cair industri secara konvensional adalah dengan cara menghilangkan zat warna organik menggunakan adsorben yang akan menghasilkan lumpur (*sludge*). Akan tetapi *sludge* yang terbentuk dianggap sebagai limbah yang berbahaya sehingga membutuhkan perlakuan lebih lanjut (Safni, 2009). Salah satu alternatif untuk menjawab permasalahan tersebut adalah dengan proses degradasi limbah cair menggunakan metode *Advanced Oxidation Processes* (AOPs). AOPs adalah suatu proses pendegradasian menggunakan proses oksidasi lanjut seperti sonolisis.

Menurut Wang (2011) sonolisis merupakan metode yang digunakan untuk mendegradasikan senyawa organik dalam media air dengan menggunakan ultrasonik. Untuk itu, dibutuhkan sebuah *Sonoreactor*. Proses *Sonoreactor* menghasilkan kavitasi yang disebabkan oleh tekanan berfrekuensi tinggi dari gelombang ultrasonik. Gelombang tersebut dapat menggetarkan media melalui membran piezoelektrik yang berperan sebagai transduser ultrasonik. Dengan getaran tersebut mampu mengurangi potensi kandungan zat beracun pada limbah (Fuchs, 2002). *Sonoreactor* digunakan untuk pemecahan molekul beracun pada limbah cair yang dapat menghasilkan getaran dengan menggunakan prinsip ultrasonik yang akan dimanfaatkan untuk penelitian di Laboratorium Kimia FMIPA UNP.

Pada Laboratorium Kimia FMIPA UNP sudah ada ultrasonik *cleaner*. Alat ini terdiri dari dua tombol pilihan daya yaitu (30 Watt dan 50 Watt) dimana tombol ini digunakan sekaligus untuk mengatur *timer* saat penelitian dan memiliki tombol I/O untuk pengaturan mengaktifkan kerja alat. Namun, pada alat yang ada di

Laboratorium kimia tidak bisa mengetahui frekuensi yang digunakan sehingga kita tidak mengetahui bagaimana pengaruh frekuensi yang digunakan saat penelitian. Selain itu, untuk pengaturan *timer* masih belum praktis karena tombol *timer* digabung dengan tombol pemilihan daya yang digunakan. Sehingga saat pengaturan *timer* membutuhkan waktu yang lama. Sehingga dari permasalahan ini penulis merancang *sonoreactor* yang dapat memvariasikan frekuensi dan *timer* yang digunakan saat penelitian.

Untuk mengatasi masalah, maka transduser ultrasonik yang akan digunakan dapat divariasikan frekuensi keluaran yang berbeda. *Sonoreactor* yang dikembangkan akan digunakan untuk membantu sebuah penelitian ataupun kegiatan lainnya di Laboratorium. Prinsip alat ini yaitu dengan cara mengontrol waktu dan frekuensi untuk generator ultrasonik dan transduser ultrasonik yang dikendalikan oleh Arduino untuk mengendalikan alat secara otomatis. Untuk pengaturan frekuensi menggunakan potensiometer yang dapat diputar dan untuk waktu menggunakan *keypad* 4x4. *Sonoreactor* yang dihasilkan selanjutnya diuji atau dikarakteristik dengan mengukur parameter-parameter fisis. Parameter-Parameter tersebut mencakup tegangan, frekuensi dan waktu kerja dari *Sonoreactor* untuk degradasi limbah cair. *Sonoreactor* terdiri dari transduser ultrasonik berbahan piezoelektrik dan ultrasonik generator. Komponen utama alat ini adalah generator ultrasonik dan transduser Piezoelektrik, dan beberapa komponen pelengkap lainnya yaitu: Arduino Uno, *power supply*, *keypad* 4x4, *dimmer*, *relay*, kipas, potensiometer stereo *Liquid Crystal Display*, I2C, dan

tombol saklar. Untuk masing-masing komponen memiliki fungsinya tersendiri dan tombol saklar digunakan untuk menghidupkan keseluruhan alat.

Berdasarkan uraian di atas, peneliti tertarik merancang alat yang dibutuhkan untuk metode AOP_s sebagai proses sonolisis dengan menggunakan sistem ultrasonik. Sehingga dalam penelitian ini diangkat judul: **“Rancang Bangun *Sonoreactor* Untuk Aplikasi Degradasi Limbah Organik Cair Berbasis Arduino”**.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka dapat dirumuskan masalah penelitian adalah

1. Bagaimana Spesifikasi Performansi Dari Rancang Bangun *Sonoreactor* Untuk Aplikasi Degradasi Limbah Organik Cair Berbasis Arduino?
2. Bagaimana Spesifikasi Desain Dari Rancang Bangun *Sonoreactor* Untuk Aplikasi Degradasi Limbah Organik Cair Berbasis Arduino?
3. Bagaimana Hasil Degradasi *Congo Red* menggunakan alat *Sonoreactor* berbasis Arduino?

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus, maka perlu dilakukan beberapa batasan masalah dalam mengembangkan *Sonoreactor* sebagai berikut :

1. Bahan uji yang digunakan adalah *Congo Red*.
2. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno.
3. *Dimmer* AC menghasilkan tegangan 20-210 V.

4. Generator Ultrasonik menghasilkan frekuensi maksimal 38 KHz.
5. Transduser yang digunakan adalah Transduser Pizoelektrik 40 KHz.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Menentukan spesifikasi desain Rancang Bangun *Sonoreactor* Untuk Degradasi Limbah Organik Cair Berbasis Arduino.
2. Menentukan spesifikasi performansi Rancang Bangun *Sonoreactor* Untuk Degradasi Limbah Organik Cair Berbasis Arduino.
3. Menentukan hasil degradasi *Congo Red* menggunakan Alat *Sonoreactor* Berbasis Arduino.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat membuat *Sonoreactor* yang lebih efektif dan biayanya lebih murah.
2. Dapat mempermudah proses pendegradasi limbah cair.
3. Dapat digunakan untuk penelitian yang berkaitan dengan degradasi limbah cair yang menggunakan metode Sonolisis.
4. Berguna untuk pengembangan Instrumentasi berbasis Elektronika.
5. Penulis, sebagai syarat projek akhir untuk kelulusan.
6. Peneliti lain, menambah wawasan dan pengetahuan tentang alat *Sonoreactor* untuk Degradasi Limbah Cair Berbasis Arduino.

BAB II KAJIAN TEORI

A. Tinjauan Spesifikasi

Sistem pengukuran adalah dirancang untuk memenuhi spesifikasi tertentu. Spesifikasi merupakan pendiskripsian secara mendetail tentang produk hasil penelitian. Menurut (Ilham, 2009), Spesifikasi adalah ukuran (metrik) dan nilai dari ukuran tersebut (nilai matrik). Secara umum spesifikasi digolongkan atas dua tipe yaitu spesifikasi performansi dan spesifikasi desain.

1. Spesifikasi Performansi

Spesifikasi performansi mengidentifikasi fungsi-fungsi dari setiap komponen pembentuk sistem. Spesifikasi performansi biasa disebut juga dengan spesifikasi fungsional. Spesifikasi performansi merupakan suatu proses membuat spesifikasi kerja yang akurat dari rancangan yang diperlukan. Spesifikasi performansi yang meliputi kualitas dan kuantitas pembentuk sistem dapat memberikan kemudahan dalam penggunaannya (Bakri, 2010).

Untuk mengetahui spesifikasi performansi suatu sistem dapat dilakukan pengantaran dan pengukuran terhadap sistem tersebut. Pengamatan dilakukan terhadap sistem secara keseluruhan, misalnya memotret komponen-komponen yang digunakan, mengukur panjang dan lebar alat untuk mengetahui dimensi sistem, atau mengukur besar *input* yang diberikan oleh sistem.

2. Spesifikasi Desain

Spesifikasi desain sering juga disebut sebagai spesifikasi produk. Spesifikasi produk adalah metrik dan nilai yang harus dicapai oleh sebuah produk dan bukan bagaimana produk harus bekerja (Ilham, 2009). Spesifikasi desain tergantung pada sifat alami dari material yang digunakan. Spesifikasi desain menjelaskan tentang karakteristik statik produk, toleransi, bahan pembentuk sistem, ukuran sistem, dan dimensi sistem. Karakteristik statik suatu sistem meliputi akurasi, presisi, resolusi, dan sensitivitas.

Akurasi merupakan kedekatan (*closeness*) nilai yang terbaca pada alat ukur yang sebenarnya. Akurasi ditentukan dengan cara mengkalibrasi sistem pada suatu kondisi operasi tertentu. Sistem yang baik memiliki akurasi 100%. Presisi didefinisikan sebagai kemampuan suatu alat ukur untuk menghasilkan nilai yang sama pada pengukuran berulang. Presisi ditentukan melalui percobaan berulang, menggunakan sistem yang sama terhadap objek yang sama pada suatu besaran yang sama. Resolusi, yaitu perubahan terkecil yang dapat diukur pada instrumen atau tanggapan respon terkecil dari instrumen. Sensitivitas, yaitu kepekaan instrumen terhadap implus yang diberikan.

B. Sonoreactor

Secara umum *Sonoreactor* berasal dari kata *Sono-Reactor* yang artinya sebuah tabung yang digunakan untuk tempat terjadinya reaksi dengan menggunakan metode sonolisis (Hihn, 2011). Prinsip kerja dari *Sonoreactor* memanfaatkan sistem

ultrasonik yang akan menghasilkan getaran. *Sonoreactor* terdiri dari ultrasonik generator dan transduser pizoelektrik. Dimana, generator ultrasonik ini digunakan untuk menghasilkan tegangan bolak balik dan transduser Pizoelektrik untuk mengkonversi tegangan bolak balik dari generator ultrasonik menjadi energi mekanik dalam bentuk getaran.

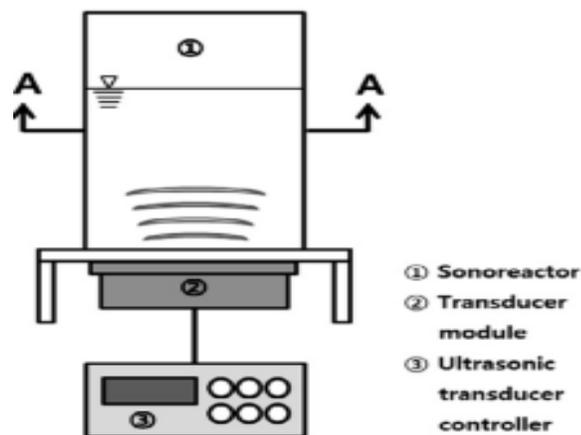
Proses *sonoreactor* menggunakan metode sonolisis. Sonolisis adalah proses pemecahan molekul air menggunakan *ultrasound* (getaran/suara). Sonolisis digunakan untuk mendegradasikan senyawa organik dalam media air dengan menggunakan gelombang ultrasonik (Wang, 2011). Metode sonolisis menghasilkan gelombang mekanik menggunakan gelombang bunyi yang dapat bertransmisi melewati medium cair yang menyebabkan vibrasi (getaran) pada molekul yang dilewatinya. Proses *sonoreactor* digunakan untuk memecahkan material dengan suara menggunakan *ultrasound* (getaran). *Ultrasound* menyebabkan getaran partikel percepatan getaran partikel sebanding dengan frekuensi ultrasonik. Pemrosesan ultrasonik cairan bergantung pada gaya geser yang kuat yang dihasilkan oleh kavitasi akustik. Getaran ultrasonik dengan frekuensi yang tinggi pada larutan berperan membentuk kavitasi akustik dalam cairan. Energi akustik adalah energi mekanik yang tidak diserap oleh molekul lainnya yang berasal dari gelombang ultrasonik.

Gelombang ultrasonik adalah gelombang akustik. 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 dapat dilihat pada Persamaan 1.

$$p = p_0 \sin(\omega t \mp kx) \quad (1)$$

dimana 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. Untuk Skema *Sonoreactor* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema *Sonoreactor* (Kim, 2014)

Prinsip kerja *sonoreactor* adalah suatu alat yang digunakan untuk pembersih ultrasonik. Secara umum sistem kerja alat *Sonoreactor* sama dengan ultrasonik *cleaner*. Sistem yang menggunakan Ultrasonik *Cleaner* (UC) membutuhkan dua komponen dasar utama yaitu generator ultrasonik dan transduser. Generator

ultrasonik dipakai untuk membangkitkan sinyal listrik dengan frekuensi di atas 20 KHz sampai dengan 1 GHz dan *power* tertentu sesuai dengan kebutuhan. Transduser ultrasonik tipe pizoelektrik digunakan untuk mengubah sinyal listrik dari generator ultrasonik menjadi gelombang mekanik. Berdasarkan aplikasinya transduser memiliki jenis yang berbeda-beda. Transduser ultrasonik diperlukan untuk merubah energi listrik tegangan bolak-balik menjadi gelombang ultrasonik.

Karakteristik *Sonoreactor* menggunakan getaran suara yang dihasilkan melalui sistem ultrasonik. dari proses ini akan menghasilkan gelembung kavitasi. gelembung kavitasi disebabkan oleh tekanan frekuensi tinggi gelombang suara yang merangsang cairan. Kavitasi merupakan fenomena terjadinya pembentukan pertumbuhan dan hancurnya gelembung mikro dalam cairan. Kondisi kavitasi yang ekstrim dapat dimanfaatkan untuk menghancurkan molekul-molekul polutan dan senyawa organik. Pada alat *Sonoreactor* ini fenomena kavitasi terjadi karena adanya gelombang suara dengan frekuensi tinggi yang disebut ultrasonikasi (Chu, 2007).

C. Sonolisis

Sonolisis merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mendegradasi zat warna organik dalam media air dengan menggunakan gelombang ultrasonik (Peller et al., 2002). Metode sonolisis menggunakan iradiasi ultrasonik yang beroperasi pada frekuensi 20-500 kHz (Destailats, 2001). yang besar dan waktu reaksi yang lama.

Sonolisis mampu merubah polutan organik menjadi karbon dioksida dan air atau mengubah polutan tersebut menjadi senyawa yang kurang berbahaya dibandingkan polutan awal. Metode sonolisis merupakan suatu metode ultrasonik yang digunakan untuk mendegradasi zat organik dalam media air menggunakan getaran ultrasonik. Gelombang ultrasonik dalam air limbah memiliki kemampuan untuk mendegradasi senyawa yang sukar terurai karena dalam prosesnya akan menghasilkan radikal OH dan efek kavitasi (Stock et al., 2000).

Sonolisis melibatkan penggunaan gelombang ultrasound untuk menghasilkan *oxidizing* radikal ($\bullet\text{OH}$) yang dihasilkan melalui fenomena kavitasi. Reaksi antara radikal OH dan molekul polutan dapat terjadi di dalam gelembung (*pyrolysis*) atau antarmuka gelembung-cair atau di *bulk* tergantung pada sifat dari polutan (Elvinawati, 2009; Madhavan et al., 2010).

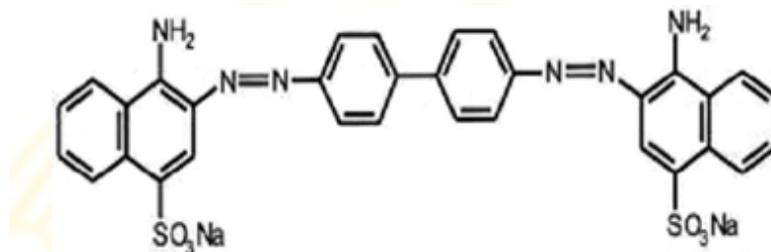
Proses sonolisis menghasilkan spesies-spesies reaktif seperti $\bullet\text{OH}$, $\bullet\text{H}$ dan $\text{H}_2\text{O}\bullet$ dalam larutan berair teroksidasi. Efek dari sonolisis pada larutan air adalah memecah air menjadi $\bullet\text{OH}$ dan $\bullet\text{H}$ yang dapat merusak senyawa organik dalam larutan. Rusaknya senyawa organik tersebut akan menghasilkan senyawa-senyawa organik intermediet dan jika sonolisis terus berlangsung maka pada akhirnya akan terjadi mineralisasi tersebut menjadi CO_2 , H_2O , HNO_3 dan sebagainya (Safni, 2009).

Molekul zat terlarut yang berdifusi kedalam gelembung mampu untuk mendegradasi senyawa berbahaya karena bersifat sangat reaktif. Radikal OH adalah radikal bebas utama yang berperan dalam reaksi degradasi akan tetapi radikal OH

yang dihasilkan tersebut juga dapat bergabung satu sama lain membentuk H_2O dalam air. Terbentuknya senyawa H_2O ini akan mengurangi efisiensi sonolisis. Untuk meningkatkan efisiensi degradasi sonolisis ditambahkan katalis yang dapat meningkatkan produksi radikal OH sehingga mempercepat proses degradasi senyawa organik (Peller, 2001). Dalam proses menguji kinerja alat *Sonoreactor* untuk degradasi menggunakan sampel *Congo red* dan katalis ZnO.

1. *Congo Red*

Congo red mempunyai rumus molekul $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$. Nama IUPAC dari *congo red* adalah natrium benzidindiazo-bis-1-naftilamin-4-sulfonat. Senyawa ini memiliki berat molekul 696,67 g/mol (O'neil, 2001). Dalam air, *Congo red* membentuk koloid berwarna merah. Kelarutan *congo red* sangat baik pada pelarut organik, seperti etanol. Warna merah yang dihasilkan *congo red* dapat diamati melalui alat spektrofotometer. Spektra *Congo red* menunjukkan karakteristik pada puncak sekitar 498 nm. Dalam larutan *Congo red* dapat digunakan sebagai indikator pH 3,0-5,2. *Congo red* cenderung membentuk agregat dalam larutan organik dan air. Sehingga agregat ini memberikan ukuran dan bentuk yang bervariasi (Tapalad, *et al*, 2008). Untuk susunan molekul *Congo red* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur molekul *Congo red*

2. Zink Oksida (ZnO)

Seng oksida merupakan senyawa anorganik dengan rumus ZnO, berbentuk bubuk putih jika dingin, kuning jika panas, pahit dan tidak bau. ZnO larut dalam garam-garam ammonium, asam atau basa dan tidak beracun (Adi et al., 2007). Pada struktur kristal, ZnO mempunyai sifat piezoelektrik dan termokromik. ZnO memiliki lebar celah pita energi sebesar 3.37 eV dan energi ikat eksitasi 60 meV pada suhu kamar (Khan et al., 2011; Shakti & Gupta, 2010).

Tabel 1. karakteristik sifat fisika ZnO

Sifat	Nilai
Struktur Kristal	Wurtzite (stabil pada 300 K), Zinc blende dan Rocksalt
Energi gap	3.37 Ev
Energi ikat eksitasi	60 meV
Kerapatan	5.606 g/Cm ³
Titik lebur	1975 ⁰ C
Parameter kisi a ₀	0.32495 nm
c ₀	0.52069 nm
c ₀ /a ₀	1.60
Konduktivitas termal	0.6, 1-12
Koefisien linear ekspansi (⁰ C)	a ₀ : 6.5x10 ⁻⁶ , c ₀ : 3.0x10 ⁻⁶
Konstanta dielektrik relative	8.656
Indeks bias	2.008, 2.029

(Jang, 2001)

D. Kavitasasi

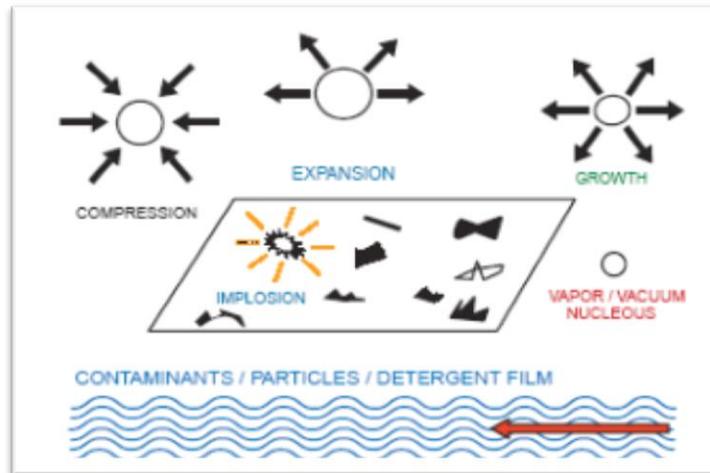
Kavitasasi adalah peristiwa terbentuknya gelembung-gelembung uap di dalam cairan akibat turunnya tekanan cairan sampai di bawah tekanan uap jenuh cairan. Gelembung uap yang terbentuk dalam proses ini mempunyai siklus yang sangat

singkat yaitu mulai terbentuknya gelembung sampai gelembung pecah hanya memerlukan waktu sekitar 0,003 detik (Sami, 2000).

Gelembung akan terbawa aliran fluida sampai akhirnya berada pada daerah yang mempunyai tekanan lebih besar dari tekanan uap jenuh cairan (Suslick, 1989). Pada daerah yang mengalami kavitasi dan *implosion*, gelembung akan pecah dan menyebabkan *shock* pada dinding di dekatnya. Cairan akan masuk secara tiba-tiba ke ruangan yang terbentuk akibat pecahnya gelembung uap tadi sehingga mengakibatkan tumbukan. Peristiwa ini akan mengakibatkan kerusakan, satu gelembung mengakibatkan bekas kecil pada dinding namun bila hal ini terjadi berulang-ulang maka bisa mengakibatkan terbentuknya lubang-lubang kecil (Busnaina, 1994), seperti bentuk rumah tawon (*honeycomb*). *Implosion* biasanya disertai kavitasi karena adanya tekanan yang semakin kuat sehingga gelembung pecah, daya tekan dari pecahan/ledakan gelembung mempengaruhi partikel disekitarnya. Dalam zona penyebaran gelembung kavitasi meledak menyebabkan gelombang kejut intensif disekitar cairan dan mengakibatkan pembentukan cairan jet kecepatan tinggi. Pada tingkat kepadatan energi yang tepat ultrasonik dapat berarti tetesan mencapai ukuran di bawah 1 mikron (mikro-emulsi) terjadinya kavitasi dan *implosion* dapat dilihat pada Gambar 3.

Ultrasonik kavitasi menghasilkan partikel-partikel terdispersi tunggal. Fenomena kavitasi menyebabkan efek dalam cairan reaksi kimia dan proses-proses reaksi meliputi peningkatan kecepatan, energi lebih efisien, peningkatan kerja katalis

transfer fase, aktivasi logam/ padatan dan peningkatan reaktivitas *reagen* atau katalis (Suslick, 1989).

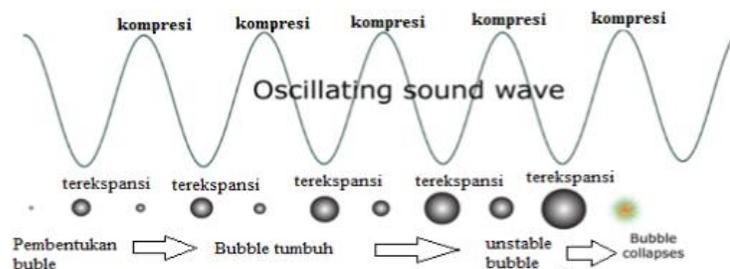


Gambar 3. Kavitasasi dan *implosion* akibat gelombang ultrasonik

Pada Gambar 3 dapat dilihat proses pembentukan gelembung pada kavitasasi ultrasonik terjadi ketika ultrasonik ditransmisikan melewati medium dengan menginduksikan gelombang suara ke dalam medium sehingga molekul akan bergetar. Akibat adanya getaran itu, struktur dari molekul akan merangsang dan terkompresi. Selain itu, jarak antar molekul juga akan berubah akibat adanya getaran molekul pada posisi awal. Jika intensitas gelombang ultrasonik di dalam air terus ditingkatkan, maka akan dicapai suatu kondisi maksimum dimana gaya antarmolekul tidak dapat lagi menahan struktur molekul seperti keadaan awalnya. Akibatnya molekul itu akan pecah dan terbentuklah lubang (*cavity*). Lubang ini disebut gelembung kavitasasi (Toana, 2014).

Gelombang ultrasonik dapat merambat dalam medium padat, cair dan gas. Proses perambatannya secara longitudinal dengan arah rambat sejajar. Karakteristik gelombang ultrasonik tersebut mengakibatkan getaran partikel secara periodik. Karena prosesnya kontinyu maka dapat menyebabkan partikel medium membentuk rapatan (*Strain*) dan tegangan (*Stress*) (Thomas, "The Fundamentals Of Power Ultrasound–A Review", 2011).

Efek gelombang ultrasonik menyebabkan tekanan cairan tersebut akan bertambah dari keadaan semula pada saat gelombang tersebut mempunyai amplitudo positif dan akan berkurang pada saat amplitudo negatif. Akibat perubahan tekanan ini, maka gelembung-gelembung gas atau uap yang biasanya ada di dalam cairan seperti pada Gambar 4 akan terkompresi pada saat tekanan cairan naik dan akan terekspansi/mengembang pada saat tekanan cairan turun.



Gambar 4. Mekanisme proses kavitasi yang disebabkan oleh gelombang ultrasonik (Thomas, 2011)

Pada saat gelembung mengembang, gelembung tersebut membawa uap atau gas. Dengan tenaga yang cukup tinggi, proses ekspansi bisa melebihi gaya tarik molekul-molekul dalam larutan dan akan terbentuk kavitasi gelembung. Selain itu,

peristiwa kavitasi dapat diakibatkan oleh ketidak stabilan gelembung karena adanya interferensi dari gelembung lain yang terbentuk dan beresonansi disekitarnya.

1. Proses Terbentuknya Kavitasi

Efek kavitasi terjadi karena energi akustik yang diberikan adalah energi mekanik yang tidak diserap oleh molekul. Proses kavitasi tersebut yaitu mulai dari pembentukan pertumbuhan dan mengembang mengempisnya gelembung pada larutan. Pada kondisi tertentu temperatur dan tekanan menjadi sangat tinggi pada permukaan gelembung sehingga mampu memecah molekul air menjadi radikal ($\bullet\text{H}$) dan radikal ($\bullet\text{OH}$).

Kavitasi ultrasonik terdiri dari tiga tahap utama yaitu:

a. Nukleasi atau pembentukan gelembung

Tahap pertama dari proses kavitasi ultrasonik ini yaitu nukleasi yaitu tahapan dimana inti kavitasi akan dihasilkan dari partikel gelembung mikro yang terperangkap dalam celah celah mikro dari partikel yang tersuspensi dalam air.

b. Pertumbuhan gelembung

Tahap kedua gelembung-gelembung mikro akan tumbuh membesar akibat adanya intensitas gelombang ultrasonik yang tinggi. Dengan ultrasonikasi pada intensitas tinggi, gelembung mikro akan tumbuh dengan sangat cepat. Sedangkan pada intensitas rendah laju pertumbuhan dari gelembung lebih

lambat. Hal ini dikarenakan gelembung akan melewati beberapa siklus akustik terlebih dahulu sebelum akhirnya membesar.

c. Pecahnya gelembung (*implosive collapse*)

Tahap ketiga dari kavitasi terjadi apabila intensitas dari gelombang ultrasonik melebihi batas ambang dari kavitasi ultrasonik (20 kHz untuk *liquid*). Pada tahap ini gelembung mikro akan terus tumbuh hingga mencapai saat dimana gelembung mikro tidak dapat lagi mengabsorpsi energi yang dihasilkan oleh gelombang suara secara efisien dan akhirnya pecah. Tahap inilah yang disebut *catastrophic collapse* (Mahvi, 2009).

2. Spektrofotometer UV-VIS

Spektrofotometer UV-VIS adalah alat yang digunakan untuk mengukur persentase degradasi limbah cair organik yang akan diuji. Analisis dengan Spektrofotometri UV-VIS didasarkan pada interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan molekul atau zat yang dianalisis. Spektrofotometer UV-Vis merupakan alat untuk mengukur transmitansi dan absorbansi suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrofotometer berfungsi untuk menghasilkan sinar dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer sebagai alat pengukur intensitas cahaya yang diabsorpsi. Absorbansi dan transmitansi dalam spektrofotometer UV-Vis dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif suatu zat kimia (Khopkar, 2002).

Banyak senyawa organik dan anorganik yang dapat dianalisis secara kualitatif maupun kuantitatif dengan menggunakan spektrofotometer ultraviolet (200-400 nm).

Spektrofotometer komersial biasanya beroperasi dari sekitar (200-1000 nm). Identifikasi kualitatif senyawa organik dalam daerah ini jauh lebih terbatas daripada daerah inframerah (Day dan Underwood, 2002).

Sampel untuk spektrofotometer UV-Vis biasanya berbentuk cairan (larutan encer), walaupun penyerapan gas dan bahkan padatan juga dapat diukur. Sampel biasanya diletakan di sebuah sel transparan yang disebut kuvet. Apabila radiasi atau cahaya putih dilewatkan melalui larutan berwarna, maka radiasi dengan panjang gelombang tertentu akan diabsorpsi secara selektif dan radiasi lainnya akan diteruskan(transmisi). Spektrofotometer UV-Vis akan mengukur intensitas dari cahaya yang melewati sebuah sampel (I) dan membandingkannya dengan intensitas cahaya sebelum melewati sampel (I_0). Rasio I/I_0 disebut dengan transmittan, dan biasanya diekspresikan sebagai persentase. Pengukuran dengan spektrofotometer UV-Vis dapat menghasilkan informasi berupa absorbansi larutan. Absorbansi suatu larutan merupakan logaritma dari $1/T$, dengan T adalah transmittan, yaitu perbandingan intensitas sinar datang (I_0) dan intensitas sinar yang diteruskan (I).

Hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi dapat ditentukan hukum Lambert-Beer, dengan syarat bahwa sinar yang digunakan harus monokromatik. Pengukuran dengan spektrofotometer UV-Vis akan menghasilkan spektrum, sehingga dapat diketahui absorbansi dari sampel. Hubungan antara absorbansi dan konsentrasi ini kemudian dimasukkan ke dalam persamaan hukum Lambert-Beer seperti persamaan berikut:

$$A = \epsilon b C \quad (2)$$

Dengan, A adalah absorbansi, ϵ adalah absorptivitas molar ($M^{-1}cm^{-1}$), b adalah tebal kuvet (cm), dan C adalah konsentrasi larutan (M).

E. Gelombang Ultrasonik

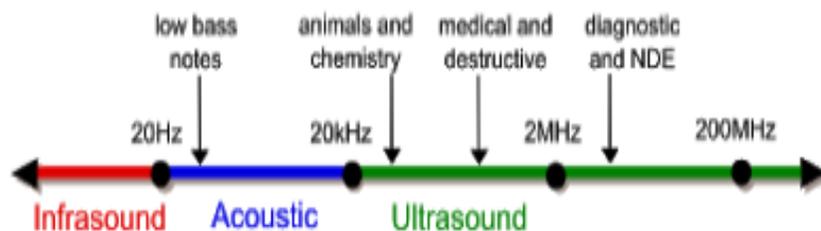
Ultrasonik merupakan gelombang suara (akustik) di atas batas-batas kemampuan pendengaran manusia (Busnaina, 1994). Frekuensi yang rendah akan menghasilkan nada rendah, frekuensi yang tinggi akan menghasilkan nada tinggi. Frekuensi di atas 18 KHz biasanya dianggap sebagai ultrasonik (Sami, 2000). Frekuensi yang digunakan untuk pembersihan berkisar dari 20.000 *cycle* per detik atau kilohertz (KHz) sampai lebih dari 100.000 KHz. Frekuensi yang paling umum digunakan untuk pembersihan material dalam dunia industri adalah frekuensi antara 20 KHz-50 KHz (Sami, 2000). Pembersihan dengan ultrasonik dapat memberikan beberapa keuntungan bila dibandingkan dengan beberapa metode konvensional lainnya (Deal, 1994). Gelombang ultrasonik menghasilkan dan mendistribusikan implosion kavitasi pada media cairan.

Pada dasarnya ultrasonik 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 ultrasonik memiliki frekuensi lebih dari 20 kHz. Sampai saat ini, frekuensi gelombang ultrasonik telah mencapai 1 GHz dan jika melebihi frekuensi 1 GHz maka disebut *hypersonic*. Dalam bukunya J. David

N. 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 bisa dilewati oleh cahaya. Karena gelombang ultrasonik cukup murah, sensitif dan *reliabel* maka dapat dimanfaatkan untuk mengetahui bentuk gambar topografi dari bahan yang tidak tembus cahaya (Cheeke dan David, 2002).

Gelombang ultrasonik merambat dalam dua bagian. Jika gelombang bolak-balik terjadi terus menerus secara periodik maka akan menghasilkan deretan gelombang periodik dimana pada setiap gerak periodik, partikel-partikel yang berada pada titik-titik yang sama pada gelombang tersebut akan berada dalam fase yang sama. Batas *range* frekuensi ultrasonik dengan gelombang bunyi lainnya dapat terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Frekuensi Ultrasonik (Dirgandini, 2011)

F. Karakteristik Gelombang Ultrasonik

Gelombang suara merambat bergantung kepada vibrasi-vibrasi atau gerakan dari partikel-partikel di dalam 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).

1. Kecepatan, panjang gelombang dan frekuensi

Karakteristik gelombang merambat dapat dilihat dari panjang gelombang, frekuensi dan kecepatan perambatannya yang memiliki hubungan matematis dapat dilihat pada Persamaan 3.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (3)$$

Dimana: 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 dapat dilihat pada Persamaan 4.

$$v = \sqrt{\frac{\beta}{\rho}} \quad (4)$$

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. Impedansi Akustik

Impedansi akustik (Z) dari suatu material didefinisikan sebagai perkalian antara kerapatan (ρ) dengan kecepatan rambat gelombang suara (v) dapat dilihat pada persamaan 5.

$$z = \rho \times v \quad (5)$$

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 peranmenetapkan transmisi dan refleksi gelombang di batas antara medium yangmemiliki impedansi akustik yang berbeda.

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 dapat dilihat pada Persamaan 6.

$$A = A_0 e^{-az} \quad (6)$$

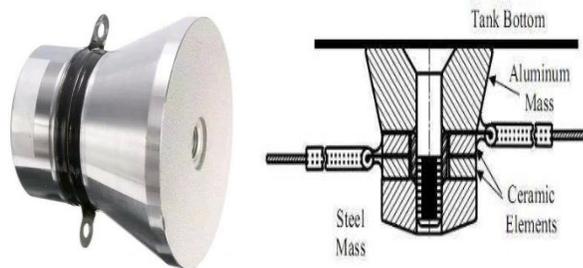
Dimana A_0 adalah amplitudo awal. Amplitudo (A) adalah amplitudo yang tereduksi setelah gelombang berjalan dengan jarak sejauh z . a adalah koefisien atenuasi. Secara umum, atenuasi sebanding dengan kuadrat frekuensi gelombang.

G. Komponen Elektronika

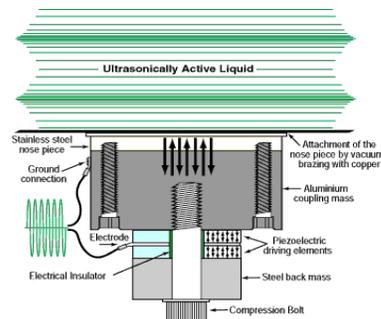
1. Transduser Ultrasonik

Transduser merupakan alat yang dapat mengubah suatu bentuk besaran energi ke bentuk besaran energi yang lain. Transduser ultrasonik terdiri dari dua buah kristal piezoelektrik yang digunakan sebagai pemancar serta penerima dari gelombang ultrasonik (Burczynki, 1982). Transduser ultrasonik diperlukan untuk merubah energi listrik tegangan bolak-balik menjadi gelombang ultrasonik. Secara umum ada dua jenis tipe transduser ultrasonik yaitu tipe *magnetostrictive* dan tipe *piezoelectric*. Pada penelitian ini akan menggunakan transduser tipe piezoelektrik.

Transduser piezoelektrik mengkonversi energi listrik bolak-balik secara langsung menjadi energi mekanik melalui penggunaan efek piezoelektrik dimana 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 transduser dan diarahkan ke *tool holder/ horn* melalui lempengan material piezoelektrik. Bentuk transduser tipe piezoelektrik dapat dilihat pada Gambar 6 dan untuk prinsip kerja dari transduser dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Transduser piezoelektrik (Al-Budairi, 2012)



Gambar 7. Prinsip Kerja Transduser Ultrasonik

Gambar 6 menunjukkan prinsip kerja dari transduser tipe piezoelektrik. Mula-mula energi listrik pada frekuensi ultrasonik yang dihasilkan oleh generator ultrasonik diberikan ke transduser ultrasonik tipe piezoelektrik. Energi listrik tersebut akan diubah menjadi energi mekanik oleh elemen piezoelektrik yang berada dalam transduser 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 ultrasonik.

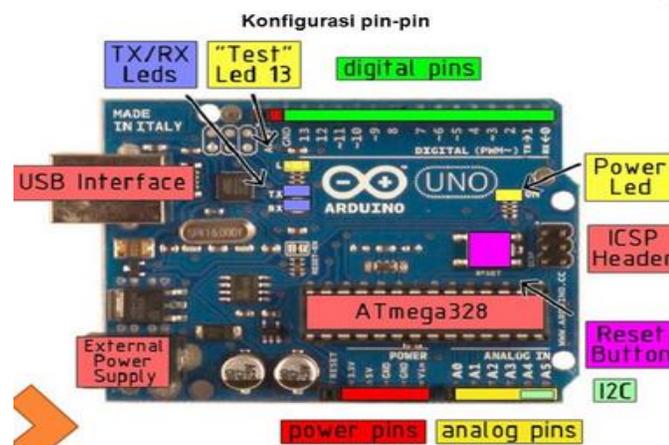
Transduser tipe piezoelektrik mampu mengatasi kekurangan-kekurangan pada transduser tipe *magnetostrictive*. Pada tahun 1880 Curie bersaudara (Pierre dan Jacques Curie) menemukan efek piezoelektrik langsung (*direct piezoelectric effect*) pada kristal kuarsa tunggal. Di bawah tekanan, kuarsa menghasilkan muatan

listrik/tegangan dari kuarsa atau material lain. Kata “piezo” berasal dari bahasa Yunani yang artinya “Tekanan”; oleh karena itu arti asli dari kata *piezoelectricity* adalah “tekanan listrik”. Material menunjukkan fenomena sebaliknya memiliki regangan geometris yang sebanding dengan medan listrik yang diterapkan. 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 *tool holder*.

2. Arduino Uno

Mikrokontroler adalah suatu komponen elektronika yang dapat diprogram dan memiliki kemampuan untuk mengeksekusi langkah-langkah yang telah diprogram. Mikrokontroler telah dilengkapi dengan *peripheral* pendukung sehingga membentuk suatu computer lengkap dalam level *chip*, secara sederhana mikrokontroler adalah sebuah IC yang terdiri dari RAM, ROM, *parallel I/O*, *counter*, dan *clock circuit* (Yohandri, 2013).

Arduino merupakan *open-source prototyping platform* yang dibuat agar mudah digunakan baik perangkat keras maupun perangkat lunaknya. Arduino memiliki banyak varian diantaranya Arduino Uno, Arduino Pro Mini, Arduino Micro, dan lain-lain. Arduino Uno merupakan sebuah *board* minimum sistem mikrokontroler yang bersifat *open source*. Di dalam rangkaian *board* Arduino terdapat mikrokontroler AVR seri ATmega 328 yang merupakan produk dari Atmel. Arduino memiliki kelebihan tersendiri dibanding *board* mikrokontroler yang lain selain bersifat *open source*, Arduino juga mempunyai bahasa pemrogramannya sendiri yang berupa bahasa C. Selain itu di dalam *board* Arduino sendiri sudah terdapat *loader* yang berupa USB sehingga memudahkan kita ketika memprogram mikrokontroler di dalam Arduino (Djuandi, 2011) Bentuk fisik dari Arduino uno yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Bentuk Fisik Arduino Uno (Djuandi, 2011)

Pada Gambar 8 Arduino Uno terdiri dari banyak bagian-bagian. Arduino dikatakan sebagai sebuah *platform* dari *physical computing* yang bersifat *open*

source. Arduino bukan sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi merupakan kombinasi antara *hardware*, Bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment* (IDE) yang canggih. IDE adalah sebuah *software* yang berperan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner dan meng-*upload* ke dalam memori mikrokontroler. Selain itu, beberapa *pin* mempunyai pada Arduino memiliki fungsi-fungsi spesial yaitu:

- a. Serial: 0 (RX) dan 1 (TX) digunakan untuk menerima (RX) dan memancarkan (TX) serial data TTL (*Transistor-Transistor Logic*). Kedua pin ini dihubungkan ke pin-pin yang sesuai dari *chip serial* Atmega8U2 USB-ke-TTL.
- b. *External Interrupts*: 2 dan 3 *pin-pin* ini dapat dikonfigurasi untuk dipicu sebuah *interrupt* (gangguan) pada sebuah nilai rendah, suatu kenaikan atau penurunan yang besar, atau suatu perubahan nilai. Lihat fungsi *attachInterrupt ()* untuk lebih jelasnya.
- c. PWM: 3, 5, 6, 9, 10, dan 11 memberikan 8-bit PWM *output* dengan fungsi analog *Write()*.
- d. SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK), *pin-pin* ini mensupport komunikasi SPI menggunakan SPI *library*.
- e. LED: 13, sebuah LED yang terpasang, terhubung ke *pin* digital 13. Ketika *pin* bernilai *HIGH* LED menyala, ketika pin bernilai *LOW* LED mati. Arduino UNO mempunyai 6 *input* analog, diberi label A0 sampai A5, setiapnya

memberikan 10 *bit* resolusi (contohnya 1024 nilai yang berbeda). Secara default, 6 *input* analog tersebut mengukur dari ground sampai tegangan 5 Volt, dengan itu mungkin untuk mengganti batas atas dari rangenya dengan menggunakan *pin* AREF dan fungsi analog *Reference()*.

- f. TWI: *pin* A4 atau SDA dan *pin* A5 atau SCL. Mensupport komunikasi TWI dengan menggunakan *Wire library*. Ada sepasang *pin* lainnya pada *board*: AREF, referensi tegangan untuk *input* analog. Digunakan dengan analog *Reference()*. *Reset*, membawa saluran ini *LOW* untuk *reset* mikrokontroler. Secara khusus, digunakan untuk menambahkan sebuah tombol *reset* untuk melindungi yang memblock sesuatu pada *board*.

Berikut adalah spesifikasi dari Arduino Uno yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi *board* Arduino Uno

No	Karakteristik	Keterangan
1	Mikrokontroler	ATMega328
2	Tegangan Operasi	5 V
3	Tegangan masukan	7-12 V (rekomendasi)
4	<i>Pin</i> I/O	14 <i>pin</i> (6 <i>pin</i> PWM)
5	Arus	50 Ma
6	<i>Flash Memory</i>	32 kB
7	<i>Bootloader</i>	SRAM 2 kB
8	EEPROM	1 Kb
9	Kecepatan	16 Hz

3. Ardiono IDE

Arduino IDE adalah sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk membuat program yang akan ditanamkan pada Arduino Uno. Penanaman program ini dilakukan agar Arduino Uno bisa mengontrol jalannya sebuah alat baik membaca data yang diterima dari sensor maupun mengontrol semua sistem pada alat tersebut.

Langkah pertama penggunaan Arduino IDE ini adalah dengan melakukan instalasi terlebih dahulu. Bahasa pemrograman yang digunakan Arduino IDE adalah bahasa C++. Arduino menggunakan *Software Processing* yang digunakan untuk menulis program ke dalam Arduino. Bentuk tampilan awal *software* Arduino IDE dapat dilihat pada Gambar 8.

Processing merupakan penggabungan antara bahasa C++ dan Java. *Software* Arduino ini dapat diinstall di berbagai *operating system* (OS) seperti : LINUX, Mac OS, Windows. *Software* IDE Arduino terdiri dari 3 (tiga) bagian :

- a. Editor program, untuk menulis dan mengedit program dalam bahasa *processing*. *Listing* program pada Arduino disebut *sketch*.
- b. *Compiler*, modul yang berfungsi mengubah bahasa *processing* (kode program) kedalam kode biner karena kode biner adalah satu-satunya bahasa program yang dipahami oleh mikrokontroler.
- c. *Uploader*, modul yang berfungsi memasukkan kode biner ke dalam memori mikrokontroler.
- d. Struktur perintah arduino secara garis besar terdiri dari 2 (dua) bagian yaitu *void setup* dan *void loop*. *Void setup* berisi perintah yang akan dieksekusi hanya satu kali sejak arduino dihidupkan sedangkan *void loop* berisi perintah yang akan dieksekusi berulang-ulang selama arduino dinyalakan. Gambar 9 merupakan tampilan awal dari Arduino IDE.



Gambar 9. Tampilan Awal Arduino IDE (Djuandi, 2011)

Dengan menggunakan *tools* yang ada pada Arduino IDE akan dibuat sebuah program yang akan dimasukkan ke dalam arduino uno untuk pembuatan *Sonoreactor* berbasis arduino uno. Berdasarkan program ini alat akan mengontrol waktu dan frekuensi dan menampilkan hasil sesuai rancangan yang telah dibuat.

4. *Power Supply*

Power Supply merupakan suatu peralatan yang sangat penting karena hampir semua peralatan elektronika memerlukan tegangan DC untuk mengoperasikannya. Rangkaian *power supply* merupakan sebuah rangkaian yang dapat mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Selain menyearahkan rangkaian ini juga menstabilkan tegangan DC yang digunakan dengan pemasangan kapasitor pada bagian *output*. Rangkaian ini terdiri dari beberapa komponen yaitu transformator, dioda, resistor, regulator, dan kapasitor (Sutrisno, 1999).

Power supply terbagi dua tipe yaitu *power supply tipe swiching* dan *power supply tipe linear*. Dari kedua tipe ini penulis akan menggunakan *power supply tipe swiching*. Bentuk fisik *power supply swiching* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Bentuk fisik *power supply*

Power Supply Tipe Switching 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 transformator. Cara menyearahkan tegangan tersebut adalah dengan menggunakan frekuensi tinggi antara 10 KHz hingga 1 MHz, dimana frekuensi ini jauh lebih tinggi dari pada frekuensi AC yang sekitar 50 Hz. Untuk lebih jelasnya, beberapa perbandingan antara kedua tipe tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan *power supply tipe linear* dan tipe *swiching*

Spesifikasi	Tipe <i>Linear</i>	Tipe <i>Swiching</i>
Pengaturan beban (<i>Load Regulatorion</i>)	0.02-0.01%	0.1-1.0%
Variasi Gelombang Keluaran(<i>Output Ripple</i>)	0.5-2 mVrms	25-100 mVp-p
Variasi Voltase masukan(<i>Input Voltage Range</i>)	+/- 10%	+/- 50%
Efisiensi	40-55%	50-80%

5. *Liquid Crystal Display (LCD)*

LCD (*Liquid Crystal Display*) merupakan suatu perangkat elektronika yang telah terkonfigurasi dengan kristal cair dalam gelas plastik atau kaca sehingga mampu memberikan tampilan berupa titik, garis, simbol, huruf, angka maupun gambar. LCD terbagi menjadi dua macam berdasarkan bentuk tampilannya, yaitu *Text-LCD* dan *Graphic-LCD*. Bentuk tampilan *Text-LCD* berupa huruf atau angka, sedangkan bentuk tampilan pada *Graphic-LCD* berupa titik, garis dan gambar (Didin, 2006).

LCD memberikan beberapa keuntungan dibandingkan dengan perangkat lain untuk menampilkan sebuah data, antara lain hemat energi, ringan dan proses perancangan yang relatif lebih mudah dan mampu menampilkan karakter sesuai yang diinginkan. LCD yang tersedia saat ini ini terdiri atas LCD grafik dan LCD teks. LCD grafik mampu menampilkan data dalam bentuk *image*, sedangkan LCD teks akan menampilkan karakter. LCD teks yang umum digunakan adalah 2 x 16 (2 karakter baris x 16 karakter kolom), 2 x 20 dan 4 x 20. Bentuk fisik dari LCD 20 x 4 dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Bentuk fisik LCD 20x4

Gambar 11 merupakan bentuk fisik dan rangkaian dari LCD 20x4 dihubungkan ke I2C. Operasi dasar LCD 20x4 terdiri dari empat kondisi, yaitu

intruksi untuk akses proses *internal*, intruksi untuk menulis data, intruksi untuk membaca kondisi sibuk dan intruksi untuk membaca data. Gabungan intruksi dasar inilah yang bisa dimanfaatkan untuk mengirim data ke LCD 20x4. Ketika sistem mulai diaktifkan arduino akan melakukan inisialisasi. Selama inisialisasi ini akan ditampilkan pesan-pesan yang berhubungan dengan proses tersebut. LCD menampilkan kata-kata pembuka dan menunggu user mengaktifkan menu utama.

Untuk mengurangi penggunaan *input* atau *output* pada Arduino maka digunakan I2C/IIC (*Inter Integrated Circuit*). I2C merupakan modul yang menjembatani LCD dengan Arduino Uno. Dari 16 pin LCD yang harus dihubungkan ke I/O Arduino, hanya 4 pin I2C saja yang digunakan yaitu pin 5V, GND, SCL dan SDA. I2C dapat dilihat dari Gambar 12.

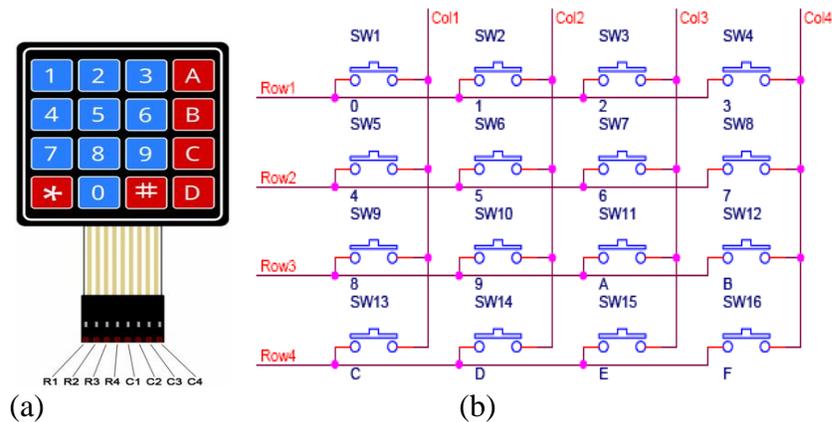


Gambar 12. Bentuk I2C

6. Keypad

Keypad adalah saklar-saklar *push button* yang disusun secara matriks dan berfungsi untuk menginput data seperti *input* pintu otomatis, *input* absensi, *input* data *logger* dan sebagainya. *Keypad* berperan sebagai antarmuka antara 12 perangkat (mesin) elektronik, yaitu mikrokontroler dengan manusia atau dikenal dengan istilah HMI (*Human Machine Interface*). Konfigurasi *keypad* dengan susunan bentuk matrix

ini bertujuan untuk penghematan port mikrokontroler karena jumlah *key* (tombol) yang dibutuhkan banyak pada suatu sistem dengan mikrokontroler. *Keypad* 4x4 tersusun dari 16 *push button* yang dirangkai secara matriks. Bentuk fisik dan rangkaian dasar *keypad* 4x4 dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 (a). Bentuk fisik (b). Rangkaian dasar *keypad* 4x4

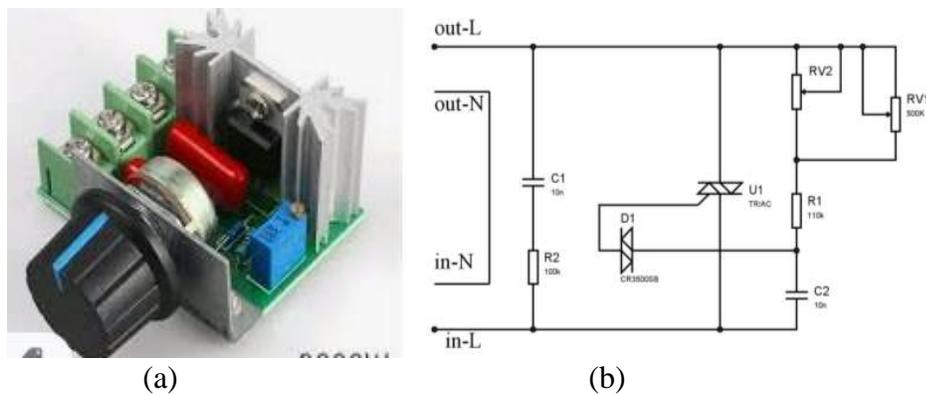
Pada Gambar 13 *keypad* 4x4 ini mempunyai 16 *push button* atau *Switch* yaitu mulai dari S1-S16. Masing-masing dari *push button* S1-S16 merepresentasikan angka dan huruf yang ditekan. Misalnya angka 1 direpresentasikan oleh *push button* S1, angka 2 *push button* S2, angka 3 *push button* S3, dan huruf A direpresentasikan oleh *push button* S4, dan seterusnya. *Keypad* 4x4 bisa diartikan juga sebagai *keypad* 4 baris dan 4 kolom. Karena pengertian *keypad* 4 baris dan 4 kolom ini nantinya berguna untuk melakukan *scanning* pada setiap tombol-tombol *keypad* yang ditekan. *Keypad* akan tersusun secara matrik dengan kondisi satu kaki menjadi indeks kolom (C), satu kaki menjadi indeks baris (R), dan satu kaki menjadi *common*.

Proses *scanning* untuk penekanan tombol pada matrix *keypad* 4x4 pada Gambar 12 (b) dilakukan secara bertahap kolom demi kolom, dari kolom ke 4 dan

baris pertama hingga baris ke 4. Minsal kita asumsikan *keypad* aktif *LOW* dan dihubungkan ke *pin port* mikrokontroler dengan jalur kolom adalah jalur *input* dan jalur baris adalah jalur *output* maka proses *scanning matrix keypad* 4x4 (Wijanarko, 2017).

7. Dimmer

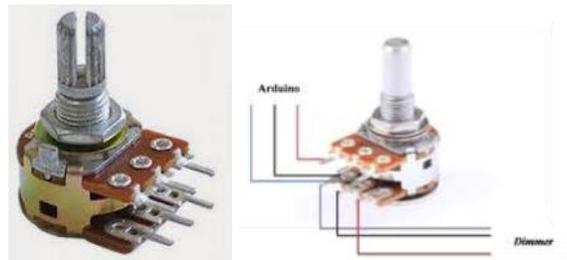
Dimmer merupakan rangkaian elektronika yang terdiri dari TRIAC, DIAC, kapasitor, resistor, dan resistor variabel. TRIAC sebagai komponen utama yang berfungsi untuk mengatur tegangan dan frekuensi AC yang masuk ke beban. DIAC dan resistor variable yang menentukan titik kerja *on-off* dari TRIAC. *Dimmer* terdapat 2 jenis yaitu *dimmer* AC dan *dimmer* DC. Keduanya mempunyai fungsi yang sama yaitu untuk mengatur besar kecilnya frekuensi dan tegangan yang jatuh pada beban yang dihubungkan dengan sumber arus AC atau DC (Mansopyan, 2012). Pada penelitian ini digunakan *dimmer* AC yang digunakan untuk mengatur besarnya frekuensi yang akan dialirkan ke modul generator ultrasonik. Bentuk fisik dan rangkaian *dimmer* dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 (a). Bentuk Fisik *Dimmer* (b). Rangkaian *Dimmer*

8. Potensiometer Stereo

Potensiometer adalah sebuah resistor variabel yang dapat mengatur besar kecilnya hambatan yang diperlukan sesuai dengan batas maksimal yang dimiliki. Pada alat yang dibuat ini menggunakan potensiometer stereo 500 k Ω dengan memiliki enam buah kaki. Tiga buah kaki pertama dihubungkan pada rangkaian *dimmer* dan tiga buah kaki lainnya dihubungkan pada pin Arduino. Bentuk dari Potensiometer Stereo dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Potensiometer Stereo

9. Relay

Relay adalah komponen elektronika berupa saklar elektronik yang digerakkan oleh arus listrik. Secara prinsip, *relay* merupakan saklar dengan lilitan 18 kawat pada batang besi (solenoid) di dekatnya. Ketika solenoid dialiri arus listrik, tuas akan tertarik karena adanya gaya magnet yang terjadi pada solenoid sehingga kontak saklar akan menutup. Pada saat arus dihentikan, gaya magnet akan hilang, tuas akan kembali ke posisi semula dan kontak saklar kembali terbuka (Yohanes C et al., 2018). *Relay* biasanya digunakan untuk menggerakkan arus/tegangan yang besar (misalnya peralatan listrik 4 ampere AC 220 V) dengan memakai arus/tegangan yang

kecil (misalnya 0.1 ampere 12 Volt DC). *Relay* yang paling sederhana ialah *relay* elektromekanis yang memberikan pergerakan mekanis saat mendapatkan energi listrik. Dalam pemakaiannya biasanya *relay* yang digerakkan dengan arus DC dilengkapi dengan sebuah dioda yang di-paralel dengan lilitannya dan dipasang terbalik yaitu anoda pada tegangan (-) dan katoda pada tegangan (+). Ini bertujuan untuk mengantisipasi sentakan listrik yang terjadi pada saat *relay* berganti posisi dari on ke off agar tidak merusak komponen di sekitarnya. Kebanyakan *relay* yang ditemui hanya memiliki tiga kondisi, yakni normally open (NO), normally close (NC), dan change-over (CO). Kondisi NO akan terjadi ketika *relay* diberi tegangan maka saklar akan terbuka. Kondisi NC merupakan kebalikan dari NO dimana saklar akan tertutup ketika *relay* diberi tegangan. Sedangkan kondisi CO merupakan kondisi dimana *relay* akan mengubah posisi saklar ketika diberi tegangan (Adha et al., 2015). *Relay* modul sama seperti *relay* pada umumnya hanya saja pada *relay* modul terdapat papan mikrokontroler sehingga memungkinkan kita untuk mengontrol *relay* modul dengan menggunakan mikrokontroler baik menggunakan 19 Arduino, raspberry pi, avr maupun mikrokontroler jenis lainnya. Tampilan *relay* modul dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Modul *Relay* 1 channel

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data serta pembahasan terhadap Alat *Sonoreactor* dikemukakan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Hasil spesifikasi performansi alat dapat dikatakan baik, dikarenakan alat telah mampu menunjukkan kestabilan antara masukan dengan keluaran,serta setiap komponen pendukung sistem telah bekerja sesuai fungsinya masing-masing.
2. Hasil spesifikasi desain alat *Sonoreactor* yaitu ketepatan dan ketelitian pengukuran *timer* dari alat. Nilai ketepatan dan ketelitian *timer* yang didapat cukup baik yaitu 0,998 dan 0,992. Hasil presisi parsen degradasi yaitu 0,9085.
3. Hasil degradasi *Congo Red* didapatkan dengan variasi degradasi 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit dan 75 menit secara berurutan adalah 50,15%; 53,13%; 57,76%; 66,20%; dan 78,5 %. Sedangkan dengan variasi Tegangan *input* 80 Volt, 120 Volt, 160 Volt dan 210 Volt secara berurutan didapatkan hasil degradi *Congo Red* yaitu 31,50%; 33,1%; 38,57%; dan 78,5%. Waktu dan tegangan masukan (daya) sangat mempengaruhi hasil degradasi.

B. Saran

Berdasarkan hasil yang telah dicapai dan kendala yang ditemukan dalam penelitian sebagai saran untuk tindak lanjut dan pengembangan dalam penelitian ini yaitu ;

1. *Sonoreactor* dapat dikembangkan dengan menggunakan generator yang dapat menghasilkan daya lebih tinggi dan frekuensi transduser pizoelektrik yang lebih tinggi sehingga akan menghasilkan getaran yang lebih besar.
2. *Sonoreactor* menggunakan *dimmer* AC untuk pembacaan *dimmer* ini sangat *sensitive*.
3. Tegangan maksimal *dimmer* hanya mampu menghasilkan tegangan 210 Volt sehingga mempengaruhi frekuensi keluaran pada transduser ultrasonik.
4. Generator ultrasonik menghasilkan tegangan (daya) terlalu tinggi sehingga membuat osiloskop error.
5. Generator ultrasonik yang digunakan terlalu *sensitive* sehingga mudah meledak dan rusak.
6. Hanya mampu menghasilkan parsen degradasi 80,23 karena generator yang terjadi error karena generator sangat *sensitive* sehingga penelitian tidak bisa dilanjutkan.